

Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB
AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS**

Autor: Adrià Bustamante Garriga

Director: Javier Díaz Gutiérrez

Tutor: Diego Ramos Romero

Data: Setembre 2022



**UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI**

etsEQ

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

RESUM DEL PROJECTE

El projecte que es duu a terme consisteix en el disseny mecànic d'un recipient a pressió, concretament un reactor, adreçat a donar servei a la producció d'una planta química situada al Camp de Tarragona.

En aquest cas, s'han sol·licitat els serveis d'enginyeria a l'empresa FLUOR Plant Engineering, S.A. (a partir d'ara, FLUOR) per tal de donar solució al baix nivell de producció de la planta amb la incorporació del nou equip. Així doncs, amb la realització d'aquest projecte, es busca incrementar el nivell de producció segons les noves necessitats que planteja el client. Aquests condicionants imposats pel promotor permeten delimitar l'abast del projecte i determinar les característiques tècniques que presentarà el nou reactor a dissenyar.

En el present projecte es realitza el disseny i el càlcul de les diverses parts mecàniques que componen el reactor segons la normativa americana ASME Secció VIII Divisió 1, la qual regula i pauta el disseny i la construcció dels recipients a pressió. Com a parts mecàniques principals del reactor en podem destacar les següents:

- Envoltent
- Fons Superior i Inferior
- Tubuladures de procés

El projecte contempla la part mecànica, és a dir el disseny del conjunt físic de l'equip amb la realització dels respectius plànols constructius que permetin la fabricació, el muntatge i la col·locació del reactor a la seva ubicació final a planta mitjançant maniobres d'hissat. A més, també s'inclou a l'abast la realització dels càlculs per pressió interna dels diversos elements i l'avaluació dels costos.

Encara que la realització del projecte inclou abast elèctric i d'instrumentació, per tal de monitoritzar el funcionament de l'equip, aquests es duran a terme pels respectius departaments de FLUOR. Així doncs, no són objecte d'estudi en el present projecte.

El promotor del projecte és l'empresa química situada al Camp de Tarragona, la qual té l'objectiu d'augmentar la producció mitjançant la incorporació d'un nou reactor. El projectista és l'estudiant de quart curs del Grau d'Enginyeria Mecànica de la Universitat Rovira i Virgili, Adrià Bustamante Garriga, juntament amb el suport del Departament Mecànic de l'empresa de serveis d'enginyeria FLUOR.

FULLA D'IDENTIFICACIÓ DEL PROJECTE

TÍTOL DEL PROJECTE

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

PROMOTOR DEL PROJECTE

- **Empresa:** Sector químic
- **Localitat:** Camp de Tarragona

DADES DE L'AUTOR DEL PROJECTE

- **Nom de l'autor:** Adrià Bustamante Garriga
- **DNI:** 39924912-V
- **Estudis:** Grau d'Enginyeria Mecànica (GEM)
- **Direcció:** C/ Joan Miró, 3
- **Localitat:** Vilallonga del Camp (Tarragona)
- **Telèfon de contacte:** 649 04 74 38 / 977 84 11 42
- **Correu electrònic:** adria.bustamante@estudiants.urv.cat

DADES DE L'EMPRESA QUE REP L'ENCÀRREC

- **Empresa:** FLUOR Plant Engineering, S.A.
- **Localitat:** Tarragona
- **Director del projecte:** Javier Díaz Gutiérrez

RESPONSABLE DE LA TUTORIA DEL PROJECTE

- **Nom:** Diego Ramos Romero
- **Correu electrònic:** diego.ramos@urv.cat

Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB
AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS**

Document 1: ÍNDEX GENERAL

Autor: Adrià Bustamante Garriga

Director: Javier Díaz Gutiérrez

Tutor: Diego Ramos Romero

Data: Setembre 2022



**UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI**

etsEQ

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

DOCUMENT 1. ÍNDIX GENERAL

DOCUMENT 2. MEMÒRIA DESCRIPTIVA.....	3
1 AGENTS.....	3
1.1 Promotor del projecte	3
1.2 Projectista i equip redactor	3
2 OBJECTE DEL PROJECTE	3
2.1 Definició de l'objecte	3
2.2 Resum descriptiu de l'equip a dissenyar	4
3 ANTECEDENTS	5
4 BASES DEL PROJECTE	5
4.1 Directrius.....	5
4.1.1 Objectiu o finalitat.....	5
4.1.2 Condicionants del promotor	5
4.2 Condicionants del projecte	6
4.2.1 Legislació.....	6
4.2.2 Entorn físic.....	8
4.2.3 Requeriments dels possibles usuaris.....	8
4.3 Situació actual.....	9
5 ESTUDI D'ALTERNATIVES DEL PROJECTE	10
5.1 Identificació d'alternatives	10
5.1.1 A la capacitat productiva	10
5.1.2 Al disseny	11
5.1.3 Als materials	12
5.1.4 Als components i elements mecànics	12
5.2 Metodologies i criteris de valoració	13
5.3 Resultat de l'elecció d'alternatives a desenvolupar	13

2	PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS	
		<i>ÍNDIX GENERAL</i>
5.3.1	Al disseny	13
5.3.2	Als materials	14
5.3.3	Als components i elements mecànics	15
6	ENGINYERIA DEL PROJECTE	15
6.1	Enginyeria bàsica de l'equip	15
6.1.1	Funcionament general de l'equip.....	15
6.1.2	Desglossat de l'equip en components.....	16
6.1.3	Descomposició dels components en elements	16
6.1.4	Condicions de disseny	18
6.2	Enginyeria de detall de l'equip	19
6.2.1	Descripció dels components i dels elements comprats	19
6.2.2	Resultat de càlcul i disseny dels elements construïts	22
7	JUSTIFICACIÓ DEL COMPLIMENT DE NORMATIVES ESPECÍFIQUES.....	31
7.1	Normativa vigent	31
7.2	Compliment de la normativa vigent	32
8	PROGRAMACIÓ DE L'EXECUCIÓ	33
9	AVALUACIÓ FINANCERA DEL PROJECTE	35
10	WEBGRAFIA	36
11	RESUM DEL PRESSUPOST	37

DOCUMENT 3. ANNEXES A LA MEMÒRIA	5
A. CONDICIONANTS DEL PROJECTE	5
A.1 Introducció.....	5
A.2 Condicionants imposats pel promotor	5
A.3 Legislació.....	6
A.3.1 Reial Decret 809/2021 sobre el reglament d'equips a pressió i les seves instruccions tècniques.....	6
A.3.2 Reial Decret 709/2015 (Directiva 2014/68/UE) sobre la seguretat per a la comercialització dels equips a pressió	6
A.3.3 Ordre del Departament d'Innovació, Universitats i Empresa de la Generalitat de Catalunya IUE/470/2009, de 30 d'octubre.....	7
A.3.4 Directiva 2006/42/CE sobre la comercialització i posada en servei d'una màquina	7
A.3.5 Directiva 2014/34/UE sobre els sistemes de protecció en atmosferes potencialment explosives.....	7
A.4 Entorn físic	8
A.5 Requeriments dels possibles usuaris.....	8
A.6 Temes econòmics o financers.....	9
A.7 Disponibilitat de béns i serveis complementaris requerits	10
B. SITUACIÓ ACTUAL.....	11
B.1 Descripció del problema a solucionar.....	11
B.2 Descripció detallada dels sistemes actuals utilitzats.....	11
B.2.1 Motor d'accionament.....	12
B.2.2 Reductor	12
B.2.3 Tanca mecànica	12
B.2.4 Agitador	13
B.2.5 Elements de control	16
B.3 Equips equivalents existents al mercat	16

C. ESTUDI D'ALTERNATIVES	18
C.1 A la capacitat productiva	18
C.2 Al disseny	18
C.2.1 Codi de disseny.....	18
C.2.2 Suportació de l'equip.....	21
C.2.3 Als materials	26
C.2.4 Als components i elements mecànics	29
C.2.5 Als components i elements elèctrics.....	37
C.2.6 Als components i elements de control.....	37
D. CÀLCUL DELS ELEMENTS	38
D.1 Disseny i càlcul dels elements fabricats.....	38
D.1.1 Elements mecànics.....	38
D.1.2 Elements elèctrics	58
D.1.3 Elements de control	58
D.2 Quadre resum de requeriments	58
D.2.1 Components i elements comprats	58
D.2.2 Components i elements fabricats	61
D.3 Informe de càlcul Codeware Compress.....	62
E. JUSTIFICACIÓ DEL COMPLIMENT DE LES NORMATIVES ESPECÍFIQUES	519
E.1 Normativa vigent	519
E.2 Compliment de la normativa vigent	520
F. PROGRAMACIÓ TEMPORAL (GANTT)	521
G. ANNEX DE JUSTIFICACIÓ DE PREUS	523

DOCUMENT 4. PLÀNOLS.....	2
1 FL001 – ASSEMBLATGE GENERAL.....	2
2 FL002 – FONS SUPERIOR.....	3
3 FL003 – ENVOLVENT	4
4 FL004 – FONS INFERIOR.....	5
5 FL005 – ELEMENTS INTERNS	6
6 FL006 – BOCA D’HOME.....	7

DOCUMENT 5. PLEC DE CONDICIONS	5
1 PLEC DE CONDICIONS FACULTATIVES I LEGALS.....	5
1.1 CONTRACTACIÓ	5
1.2 SUBCONTRACTACIÓ.....	5
1.3 RÈGIM DE LA INTERVENCIÓ	5
1.4 PROPIETAT INDUSTRIAL I COMERCIAL	5
1.5 PRESCRIPCIONS FACULTATIVES I LEGALS	6
1.5.1 Objecte general del plec de condicions.....	6
1.5.2 Documents importants per a la fabricació	6
1.5.3 Responsabilitat de l'enginyer tècnic.....	6
1.5.4 Tasques de l'enginyer tècnic	6
1.5.5 Disponibilitat total del llibre d'ordres	6
1.5.6 Accés al llibre d'ordres	6
1.5.7 Peces mal executades.....	7
1.5.8 Modificació de qualsevol element	7
1.5.9 Alteracions en el projecte.....	7
1.5.10 Responsable davant els tribunals de justícia.....	7
1.5.11 Compromís a l'entrega de l'equip	7
1.5.12 Estat dels materials durant la seva adquisició	7
2 PLEC DE CONDICIONS GENERALS	8
2.1 DESCRIPCIÓ GENERAL DEL PROJECTE.....	8
2.1.1 Descripció del projecte del nou reactor R-2000.....	8
2.1.2 Normatives aplicades durant l'execució del projecte	8
2.2 PRESCRIPCIONS SOBRE ELS MATERIALS	9
2.2.1 Manipulació de les peces	9
2.2.2 Garantia dels materials.....	9
2.2.3 Qualitat dels materials	9
2.2.4 Propietats dels materials.....	9

2.2.5 Examinació i aprovació del material.....	9
2.2.6 Mecanització i tractament dels materials	9
2.2.7 Mecanització de talls a les peces.....	9
2.2.8 Materials laminats, extrusionats i elements tubulars.....	9
2.2.9 Resultats dels assajos	10
2.2.10 Normativa referent a les proves de tracció.....	10
2.2.11 Control funcional o dinàmic de les deformacions.....	10
2.3 PRESCRIPCIONS SOBRE ELS ASSAJOS.....	10
2.3.1 Normes de control i verificació pel fabricant	10
2.3.2 Control de l'equip	10
2.3.3 Responsabilitat de l'inspector	10
2.3.4 Procés de verificació	10
2.3.5 Recepció provisional.....	11
2.3.6 Inspecció realitzada pel director tècnic.....	11
2.3.7 Acceptació de la revisió definitiva	11
3 PLEC DE CONDICIONS ECONÒMIQUES.....	11
3.1 Formalització del contracte	11
3.2 Responsabilitat de contractació pel director tècnic.....	11
3.3 Firma dels documents contractuals	11
3.4 Fases del pagament del projecte.....	12
3.5 Drets del fabricant durant la fabricació de l'equip.....	12
3.6 Entrega de duració limitada	12
3.7 Causes suficients de rescissió de contracte	12
4 PLEC DE CONDICIONS PARTICULARS I TÈCNIQUES.....	13
4.1 Obligacions amb la utilització dels materials	13
4.2 Vestimenta de treball	13
4.3 Ulleres de seguretat	13

4.4 Manipulació d'encenalls	13
4.5 Eines, útils i calibres.....	13
4.6 Polseres i aliances.....	13
4.7 Proteccions especials en màquines.....	14
4.8 Modificació de màquines	14
4.9 Extintor d'incendis.....	14
5 PLEC DE CONDICIONS DE SEGURETAT I HIGIÈNE	15
5.1 Responsabilitat del fabricant en front als accidents	15
5.2 Compliment de les lleis del reglament de caràcter oficial	15

DOCUMENT 6. AMIDAMENTS 1
1 AMIDAMENTS 1

DOCUMENT 7. PRESSUPOST.....	2
1 QUADRE DE PREUS 1	2
2 QUADRE DE PREUS 2	10
3 PRESSUPOST GENERAL	18
4 RESUM DEL PRESSUPOST	26

Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB
AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS**

Document 2: MEMÒRIA DESCRIPTIVA

Autor: Adrià Bustamante Garriga

Director: Javier Díaz Gutiérrez

Tutor: Diego Ramos Romero

Data: Setembre 2022



**UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI**

etsEQ

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

ÍNDEX MEMÒRIA DESCRIPTIVA

DOCUMENT 2. MEMÒRIA DESCRIPTIVA.....	3
1 AGENTS.....	3
1.1 Promotor del projecte	3
1.2 Projectista i equip redactor	3
2 OBJECTE DEL PROJECTE	3
2.1 Definició de l'objecte	3
2.2 Resum descriptiu de l'equip a dissenyar	4
3 ANTECEDENTS	5
4 BASES DEL PROJECTE	5
4.1 Directrius.....	5
4.1.1 Objectiu o finalitat.....	5
4.1.2 Condicionants del promotor	5
4.2 Condicionants del projecte	6
4.2.1 Legislació.....	6
4.2.2 Entorn físic.....	8
4.2.3 Requeriments dels possibles usuaris.....	8
4.3 Situació actual.....	9
5 ESTUDI D'ALTERNATIVES DEL PROJECTE	10
5.1 Identificació d'alternatives	10
5.1.1 A la capacitat productiva	10
5.1.2 Al disseny	11
5.1.3 Als materials	12
5.1.4 Als components i elements mecànics	12
5.2 Metodologies i criteris de valoració	13
5.3 Resultat de l'elecció d'alternatives a desenvolupar	13
5.3.1 Al disseny	13

5.3.2	Als materials	14
5.3.3	Als components i elements mecànics	15
6	ENGINYERIA DEL PROJECTE	15
6.1	Enginyeria bàsica de l'equip	15
6.1.1	Funcionament general de l'equip.....	15
6.1.2	Desglossat de l'equip en components.....	16
6.1.3	Descomposició dels components en elements	16
6.1.4	Condicions de disseny	18
6.2	Enginyeria de detall de l'equip	19
6.2.1	Descripció dels components i dels elements comprats	19
6.2.1.1	Brides	19
6.2.1.2	Juntes.....	21
6.2.1.3	Cargolam.....	21
6.2.2	Resultat de càlcul i disseny dels elements construïts	22
6.2.2.1	Càlculs per pressió interna	23
6.2.2.2	Càlcul d'elements de suportació	26
6.2.2.3	Càlcul d'elements d'hissat	27
7	JUSTIFICACIÓ DEL COMPLIMENT DE NORMATIVES ESPECÍFIQUES.....	31
7.1	Normativa vigent	31
7.2	Compliment de la normativa vigent	32
8	PROGRAMACIÓ DE L'EXECUCIÓ	33
9	AVALUACIÓ FINANCERA DEL PROJECTE	35
10	WEBGRAFIA	36
11	RESUM DEL PRESSUPOST	37



DOCUMENT 2. MEMÒRIA DESCRIPTIVA

1 AGENTS

1.1 Promotor del projecte

El promotor del projecte és l'empresa del sector químic que sol·licita els serveis d'enginyeria. Aquesta empresa, situada al complex químic del Camp de Tarragona, es dedica a la producció d'un gran ventall de productes químic, principalment polímers.

1.2 Projectista i equip redactor

L'encàrrec d'aquest projecte ha estat encomanat a l'empresa FLUOR Plant Engineering, S.A., empresa dedicada a oferir serveis d'enginyeria per als sectors industrials com poden ser el sector químic i petroquímic, el sector de la construcció o el sector de l'energia.

El Treball de Fi de Grau es duu a terme en modalitat de Treball de Fi de Grau extern a la Universitat, doncs la redacció d'aquest s'ha realitzat de forma interna a l'empresa FLUOR tractant-se d'un projecte real sol·licitat per un client del sector químic.

El projectista és l'estudiant de quart curs del Grau d'Enginyeria Mecànica de la Universitat Rovira i Virgili, l'Adrià Bustamante Garriga. Es disposa del suport i la supervisió del Departament Mecànic de l'empresa d'enginyeria FLUOR Plant Engineering, S.A., liderat pel Sr. Javier Díaz Gutiérrez, el qual és alhora el director d'aquest Treball de Fi de Grau.

2 OBJECTE DEL PROJECTE

2.1 Definició de l'objecte

L'objecte d'aquest projecte consisteix en el disseny mecànic del reactor R-2000 (numeració d'identificació de l'equip) per tal de ser fabricat i muntat en el seu emplaçament final, la planta de producció de l'empresa química situada al Camp de Tarragona.

2.2 Resum descriptiu de l'equip a dissenyar

Un reactor és un equip a pressió el qual alberga al seu interior una reacció química. Aquests estan dissenyats per tal de maximitzar la conversió i la selectivitat de la reacció desitjada amb el menor cost possible, per la qual cosa els paràmetres de disseny aniran condicionats segons el procés químic desitjat.

Aquest equip comptarà també amb un agitador, el qual té la funció d'homogeneïtzar la mescla interior per dur a terme correctament la reacció i afavorir la transferència de calor. L'agitador està format per un eix vertical en voladís amb un conjunt de pales encarregades d'agitar la mescla. Segons les característiques de la mescla a produir, principalment tenint en compte la viscositat del producte, i el règim que es vulgui tenir (laminar o turbulent), s'agitarà amb un número de revolucions per minut baix o elevat. Cal afegir que el disseny i el càlcul mecànic de l'agitador queda fora de l'abast d'aquest projecte, doncs l'estudi ve proporcionat pel mateix fabricant i subministrador d'agitadors. Tot i això, les càrregues estàtiques i dinàmiques que comporten aquest element, s'han tingut en compte per al dimensionament de la resta de parts del reactor.

Tal i com s'ha comentat, el disseny del reactor ve condicionat pel tipus de procés que tindrà en el seu mode habitual d'operació. Així doncs, compta amb un conjunt de tubuladures d'entrada per tal que es pugui dur a terme l'adició del conjunt de productes per separat, podent controlar i determinar les seves quantitats de forma independent, ajustant-les segons les necessitats de la reacció. L'estudi de procés per garantir la reacció química i obtenir el producte final desitjat ha estat realitzat pel Departament de Processos de FLUOR, per la qual cosa s'ha exclòs de l'abast mecànic del projecte.

Finalment, per tal de completar el disseny del reactor R-2000, s'han tingut en compte també les fases de transport i muntatge de l'equip a planta. El reactor disposa de dues orelletes d'hissat i una de retenguda perquè pugui ser elevat i transportat amb una grua fins al seu emplaçament final. El correcte desenvolupament de les maniobres d'hissat és un aspecte important al finalitzar el projecte d'un recipient a pressió, per la qual cosa s'ha considerat oportú incloure-ho a l'abast.

Al present projecte no es tenen en compte la localització dels sistemes d'instrumentació i d'electricitat de l'equip, ja que el seu disseny i muntatge es duu a terme pels respectius departaments de FLUOR (E&I). Tot i això, el cost total dels equips d'instrumentació i electricitat, així com el seu muntatge, quedarà reflectit al pressupost general del reactor R-2000.



3 ANTECEDENTS

A la planta de producció de l'empresa química sol·licitant del projecte es disposa únicament d'un sol reactor per dur a terme el procés de reacció i obtenció de producte. Al llarg dels anys s'ha vist que la producció quedava molt limitada amb una sola unitat, per la qual cosa s'ha considerat oportú instal·lar un nou reactor a la línia de producció amb la finalitat principal d'augmentar els m³ de matèria i incrementar els beneficis de la planta.

A més, al disposar de dos reactors en paral·lel, permet mantenir la producció de la planta en funcionament de forma ininterrompuda sense la necessitat d'aturar-la per complet a l'hora de realitzar el manteniment dels reactors, escenari el qual es donava fins ara. Aquest fet provocava unes grans pèrdues econòmiques per l'empresa referent a la quantitat de producte que es deixava de produir.

4 BASES DEL PROJECTE

4.1 Directrius

4.1.1 Objectiu o finalitat

El projecte consistirà en dur a terme el disseny del nou reactor R-2000 amb la finalitat d'augmentar el nivell de producció de la planta química, el qual es tradueix amb un increment dels beneficis a finals d'any. Addicionalment, es disposarà d'un reactor nou en paral·lel amb l'existent per tal d'evitar aturar la producció per complet durant les tasques de manteniment d'un dels dos equips.

Així doncs, els principals objectius a mode de resum són els següents:

- Increment de la producció a la planta química.
- Increment de la disponibilitat dels equips (dos reactors en paral·lel).
- Millora de l'eficiència de la reacció.

4.1.2 Condicionants del promotor

El promotor del projecte, en aquest cas el client, imposa una sèrie de condicionants que cal tenir en compte a l'hora de dissenyar l'equip. Aquests condicionants són els següents:

- El reactor s'emplaçarà a la planta de producció de l'empresa química (promotor) situada al Complex Químic del Camp de Tarragona.
- Dins de planta, la ubicació de l'equip es trobarà dins un edifici obert i sobre una plataforma a +5.00 m.
- El disseny del reactor haurà de satisfer un cert grau de fiabilitat per tal de poder dur a terme la reacció sota unes determinades condicions d'operació (pressió i temperatura).
- El reactor tindrà una capacitat de 6 m³ de producte.
- Per limitació d'espai de l'entorn on anirà ubicat el reactor, el diàmetre exterior d'aquest no pot superar els 1.800 mm, aproximadament.
- El reactor tindrà forma cilíndrica i es disposarà verticalment al seu emplaçament.
- El disseny de l'equip es durà a terme segons normativa americana (Codi de disseny ASME).
- La pressió de disseny del reactor serà de +4 barg.
- La pressió d'operació del reactor serà de 1.7 barg.
- La temperatura de disseny del reactor serà de -10°C a +260°C.
- La temperatura d'operació del reactor serà d'uns 66°C.
- El reactor disposarà d'un agitador vertical.
- El reactor disposarà d'orelletes d'hissat per facilitar les maniobres de muntatge.

A més, el promotor també exigeix que el projecte compleixi amb les diferents normatives aplicables als diferents components de l'equip, així com les normatives de seguretat laboral i mediambiental vigents que siguin dictades per l'administració.

4.2 Condicionants del projecte

4.2.1 Legislació

El present projecte està condicionat per cinc legislacions imposades pel mateix promotor i que són d'obligat compliment, les qual són:

1. Reial Decret 809/2021, el qual estableix el reglament d'equips a pressió i les seves instruccions tècniques complementàries.
2. Reial Decret 709/2015, el qual estableix els requisits essencials de seguretat per a la comercialització dels equips a pressió. Aquest Reial Decret adopta la nova Directiva Europea 2014/68/UE i substitueix l'anterior Directiva 97/23/CE.



3. Ordre del Departament d'Innovació, Universitats i Empresa de la Generalitat de Catalunya IUE/470/2009, de 30 d'Octubre, el qual regula l'aplicació del Reglament d'Equips a Pressió a Catalunya.
4. Directiva 2006/42/CE, la qual estableix la normativa referent a la comercialització i posada en servei d'una màquina.
5. Directiva 2014/34/UE, sobre els sistemes de protecció en atmosferes potencialment explosives.

El Reial Decret 809/2021 estableix les normes i els criteris de seguretat per a una adequada utilització dels equips a pressió. El present reglament s'aplica a la instal·lació, inspeccions periòdiques, reparació i modificació de tots els equips sotmesos a una pressió màxima admissible superior a 0.5 bar, incloent també les canonades de connexió o conducció de qualsevol fluid o substància. En aquest cas, el reactor es dissenyarà per arribar a suportar una pressió màxima de +4 barg, per la qual cosa el reglament aplica en aquest projecte.

La Directiva Europea 2014/68/UE estableix els requisits essencials de seguretat exigibles als equips a pressió i als conjunts que suposin una novetat al mercat de la Unió Europea en el moment d'introduir-se en el mateix per a la seva comercialització, amb la finalitat de garantir un elevat nivell de protecció de la salut i la seguretat de les persones, així com de protecció dels animals domèstics i dels béns. En aquest cas, la present Directiva s'aplica al disseny, la fabricació i la avaluació de la conformitat dels equips i els conjunts sotmesos a una pressió màxima admissible superior als 0.5 bar. S'exclouen de l'àmbit d'aplicació de la normativa els sistemes de canonades. En referència a aquesta normativa i en compliment de les obligacions derivades del Tractat d'adhesió d'Espanya a la Unió Europea, és precís dictar les disposicions nacionals que adapten la legislació espanyola a las previsions contingudes a l'esmentada Directiva per mitjà del Reial Decret 709/2015.

Donat que el reactor s'instal·larà al Camp de Tarragona, és a dir, dins el territori de Catalunya, caldrà que compleixi amb l'Ordre IUE/470/2009. L'Ordre esmentada és aplicable a l'execució, la posada en funcionament, l'ús, la reparació, el manteniment, la inspecció i el control de les instal·lacions d'equips a pressió dins del territori de Catalunya, i que es troben en l'àmbit d'aplicació del Reial Decret 809/2021.

La Directiva 2006/42/CE del Parlament Europeu i del Consell, del 17 de maig del 2006, aplica en aquest projecte donat que el reactor incorpora un agitador amb el seu respectiu

motor elèctric (màquina). Tot i això, donat que el disseny de l'agitador ha estat exclòs de l'abast del present projecte, la normativa es té en compte per a la legalització de l'equip. Les directius que condicionen el disseny d'aquest element, han estat considerades pel propi subministrador de l'agitador.

La Directiva 2014/34/UE dependrà únicament dels equips d'instrumentació i electricitat que incorpora el mateix reactor. En aquest cas, en referència a les zones ATEX, es classifica com a zona 1 el recinte interior i exterior del reactor.

4.2.2 Entorn físic

El nou reactor a dissenyar s'emplaça a la mateixa ubicació on està situat actualment el reactor existent, el qual es duplica. Aquest emplaçament es situa a la planta de producció de l'empresa química ubicada al Camp de Tarragona. El lloc d'emplaçament no està completament descobert, sinó que es tracta d'una estructura metàl·lica coberta per la part superior i descoberta pels laterals que alberga tot el conjunt d'equips de la planta. Així doncs, el mateix reactor i els seus elements auxiliars estan exempts d'estar exposats als fenòmens meteorològics com la pluja o el vent.

El Camp de Tarragona, on s'emplaça el nou reactor, es caracteritza per presentar un clima mediterrani. El clima mediterrani consisteix en hiverns plujosos i de temperatura moderada, és a dir, no excessivament baixa. Per altra banda, els estius solen ser calorosos i secs, encara que les temperatures no són elevades. La humitat relativa de l'ambient es troba entre un rang del 50% al 90%, donada la proximitat al mar Mediterrani. L'altitud de funcionament del reactor es pot considerar pràcticament a cota de nivell del mar i pel que fa a la contaminació ambiental, no es veurà afectat pels vapors generats en altres processos de la planta, doncs el reactor està ubicat a l'aire lliure.

4.2.3 Requeriments dels possibles usuaris

Els requeriments que han de disposar els possibles usuaris de l'equip durant les fases finals del projecte, és a dir, la instal·lació d'aquest, es basen principalment en la disponibilitat d'espai per treballar i en les condicions de manteniment que requereix el reactor:

- Es disposarà de l'espai suficient perquè l'equip pugui ser emplaçat. Donat que el reactor s'instal·la dins una estructura metàl·lica sobre una plataforma a cota +5.00 m, les maniobres d'hissat i col·locació han de ser molt delicades, doncs l'espai és reduït. El reactor s'entrarà per la part baixa de l'edifici (+0.00 m) i



posteriorment s'elevant verticalment a cota +5.00 m. No es preveu la retirada dels equips propers per a la instal·lació del reactor.

- Es disposarà d'una grua per tal de dur a terme les maniobres d'hissat de l'equip.
- Es disposarà dels estocs mínims necessaris dels principals recanvis que requereix l'equip: brides, juntes, etc. per tal de fer front a averies imprevisibles.
- Es realitzaran inspeccions visuals de forma periòdica a l'equip per tal de comprovar que el seu estat mecànic és correcte.
- Es garantirà l'ús òptim de funcionament de l'equip, tenint en compte les condicions i recomanacions imposades pel dissenyador de l'equip.
- L'usuari final de l'equip disposarà dels elements d'instrumentació i del cablejat elèctric, necessaris per al funcionament i monitorització del reactor.
- Les tasques de manteniment seran realitzades pel propi usuari final (client i promotor del projecte) o, a partir d'aquest, es disposarà d'un servei extern especialitzat en el manteniment d'equips industrials.
- Les polítiques de bon ús de l'equip recauran en mans del propi usuari final.
- En el cas de produir-se una averia al propi equip, l'usuari es posarà en contacte amb el dissenyador del propi reactor. En cap cas es poden realitzar modificacions sobre el mateix equip que incompleixin la normativa vigent que ho regula.
- El dissenyador garantirà el bon funcionament de l'equip segons les condicions per la qual ha estat dissenyat. En el cas de registrar-se una averia, el dissenyador realitzarà el nou disseny de la part afectada per tal de solucionar l'afectació.

Els informes descriptius realitzats després de produir-se una averia, seran enviats pel dissenyador a l'usuari final de l'equip.

4.3 Situació actual

Actualment, el client disposa únicament d'un sol reactor per dur a terme el procés químic que es realitza a la planta de producció. Aquest procés consisteix en la reacció d'un conjunt de productes, mitjançant l'equip a dissenyar, per posteriorment seguir amb la línia de producció.

El procés de reacció és possible gràcies a les condicions de pressió i temperatura que es donen dins el reactor i que, amb les quantitats òptimes de cada subproducte afegit, s'aconsegueix el producte resultant desitjat. Així doncs, el disseny del reactor estarà

condicionat per les condicions imposades del procés. A més, gràcies a la disposició d'un agitador, s'aconsegueix unificar i homogeneïtzar la mescla obtinguda.

El fet de disposar únicament d'un sol reactor per a la línia de producció limitava en gran mesura la capacitat productiva de la línia. A més, les parades per manteniment de l'equip comportaven haver d'aturar per complet la producció, per la qual cosa les pèrdues econòmiques generades eren més elevades.

Finalment, per tal de solucionar els problemes que comporta la disponibilitat d'un únic reactor, el client ha considerat oportuna la incorporació d'un nou equip a la línia de producció. Aquest fet permetria augmentar notablement la capacitat productiva, així com tenir l'avantatge de disposar de dos equips en paral·lel, de tal manera que els respectius manteniments es realitzarien de forma alternada i no seria necessari aturar la planta de producció.

En referència a la instal·lació del nou reactor, aquest s'ubicarà dins un edifici format per estructura metàl·lica i sobre una plataforma a cota +5.00 m. Es trobarà emplaçat a poca distància del reactor existent, a la planta on es duu a terme aquest procés. L'espai existent per a les maniobres d'hissat i instal·lació és molt reduït i no està prevista la retirada dels equips existents.

5 ESTUDI D'ALTERNATIVES DEL PROJECTE

5.1 Identificació d'alternatives

5.1.1 A la capacitat productiva

No s'exposen alternatives referents a la capacitat productiva, ja que el mateix promotor del projecte imposa com a condicionant que el nou reactor a dissenyar tingui un volum de 6 m³ per poder dur a terme la reacció dels productes i disposi d'un agitador per homogeneïtzar la mescla.

A més, la disposició de les connexions i tubuladures venen determinades pel procés que es duu a terme, per la qual cosa no existeix opció d'alternativa.

5.1.2 Al disseny

El disseny d'un equip a pressió està influenciat principalment per dues variables: els condicionants establerts pel promotor del projecte i el codi de disseny emprat per a dur a terme el disseny de l'equip.

El principal punt a l'hora de dissenyar un recipient a pressió és l'elecció del respectiu codi de disseny. Aquest ens marcarà les pautes per establir els procediments i requisits mínims per al disseny, fabricació, muntatge i modificació de l'equip. Segons el procediment de càlcul imposat pel codi de disseny, s'obtindrà un espessor mínim de paret per tal que l'equip pugui operar de forma segura sota les condicions de pressió i temperatura a la qual estarà sotmès.

L'elecció del codi de disseny condicionarà el resultat final obtingut i el preu de l'equip, ja un major espessor de l'equip implica també majors costos de materials, conformat, fabricació, transport, instal·lació i proves. Cada país té el seu propi codi de disseny que estableix les pautes dels equips a pressió, entre els més comuns trobem:

- Normativa americana: ASME Boiler & Pressure Vessel Code
- Normativa alemanya: AD2000 – Merkblätter
- Normativa europea: EN 13445

Per altra banda, pel que fa al disseny de l'equip, ha calgut valorar diverses alternatives referents a la suportació de l'equip un cop emplaçat a la seva ubicació final. Entre les opcions valorades s'hi troben les següents:

- Faldó.
- Potes.
- Suports laterals.

Seguint el fil d'alternatives del tipus de suports que disposarà el reactor i degut a l'espai reduït que es disposa per dur a terme les maniobres d'hissat i instal·lació, també ha calgut fer la següent valoració:

- Suports desmuntables.
- Suports permanents.

5.1.3 Als materials

En quant als materials de fabricació de l'equip, s'han valorat diverses opcions per a cada un dels elements que forma part del reactor. Tot i això, s'ha considerat unificar-los amb un sol material escollit per tal d'abaratir els costos del projecte i reduir els plaços d'entrega del material per part del subministrador.

De materials en trobem una gran varietat al mercat, però les alternatives s'han definit entre les dues grans famílies d'acers. Les opcions valorades per a la fabricació dels elements que componen el reactor han estat les següents:

- Acer al carboni.
- Acer al carboni + revestiment interior de protecció d'acer inoxidable capaç de resistir atacs corrosius (*cladding*).
- Acer inoxidable.

5.1.4 Als components i elements mecànics

En aquest apartat s'han considerat les alternatives que afecten als diversos components que formen el reactor: el fons inferior i superior i l'envolvent. Pel que fa a l'envolvent, aquesta ha de ser de tipus cilíndrica i disposada verticalment, segons els condicionants imposats pel promotor del projecte, per la qual cosa no es valoren alternatives.

Els elements restants dels quals sí que s'han valorat diverses alternatives són els fons inferior i superior. Dins el disseny d'equips a pressió en general, trobem diverses geometries a escollir segons la conveniència del projecte, amb unes dimensions estandarditzades i normalitzades.

Els tipus de fons més populars i emprats pels diversos codis de disseny i que s'han valorat per al disseny del reactor són els següents:

- Fons tipus Klopper (torisfèric).
- Fons Korbbogen (semi el·líptic).
- Fons el·líptic 2:1.
- Fons pla o base.
- Fons cònic.



5.2 Metodologies i criteris de valoració

La metodologia per escollir l'alternativa òptima en cada cas ha estat comparar els avantatges i desavantatges que es tenen en cada situació, tenint en compte en tot moment els requisits imposats pel promotor del projecte i la compatibilitat dels elements dissenyats en front al procés de producció. En aquest cas, tot i que també s'ha tingut en compte l'aspecte econòmic que comporta cada una de les alternatives, no ha estat la principal valoració per al disseny final de l'equip.

El fet de realitzar la comparació de les alternatives per mitjà d'un desglossament de criteris concrets i precisos, ha permès no haver d'utilitzar altres mètodes de valoració d'alternatives, com per exemple el mètode PRES.

5.3 Resultat de l'elecció d'alternatives a desenvolupar

5.3.1 Al disseny

Tal com s'ha comentat anteriorment, el principal factor que condicionarà el disseny del reactor serà el codi de disseny escollit finalment. En aquest aspecte, i tenint en compte la imposició del promotor del projecte de realitzar el disseny a partir de normativa americana, s'ha acabat escollint finalment el codi de disseny ASME Boiler & Pressure Vessel Code.

El codi ASME té un conjunt d'onze seccions i en aquest cas, la que aplica per al disseny i fabricació de recipients a pressió és la secció VIII. Dins d'aquesta secció, més concretament, s'ha optat per realitzar el disseny del reactor a partir de la Divisió 1, donada la facilitat de càlcul i les garanties de seguretat de l'equip.

Pel que fa al tipus de suportació de l'equip, s'ha tingut en compte que aquest anirà disposat verticalment dins un edifici tancat, i més concretament, sobre una plataforma. Finalment s'ha considerat la incorporació de quatre suports laterals per tal de subjectar i acollir l'equip al seu emplaçament. Aquesta alternativa escollida presenta diversos avantatges en front les altres opcions (faldó i potes) i s'adapta millor a l'emplaçament de l'equip.

Després d'escollir que finalment el reactor es suportarà mitjançant quatre suports laterals, s'ha valorat si aquestes seran desmuntables (unions cargolades) o permanents (soldadura). En aquest cas s'ha optat per les dues opcions per a facilitar la instal·lació

de l'equip, degut a la limitació d'espai, i per garantir la correcta subjecció d'aquest degut a les vibracions induïdes per l'agitador.

Així doncs, el procés de muntatge dels suports seria el següent:

1. Inicialment, els suports es dissenyen perquè siguin desmuntables mitjançant unions cargolades.
2. El reactor, una vegada fabricat, sortirà del taller sense els suports muntats per tal de ser traslladat a la planta de producció on finalment serà ubicat.
Analitzant la disponibilitat d'espai a planta, es va comprovar que amb els suports incorporats s'impossibilitava la seva instal·lació, ja que no passava pel forat realitzat a la plataforma. D'altra banda, degut a interferències amb altres equips, no es podia realitzar la instal·lació del reactor per la part superior de l'edifici, sinó que s'havia de realitzar per la part inferior de la plataforma.
3. Una vegada hissat l'equip i situat al seu emplaçament en voladís, subjectat per la grua, es procedeix a incorporar les quatre potes i acollar-les al cos de l'envolvent.
4. Es procedeix a descendir l'equip fins quedar recolzat a la plataforma per els quatre punts de suport.
5. Degut a que el reactor disposarà d'un agitador i amb la finalitat d'evitar l'assentament excessiu de les unions cargolades a partir de les càrregues dinàmiques i les vibracions, es considera soldar definitivament els quatre suports. Aquesta soldadura es realitza a camp mateix.

5.3.2 Als materials

Tal com s'ha mencionat anteriorment, primer de tot es defineix que el reactor sigui fabricat amb acer, per tal d'assegurar unes òptimes propietats mecàniques en front les condicions de pressió i temperatura d'operació nominal. Dins la gran varietat d'acers existents al mercat, s'ha optat finalment per escollir l'acer inoxidable en tota la totalitat de l'equip.

La decisió d'escollir l'acer inoxidable com a material principal es basa en la prevenció de l'atac químic (corrosió) que pot causar el producte intern de l'equip, ja que un acer al carboni convencional no estaria preparat per aquestes condicions. A més, donat que l'equip a dissenyar és relativament petit, no suposa un gran excés de preu fabricar-lo en acer inoxidable.

Més concretament, seguint la taula de materials que ens proporciona el codi ASME Secció II, els materials seleccionats han estat els següents:



- ASME SA-240 316L: acer inoxidable emprat per a la fabricació de xapes. Aquest material s'emprarà per a la fabricació del fons inferior i superior, l'envolvent, els suports del reactor, la presa de terra i altres elements interns fets de xapa.
- ASME SA-312 TP316L: acer inoxidable emprat per a la fabricació de tubs amb especificació ASME B36.19. Totes les tubuladures es fabricaran amb aquest material.
- ASME A182 F316L: acer inoxidable de forja. Aquest material s'assigna per a la fabricació de totes les brides de connexió.
- ASME SA-193 B7: acer aliat per a la fabricació de cargolam: cargols, femelles, volanderes, passadors, etc.

5.3.3 Als components i elements mecànics

En aquest apartat, d'entre totes les alternatives possibles per al disseny dels fons inferior i superior, s'ha optat en els dos casos per un tipus Korbogen. Les característiques dimensionals i geomètriques que ofereix aquest tipus de fons són un gran avantatge respecte les altres alternatives, doncs permet una millor distribució de les tubuladures i connexions.

A més, aquest tipus de disseny Korbogen permet absorbir pressions interiors més altes, per la qual cosa ha estat un altre punt a tenir en compte per a la seva selecció final.

Pel que fa al disseny de l'envolvent, aquesta ve imposada per les condicions del promotor (cilindre vertical). El procés de conformació d'aquest element es realitza mitjançant el doblegat de xapa fins aconseguir el diàmetre desitjat.

6 ENGINYERIA DEL PROJECTE

6.1 Enginyeria bàsica de l'equip

6.1.1 Funcionament general de l'equip

L'equip que s'està dissenyant en el present projecte és un reactor químic. Aquest element té la funció de transformar una substància química en una altra a partir d'un procés de reacció que es duu a terme en el seu interior.

A més, el producte químic resultant requereix d'una agitació contínua per tal d'assegurar una constant circulació i poder garantir una mescla uniforme. Això s'aconsegueix

mitjançant un agitador disposat verticalment i en voladís, subjectat pel fons superior de l'equip.

Degut al tipus de reacció que es vol dur a terme, l'equip estarà sotmès a unes condicions de pressió interna i temperatura determinades, per la qual cosa s'han de tenir en compte en el seu disseny mecànic.

6.1.2 Desglossat de l'equip en components

El reactor s'ha descompost en quatre grups principals: el fons superior, l'envolvent, el fons inferior i els elements interns. A cada una d'aquestes parts s'hi troben units altres elements com són les tubuladures i connexions, els suports i les orelletes d'hissat.

Tal com s'ha comentat anteriorment, tot i que el reactor disposa d'un agitador, el disseny d'aquest no entra dins l'abast del projecte, per la qual cosa no es tindrà en compte a l'hora de desglossar l'equip en components.

6.1.3 Descomposició dels components en elements

Els quatre principals components que formen el conjunt del reactor es poden descompondre en els següents elements, als quals van units:

- FONS SUPERIOR
 - Fons tipus Korbboogen
 - Tubuladures de connexió:
 - N1 (Transmissor de nivell).
 - N2 (Off Gas).
 - N4 (Filtre heptà).
 - N5 (Transmissor de pressió).
 - N6 (Suspensió catalitzador).
 - N7 (Agitador).
 - N9 (Alleujament de pressió).
 - N10 (Transmissor de pressió).
 - N11 (Càrrega de producte).
 - N13 (Transmissor de nivell).
 - N14 (Espera – brida cega).
 - N16 (Espera – brida cega).
 - N17 (Interruptor de nivell).



- N18 (Entrada d'oli mineral).
 - N19 (Filtre heptà).
 - N20 (Filtre heptà).
 - N21 (Tub d'immersió N20).
 - N22 (Espera – brida cega).
 - N23 (Tub d'immersió N4).
 - M1 (Boca d'home).
- ENVOLVENT
 - Envolvent fabricada amb xapa.
 - 4 suports tipus DIN 28083.
 - 2 Orelletes d'hissat.
 - 1 Orelleta de retinguda.
 - Tubuladures de connexió:
 - N8 (Transmissor de temperatura).
 - N12 (Presa de mostres).
 - N15 (Transmissor de nivell).
- FONS INFERIOR
 - Tubuladures de connexió:
 - N3 (Descàrrega de producte).
- ELEMENTS INTERNS
 - Tubuladures de connexió.
 - Baffles.
 - Suport de l'agitador.

6.1.4 Condicions de disseny

Abans de procedir amb l'enginyeria de detall, cal determinar les condicions de disseny de l'equip, així com els nivells d'acabat que hauran de presentar els seus components.

El codi de disseny utilitzat per dur a terme el càlcul del reactor ha estat el codi ASME Boiler & Pressure Vessel Code Secció VIII Divisió 1. Així doncs, s'han determinat els paràmetres necessaris que calen per realitzar el procediment. Aquests són els següents:

- Pressió de disseny: és la pressió interna amb la qual es dissenya l'equip. És a dir, el límit dins del qual pot operar el reactor de forma segura.
- Temperatura de disseny: és la temperatura interna a la qual pot arribar el reactor en condicions de seguretat.
- Corrosió admissible: és l'espessor de paret addicional que s'imposa per seguretat en cas d'atac químic (corrosió). D'aquesta manera, l'equip pot seguir operant de forma segura.
- Eficiència de junta: és el grau de confiança que es pot tenir a les unions. Aquest valor prendrà valors inferiors a 1 i variarà en funció de la exigència en les inspeccions. Una inspecció de junta exhaustiva i completa permetrà assignar un valor de 1 (Ex: radiografia total de soldadures). Pel contrari, una inspecció parcial (Ex: radiografia per punts) generarà més incertesa referent a l'estat mecànic de la junta, per la qual cosa l'eficiència serà menor ($E < 1$).

A continuació es disposen els paràmetres de disseny esmentats anteriorment en forma de taula (Taula 1), amb els respectius valors.

Taula 1: Paràmetres de disseny

Pressió de disseny [bar(g)]	+4
Temperatura de disseny [°C]	-10 / +260
Corrosió admissible [mm]	1,6
Eficiència de junta []	0,85 (cilindre) / 1 (fons)

Altres paràmetres que s'han tingut presents per al disseny de l'equip han estat els següents:

- Geometria: equip cilíndric disposat en vertical.
- Volum: 6 m³
- Principals dimensions: diàmetre exterior màxim de 1800 mm (aprox.). Diàmetre intern de 1730 mm.



- Suportació de l'equip: 4 suports laterals segons DIN 28083.

Els acabats superficials dels diversos elements és un punt important per preservar la integritat de l'equip en front a atacs químics del producte. D'aquesta manera, s'aconsegueix allargar la vida útil del reactor.

El fabricant de l'equip caldrà adequar els acabats superficials segons s'indica a continuació:

- Parts internes: decapat i passivat de l'acer inoxidable. Les soldadures internes seran polides.
- Parts externes: decapat i passivat de l'acer inoxidable. Posteriorment, s'aplica una capa de pintura segons les especificacions del client.

6.2 Enginyeria de detall de l'equip

6.2.1 Descripció dels components i dels elements comprats

El projecte de disseny i fabricació d'un recipient a pressió està sotmès a una normativa estricta, per la qual cosa, la majoria dels elements que componen l'equip són peces normalitzades que poden ser adquirides fàcilment al mercat per part dels proveïdors.

Tot seguit, s'enumeren cada un dels elements normalitzats que s'han comprat amb una petita descripció. Per a una millor organització, aquests s'han agrupat per diversos subgrups.

6.2.1.1 Brides

- Brida ASME B16.5 Welding Neck NPS 1 Class 150.
Brida de coll segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal una polzada (25 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.
- Brida ASME B16.5 Welding Neck NPS 1 ½ Class 150.
Brida de coll segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal una polzada i mitja (40 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.
- Brida ASME B16.5 Welding Neck NPS 2 Class 150.

Brida de coll segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal dues polzades (50 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Blind NPS 2 Class 150.

Brida cega segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal dues polzades (50 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Slip-On NPS 2 Class 150.

Brida lliscant segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal dues polzades (50 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Welding Neck NPS 3 Class 150.

Brida de coll segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal tres polzades (80 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Blind NPS 3 Class 150.

Brida cega segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal tres polzades (80 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Welding Neck NPS 4 Class 150.

Brida de coll segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal quatre polzades (100 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Slip-On NPS 20 Class 150.

Brida lliscant segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal vint polzades (500 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida DIN 28124-3 & 4 DN500

Conjunt de boca d'home format per brida i sistema de tancament per pescant. Diàmetre nominal DN500 i fabricat en acer inoxidable 1.4404 (equivalent a A182 F316L).

- Brida DIN 28117 DN200

Brida plana per a sortida de producte de diàmetre nominal DN200 fabricada en acer inoxidable 1.4404 (equivalent a A182 F316L).

- Brida DIN 28137-1 DN400



Brida per a la connexió d'unitats d'agitació. En aquest cas, presenta un diàmetre nominal DN400 per tal de poder acoblar l'agitador a la part superior de l'equip.

6.2.1.2 Juntes

- Junta espiro metàl·lica ASME B16.20 NPS 3 Class 150
Junta fabricada en grafit i acer inoxidable de diàmetre nominal tres polzades (80 mm).
- Junta espiro metàl·lica ASME B16.20 NPS 20 Class 150
Junta fabricada en grafit i acer inoxidable de diàmetre nominal vint polzades (500 mm).
- Junta ASME B16.21 NPS 2 Class 150
Junta fabricada en PTFE (tefló) de diàmetre nominal dues polzades (50 mm).

6.2.1.3 Cargolam

- Cargol hexagonal M6 x 20 – 8.8 DIN 933
Cargol mètric hexagonal de mètrica 6 i una longitud de 20 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Cargol hexagonal M16 x 40 – 8.8 DIN 933
Cargol mètric hexagonal de mètrica 16 i una longitud de 40 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Cargol hexagonal M16 x 50 – 8.8 DIN 933
Cargol mètric hexagonal de mètrica 16 i una longitud de 50 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Cargol hexagonal M16 x 80 – 8.8 DIN 933
Cargol mètric hexagonal de mètrica 16 i una longitud de 80 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Cargol d'ull M20 x 280 – 8.8 DIN 444
Cargol mètric d'ull de mètrica 20 i una longitud de 280 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Espàrrec M16 x 100 – 8.8 DIN 976
Espàrrec de mètrica 16 i una longitud de 100 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Espàrrec M24 x 150 – 8.8 DIN 976

Espàrrec de mètrica 24 i una longitud de 150 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.

- Femella hexagonal M16 – 8.8 DIN 934
Femella hexagonal de mètrica 16, amb qualitat 8.8 i fabricada en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Femella hexagonal M24 – 8.8 DIN 934
Femella hexagonal de mètrica 20, amb qualitat 8.8 i fabricada en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Femella de càncam M20 – 8.8 DIN 582
Femella de càncam de mètrica 20, amb qualitat 8.8 i fabricada en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Volandera M16 – 8.8 DIN 125
Volandera plana per a mètrica 16, amb qualitat 8.8 i fabricada en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Volandera M24 – 8.8 DIN 125
Volandera plana per a mètrica 24, amb qualitat 8.8 i fabricada en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Passador d'aletes Ø8 x 45 – 8.8 DIN 94
Passador d'aletes de diàmetre 8 mm i una longitud de 45 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.

6.2.2 Resultat de càlcul i disseny dels elements construïts

Per al present projecte, ha estat necessari el càlcul dels diversos elements que conformen el reactor R-2000 per tal de dimensionar-los adequadament segons la pressió interna de disseny de l'equip.

Aquests elements, els quals s'han dimensionat per pressió interna, són els següents:

- Fons superior.
- Envoltent.
- Fons inferior.
- Tubuladures de connexió.

Per altra banda, també trobem els següents elements dels quals s'ha realitzat el respectiu càlcul per tal de dimensionar-los:

- Suports laterals del reactor.



- Orelletes d'hissat.
- Orelleta de retinguda.

Els càlculs s'han dut a terme segons el codi ASME Secció VIII Divisió 1 i s'han realitzat a partir del *software* de càlcul Codeware Compress. Aquest programa informàtic d'origen americà, permet dissenyar tot tipus de recipient a pressió i extreure'n els càlculs justificatius del seu dimensionament segons unes condicions de disseny imposades.

A continuació es separen per apartats els diversos resultats obtinguts del dimensionament de cada un dels elements.

6.2.2.1 Càlculs per pressió interna

El principal càlcul realitzat per dimensionar els diversos components que formen el reactor ha estat el de pressió interna, tot seguint el procediment marcat pel codi de disseny.

Per al càlcul de pressió interna, s'han tingut en compte dos escenaris, tal i com s'indica al codi de disseny. S'ha dimensionat cada un dels elements segons l'escenari més restrictiu.

1. Pressió interna segons prova hidràulica, és a dir, a una pressió de 8 bar i a temperatura ambient.
2. Pressió interna segons pressió de disseny (4 bar), a temperatura de disseny (260°C) i amb la corrosió admissible aplicada (1,6 mm). Aquest escenari es donaria al final de la vida útil de l'equip.

Per altra banda, també s'han calculat els dos paràmetres característics del codi ASME referent a un equip a pressió. Aquests són els següents:

1. MAWP (*Maximum Allowable Working Pressure*). És la màxima pressió admissible que pot resistir l'element sota condicions de corrosió (1,6 mm) i màxima temperatura (260°C).
2. MAP (*Maximum Allowable Pressure*). És la màxima pressió admissible que pot resistir l'element sense considerar corrosió (nou) i a temperatura ambient (20°C).

A continuació (Taula 2), es mostren els resultats obtinguts del càlcul del dimensionament per pressió interna dels diversos components de l'equip. L'espessor finalment determinat s'ha escollit basant-se en els estàndards de xapa existents al mercat i,

sobretot, en la seva disponibilitat i en el plaç d'entrega ofert pel subministrador. Un dels altres motius ha estat el de considerar un major reforç per a la gran quantitat de tubuladures que conté el fons superior. Degut a aquestes prioritats, el reactor queda lleugerament sobredimensionat (a favor de la seguretat).

Taula 2: Resultats del càlcul de dimensionament per pressió interna

Element de l'equip	t_{r1} [mm]	t_{r2} [mm]	t_n [mm]	MAWP [MPa]	MAP [MPa]
Fons superior	5,04	5,49	15*	1,4682	1,8536
Envolvent	7,45	6,06	10	0,8163	1,1223
Fons inferior	5,13	5,66	10*	0,9027	1,2434

*Espessor de partida abans del conformat. Les pèrdues d'espessor degudes al procés de conformat dels fons s'han tingut en compte.

Els tres resultats d'espessor representen el següent:

- t_{r1} : espessor mínim requerit per a resistir amb seguretat les condicions de la prova hidràulica.
 - Pressió interna de 0,8 MPa.
 - Temperatura de 20°C
 - Fluid de la prova hidràulica: aigua.
- t_{r2} : espessor mínim requerit per a resistir amb seguretat les condicions de disseny.
 - Pressió interna de 0,4 MPa.
 - Temperatura de 260°C.
 - Condicions de corrosió aplicables (1,6 mm).
- t_n : espessor nominal de l'element. Escollit en base a les dimensions normalitzades, disponibilitat del producte al mercat i plaços d'entrega curts segons el subministrador. El fet de sobredimensionar l'equip, a banda d'anar a favor de la seguretat, permet també possibles increments de pressió en un futur segons el procés desitjat (*re-rating*).

Els altres elements a dimensionar per pressió interna, seguint el mateix procediment de càlcul, han estat les tubuladures de connexió. Aquestes s'han escollit segons la norma



ASME B36.19, la qual cobreix l'estandardització de dimensions de tubs d'acer inoxidable forjats i sense soldadura.

A continuació (Taula 3), es llista el conjunt de tubuladures tot indicant l'espessor requerit resultant del càlcul (t_r), l'espessor finalment escollit segons les dimensions normalitzades per l'ASME B36.19 (t_n) i la respectiva referència completa de la canonada.

Taula 3: Resultat de càlcul de les tubuladures

Nº de tubuladura	t_r [mm]	t_n [mm]	Referència de la canonada
M1	1,73	6	DIN 28124-3 Ø508 x 6
N1	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N2	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N3	-	-	-
N4	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N5	0,0852	4,55	ASME B36.19 NPS 1 Sch80S
N6	0,36	6,02	ASME B36.19 NPS 4 Sch40S
N7	-	-	-
N8	0,15	5,08	ASME B36.19 NPS 1 ½ Sch40S
N9	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N10	0,0852	4,55	ASME B36.19 NPS 1 Sch80S
N11	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N12	0,11	4,55	ASME B36.19 NPS 1 Sch80S
N13	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N14	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N15	0,30	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N16	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N17	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N18	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N19	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N20	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N21	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N22	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N23	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S

6.2.2.2 Càlcul d'elements de suportació

La suportació de l'equip es duu a terme mitjançant quatre suports laterals adjunts a l'envolvent. A partir d'aquests suports, el reactor es recolza sobre la plataforma de l'edifici on s'emplaça l'equip. Així doncs, cal dimensionar adequadament aquests elements per tal de resistir les càrregues estàtiques de tot el conjunt.

El disseny dels suports s'ha realitzat tot seguint la normativa DIN 28083, la qual fa referència a suports laterals amb xapa de reforç comunament utilitzats per a la suportació d'equips a pressió, com és aquest cas. La norma esmentada permet seleccionar unes dimensions estàndards i normalitzades segons les condicions de càrrega que hagin de suportar, per la qual cosa ofereix un dimensionament amb garanties de seguretat.

Les dimensions finalment seleccionades pel conjunt de xapes que formen els suports laterals, segons normativa DIN 28083, són les següents (Taula 4). L'esquema mostrat a continuació permet localitzar cada una de les respectives cotes (Figura 1).

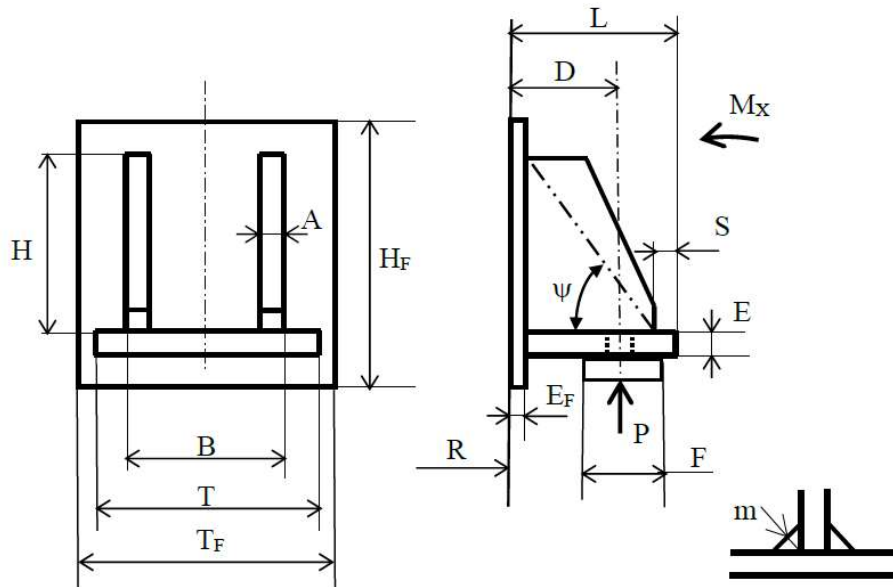


Figura 1: Esquema representatiu dels suports laterals (DIN 28083)



Taula 4: Resultats del dimensionament dels suports laterals (DIN 28083)

Element del suport	Dimensions [mm]	Mínim requerit [mm]	
Base del suport	L	380	-
	E	25	20,15
	T	260	-
	D	300	-
Cartel·les verticals (n=2)	B	234	-
	H	295	-
	A	12	1,35
	S	30	-
Xapa de reforç (envolvent)	H_F	400	-
	T_F	315	-
	E_F	12	Segons DIN 28083

Amb les dimensions seleccionades, les tensions resultants són inferiors a la tensió admissible del material (SA-240 316L). La justificació es realitzarà amb més detall al corresponent annex de càlcul.

Per al càlcul dels suports laterals, a banda de tenir en compte les càrregues estàtiques del propi equip, s'han considerat les càrregues induïdes per vent i sísmes. Tot i això, donat que el reactor està emplaçat dins un edifici, no rep la totalitat d'aquestes sol·licitacions.

6.2.2.3 Càlcul d'elements d'hissat

Finalment, els elements restants del reactor per a dimensionar són els elements d'hissat, en els quals s'inclouen les dues orelletes d'hissat i l'orelleta de retenguda.

L'equip a pressió, durant les fases de transport i hissat, pot patir sol·licitacions mecàniques elevades que generarien deformacions permanents, per la qual cosa provocaria un impacte important a nivell econòmic i planificació. Així doncs, les fases d'hissat i instal·lació de l'equip no es poden menysprear i cal tenir-les present durant les fases de disseny. Un correcte dimensionament dels elements d'hissat és vital per poder finalitzar el projecte amb garanties de seguretat.

Cal destacar que els equips llargs i d'espessors més reduïts, com podria ser una columna de destil·lació, són més susceptibles de patir danys durant les fases d'hissat. En el cas del present projecte, l'equip es tracta d'un reactor d'espessor considerable i dimensions relativament petites, per la qual cosa és un punt a favor en referència a la seva instal·lació.

Per poder calcular les orelletes, cal tenir clar quin serà l'estat de l'equip durant el seu transport. El reactor es transportarà cap a la seva ubicació de forma horitzontal i s'instal·larà finalment en posició vertical. Així doncs, durant la fase d'hissat, serà necessari considerar que l'equip calculat adoptarà tots els angles possibles des de la posició horitzontal fins la vertical, amb els respectius esforços associats a cada un dels angles.

La següent imatge (Figura 2) mostra de forma esquemàtica l'hissat de l'equip. Es pot observar una de les orelletes d'hissat a la part superior del reactor i l'orelleta de retenguda a la part inferior.

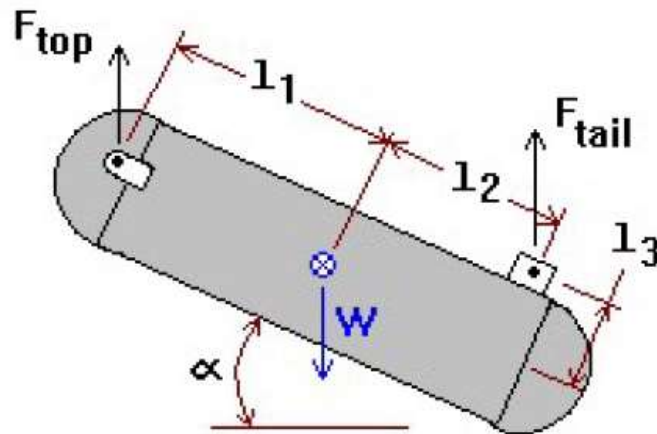


Figura 2: Procés d'hissat del reactor R-2000

Amb l'ajuda del programa de càlcul Codeware Compress, s'ha extret el conjunt de valors referents als esforços generats als punts d'hissat segons cada posició, de 0° (equip en horitzontal) fins als 90° (equip en vertical). Els resultats s'exposen a continuació (Taula 5):

Taula 5: Esforços als elements d'hissat segons posició de l'equip

α [°]	F_{top} [N]	F_{tail} [N]
0	8.835,9	13.265,3
15	9.581,3	11.774,4
30	10.257,6	10.421,8
45	10.964,4	9.008,3
60	11.821,2	7.294,7
75	13.068,6	4.799,8
90	15.468,5	0

A continuació (Figura 3), es mostra un esquema de les orelletes d'hissat per identificar cada una de les seves dimensions. En forma de taula s'especifiquen els valors d'aquestes cotes determinades a partir del procés de càlcul (Taula 6).

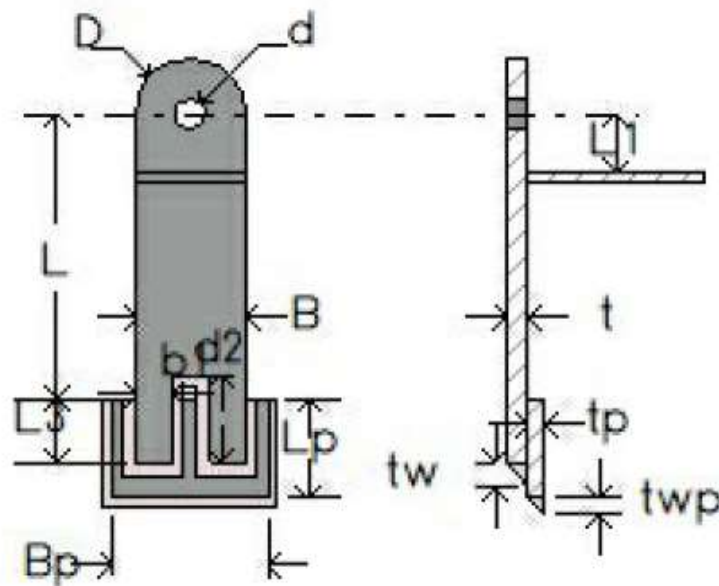


Figura 3: Disseny de les orelletes d'hissat

Taula 6: Resultats del dimensionament de les orelletes d'hissat

Element de l'orelleta	Dimensions [mm]	Mínim requerit [mm]	
Orelleta d'hissat	L	354	-
	B	142	-
	t	15	2,08
	d	38	-
	D_p	36	10,36
	D	142	-
	L₁	75	-
Soldadures	t_w	15	-
	b₁	46	-
	d₂	100	-
Xapa de reforç	B_p	202	-
	L_p	130	-
	t_p	10	-
	t_{w_p}	10	-
	L₃	100	-

Per altra banda, s'ha realitzat el mateix procediment de disseny per a l'orelleta de retinguda. Es mostra a continuació el respectiu esquema (Figura 4) i la taula amb les dimensions que s'han determinat finalment (Taula 7).

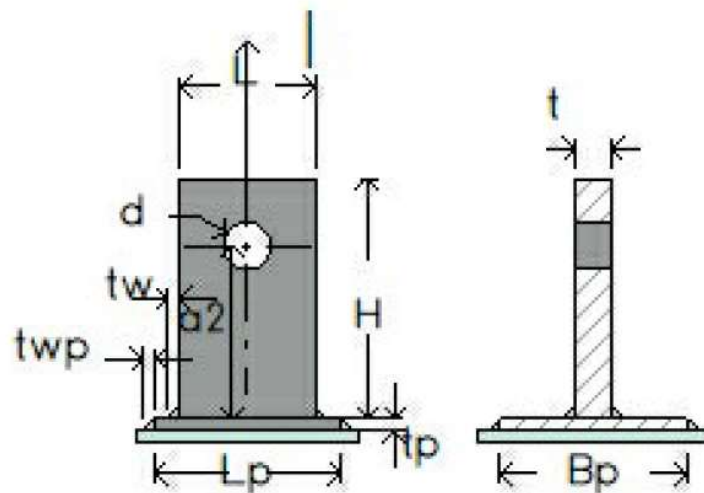


Figura 4: Disseny de l'orelleta de retinguda



Taula 7: Resultats del dimensionament de l'orelleta de retinguda

Element de l'orelleta	Dimensions [mm]	Mínim requerit [mm]	
Orelleta de retinguda	L	110	-
	H	195	-
	t	15	1,78
	d	38	-
	Dp	36	9,59
	a ₁	0	-
	a ₂	140	-
Soldadures	t _w	10	-
Xapa de reforç	B _p	75	-
	L _p	150	-
	t _p	10	-
	t _{wp}	10	-

En aquest cas, les dues tipologies d'orelletes d'hissat són fabricades en acer inoxidable segons ASME SA-240 316L, la qual fa referència al material en forma de xapa.

Les respectives dimensions s'han determinat a partir dels mínims requerits per càlcul i segons la disponibilitat del subministrador de materials. En aquest cas, s'ha considerat oportú determinar un espessor de 15 mm per als elements d'hissat donat que el fons superior també està conformat amb el mateix tipus de xapa. Unificant dimensions s'aconsegueixen optimitzar els costos totals del projecte i reduir els plaços d'entrega dels proveïdors de matèries primes.

7 JUSTIFICACIÓ DEL COMPLIMENT DE NORMATIVES ESPECÍFIQUES

7.1 Normativa vigent

L'objectiu d'aquest apartat de la memòria consisteix en realitzar un breu resum de les normatives aplicables i destacar-ne aquells punts més importants i que afecten amb gran mesura al disseny d'un equip a pressió.

En el present projecte, la principal normativa aplicable és aquella referent al reglament de disseny, seguretat i comercialització d'equips a pressió dins la Unió Europea, la Directiva 2014/68/UE. Aquesta normativa estableix les pautes d'obligat compliment per tal de poder homologar l'equip a pressió, que per al cas d'Espanya, correspon al Reial Decret 709/2015.

Derivat de la normativa europea i espanyola de recipients a pressió, s'aplica també al present projecte l'Ordre IUE/470/2009, del 30 d'octubre, la qual regula l'aplicació del Reglament d'equips a pressió a Catalunya. Cal considerar aquesta normativa, ja que l'equip serà instal·lat dins el territori català, concretament al Camp de Tarragona.

Per altra banda, donat que el reactor incorpora un agitador i el respectiu motor elèctric, s'ha inclòs la normativa referent a la seguretat de màquines (Directiva 2006/42/CE). Tot i això, l'esmentada normativa només es té en compte per a la legalització del reactor en el seu conjunt, doncs el disseny, càlcul i instal·lació de l'agitador no entra dins l'abast d'aquest projecte (responsabilitat del fabricant i subministrador de l'agitador).

De la mateixa manera, s'ha contemplat la Directiva 2014/34/UE referent als aparells i sistemes de protecció per a ús en atmosferes potencialment explosives (ATEX). L'esmentada Directiva es té en compte per a la legalització de l'equip, doncs s'exclouen de l'abast del projecte els aparells elèctrics i d'instrumentació als quals s'aplica la normativa.

A més, tot i no ser considerat una normativa estipulada per una Directiva Europea o un Reial Decret, cal tenir en compte també els requisits imposats pel mateix promotor del projecte. Aquests condicionants s'han de complir per tal que l'equip pugui funcionar correctament, segons les necessitats del client i del procés productiu.

7.2 Compliment de la normativa vigent

Tal com s'ha comentat a l'apartat anterior, la principal normativa que aplica a la realització del present projecte és la Directiva 2014/68/UE. Aquesta es divideix en un total de 52 articles i 6 annexes, tots ells d'obligat compliment.

Per al present projecte, s'ha considerat principalment la normativa referent a la fase de disseny de l'equip, estipulada a l'annex I (Requisits essencials de seguretat), apartat 2 (Disseny). Els principals punts normatius que es determinen són els següents:



1. Els equips a pressió es dissenyaran correctament tenint en compte tots els factors pertinents per garantir la seguretat de l'equip durant tota la seva vida útil.
2. El disseny inclourà coeficients adequats de seguretat que es basaran en mètodes generals dels que es tingui constància que utilitzen marges de seguretat pertinents per a prevenir de manera coherent tot tipus de fallades.
3. Els equips a pressió es dissenyaran per a resistir les càrregues corresponents a l'ús previst, així com per altres condicions de funcionament raonablement previsibles. En particular, es consideraran els següents factors.
 - La pressió interna i externa.
 - La temperatura ambient i la temperatura de funcionament.
 - La pressió estàtica i la massa del contingut en condicions de funcionament i assaig.
 - Les càrregues degudes al vent i al sisme.
 - Les forces i moments de reacció derivats dels suports, dispositius de muntatge, canonades, etc.
 - La corrosió i la erosió, la fatiga, etc.
4. L'avaluació final dels equips a pressió inclourà un assaig de resistència a la pressió, el qual consistirà en un assaig de pressió hidroestàtica.

El valor de pressió de la prova hidràulica serà, com a mínim, igual al més elevat dels dos valors següents:

- La pressió corresponent a la càrrega màxima a la que es pot sotmetre l'equip en servei, tenint en compte la seva pressió màxima admissible i la seva temperatura màxima admissible, multiplicada per un coeficient de 1,25.
 - La pressió màxima admissible multiplicada per un coeficient de 1,43.
5. L'equip a pressió es sotmetrà a una inspecció final per avaluar visualment i mitjançant examen dels documents el compliment dels requisits de la present Directiva. En la mesura que sigui necessari per motius de seguretat, la inspecció final es realitzarà a l'interior i a l'exterior de totes les parts de l'equip, en el seu cas, durant el transcurs del procés de fabricació.

8 PROGRAMACIÓ DE L'EXECUCIÓ

Per tal de dur a terme la programació de l'execució del present projecte, s'han plasmat les diverses tasques i activitats a realitzar en un diagrama de Gantt. S'ha escollit aquest

mètode de planificació i programació de projectes, el qual és el més utilitzat entre les empreses del sector de l'enginyeria, ja que permet visualitzar d'un cop d'ull totes les activitats del projecte, la seva duració, la seqüència i relacions entre les altres tasques (sèrie o paral·lel). A més, es mostra el calendari general del projecte, per la qual cosa s'identifiquen més fàcilment les dates d'entrega al client.

El projecte s'ha dividit en sis fases principals, les quals cada una d'elles conformen un conjunt d'activitats. Les fases i les respectives tasques s'exposen a continuació:

1. Sol·licitud del projecte. El client sol·licita la realització del projecte a l'empresa FLUOR Plant Engineering, S.A en data 10 de desembre del 2021.
2. Disseny/Enginyeria. És la fase de disseny del projecte.
 - Plànols i documents de càlcul en revisió 00.
 - Comentaris de la documentació entregada per part del client.
 - Plànols i documents de càlcul definitius en revisió 01.
3. Recepció de materials. Es rep la matèria prima i els diferents elements normalitzats sol·licitats als proveïdors de materials.
 - Xapa d'acer inoxidable (ASME SA-240 316L).
 - Fons superior i inferior conformats.
 - Brides de connexió.
 - Cargolam i juntes.
4. Fabricació. El procés de fabricació de l'equip és dut a terme per una empresa externa. Comporta les següents activitats:
 - Prefabricació (conformat de xapa, preparació de les tubuladures, etc.).
 - Fabricació de l'agitador.
 - Assemblatge de les tubuladures del fons superior i soldatge.
 - Assemblatge de les tubuladures del fons inferior i soldatge.
 - Fabricació i assemblatge de les principals seccions: envolvent, fons inferior i tubuladures.
 - Assemblatge de les tubuladures de l'envolvent i soldatge.
 - Assemblatge del fons superior i soldatge.
 - Resta de tasques: suports i elements d'hissat.
 - Test (prova hidràulica) i inspecció de l'equip.
 - Tractament superficial de les diverses parts.
 - Assemblatge de l'agitador i test de prova.



5. Expedició. Una vegada finalitzada la fabricació de l'equip, aquest es prepara per ser entregat al client.
 - Preparació de l'entrega.
 - Inspecció final de l'equip.
 - Transport.
6. Entrega. Finalment, l'equip és entregat al client en data 30 de juny del 2022.

Per tal d'ampliar la informació de la programació temporal, es pot consultar l'annex F, en el qual es presenta el diagrama de Gantt complet. En aquest document es determinen les dates d'inici i finalització de cada una de les activitats, la durada total de cada una de les sis fases principals i la data d'entrega al client, la qual cal respectar.

Així doncs, a mode de resum, el present projecte ha representat una durada total de sis mesos i mig, aproximadament, tenint en compte totes les fases que comporta: disseny, fabricació i entrega de l'equip al client. Les dates més significatives, d'inici i finalització del projecte han estat les següents:

- Inici del projecte: 10 de desembre del 2021.
- Finalització del projecte i entrega de l'equip: 30 de juny del 2022.

9 AVALUACIÓ FINANCERA DEL PROJECTE

L'avaluació financera del present projecte queda exclòs de l'abast, doncs no és competència de l'empresa que rep l'encàrrec (FLUOR).

El client i promotor del projecte ha estudiat la seva viabilitat econòmica i posteriorment, ha sol·licitat els serveis d'enginyeria a l'empresa FLUOR per tal de realitzar-lo. Degut a clàusules de confidencialitat del client, no es disposa informació referent al tant per cent d'increment de la producció amb la realització d'aquest projecte ni els guanys econòmics que representaria per l'empresa. Així doncs, FLUOR no duu a terme l'estudi de viabilitat econòmica del present projecte.

10 WEBGRAFIA

“*What is and when to use Cladding – Arveng Training & Engineering*”. RUTA: Cladding in pressure vessels.

(<https://arvengtraining.com/en/what-is-and-when-to-use-cladding/> 17 de febrer del 2022).

“*ASME Materials Specification and Grades for Pipes, Tubes, Forgings, Castings, Fittings, Valves, Nuts and Bolts – welding & NDT*”. RUTA: ASME Materials Section II.

(<https://www.weldingandndt.com/asme-material-specification-and-grades/> 10 de maig del 2022).

“Catálogo de fondos FONCALP, S.L”. RUTA: Tipos de fondos en equipos a presión.

(<https://foncalp.es/fondos-campsa-klopper-korbbogen.html> 20 de juny del 2022).

“*Types of supports for Vessels – Chemical Engineering World*”. RUTA: Supports in pressure vessels.

(<https://chemicalengineeringworld.com/types-of-supports-for-vessels/> 6 de juliol del 2022).

“*Steel Pipe Dimensions Chart ANSI B36.10 & B36.19 – Octal Steel*”. RUTA: ASME B36.19 Pipe Dimensions.

(<https://www.octalsteel.com/wp-content/uploads/2018/01/steel-pipe-dimensions-chart-ansi-b36.10-36.19.pdf> 15 d'agost del 2022).

“Directiva 2014/68/UE del parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de mayo del 2014, relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos a presión”. RUTA: Directiva 2014/68/UE.

(<https://www.boe.es/doue/2014/189/L00164-00259.pdf> 20 d'agost del 2022).



11 RESUM DEL PRESSUPOST

RESUM DE PRESSUPOST

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CAPÍTOL	RESUM	IMPORT
CAPÍTOL 01	FONS SUPERIOR.....	16.974,28
CAPÍTOL 02	ENVOLVENT.....	9.162,11
CAPÍTOL 03	FONS INFERIOR.....	8.183,73
CAPÍTOL 04	ELEMENTS INTERNS.....	1.016,76
CAPÍTOL 05	ELECTRICITAT.....	14.607,50
CAPÍTOL 06	INSTRUMENTACIÓ.....	17.372,00
CAPÍTOL 07	FABRICACIÓ I MUNTATGE.....	13.210,46
CAPÍTOL 08	EMBALATGE I TRANSPORT.....	1.118,56
	PRESSUPOST D' EXECUCIÓ MATERIAL	81.645,40
	13,00 % Despeses generals.....	10.613,90
	6,00 % Benefici industrial.....	4.898,72
	Suma.....	15.512,62
	PRESSUPOST BASE DE LICITACIÓ SENSE IVA	97.158,02
	21% IVA.....	20.403,18
	PRESSUPOST BASE DE LICITACIÓ	117.561,20

Puja el pressupost l'esmentada quantitat de CENT DISSET MIL CINC-CENTS SEIXANTA-UN EUROS amb VINT CÈNTIMS

Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB
AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS**

Document 3: ANNEXES A LA MEMÒRIA

Autor: Adrià Bustamante Garriga

Director: Javier Díaz Gutiérrez

Tutor: Diego Ramos Romero

Data: Setembre 2022



**UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI**

etsEQ

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

ÍNDEX ANNEXES A LA MEMÒRIA

DOCUMENT 3. ANNEXES A LA MEMÒRIA	5
A. CONDICIONANTS DEL PROJECTE	5
A.1 Introducció.....	5
A.2 Condicionants imposats pel promotor	5
A.3 Legislació.....	6
A.3.1 Reial Decret 809/2021 sobre el reglament d'equips a pressió i les seves instruccions tècniques.....	6
A.3.2 Reial Decret 709/2015 (Directiva 2014/68/UE) sobre la seguretat per a la comercialització dels equips a pressió	6
A.3.3 Ordre del Departament d'Innovació, Universitats i Empresa de la Generalitat de Catalunya IUE/470/2009, de 30 d'octubre.....	7
A.3.4 Directiva 2006/42/CE sobre la comercialització i posada en servei d'una màquina	7
A.3.5 Directiva 2014/34/UE sobre els sistemes de protecció en atmosferes potencialment explosives.....	7
A.4 Entorn físic	8
A.5 Requeriments dels possibles usuaris.....	8
A.6 Temes econòmics o financers.....	9
A.7 Disponibilitat de béns i serveis complementaris requerits	10
B. SITUACIÓ ACTUAL.....	11
B.1 Descripció del problema a solucionar.....	11
B.2 Descripció detallada dels sistemes actuals utilitzats.....	11
B.2.1 Motor d'accionament.....	12
B.2.2 Reductor	12
B.2.3 Tanca mecànica	12
B.2.4 Agitador	13
B.2.4.1 Nivell 1 d'agitació	14
B.2.4.2 Nivell 2 d'agitació	14

B.2.4.3	Nivell 3 d'agitació	15
B.2.4.4	Nivell 4 d'agitació	15
B.2.4.5	Càrregues generades per l'agitador	15
B.2.5	Elements de control	16
B.3	Equips equivalents existents al mercat	16
C.	ESTUDI D'ALTERNATIVES	18
C.1	A la capacitat productiva	18
C.2	Al disseny	18
C.2.1	Codi de disseny.....	18
C.2.1.1	ASME Secció VII Divisió 1	19
C.2.1.2	ASME Secció VIII Divisió 2	20
C.2.1.3	Anàlisi d'alternatives i tria definitiva.....	20
C.2.2	Suportació de l'equip.....	21
C.2.2.1	Faldó.....	21
C.2.2.2	Potes	22
C.2.2.3	Suports laterals.....	23
C.2.2.4	Anàlisi d'alternatives i tria definitiva.....	23
C.2.2.5	Unions dels suports	24
C.2.2.5.1	Suports desmuntables.....	24
C.2.2.5.2	Suports permanents	25
C.2.2.5.3	Anàlisi d'alternatives i tria definitiva	25
C.2.3	Als materials	26
C.2.3.1	Acer al carboni.....	26
C.2.3.2	Acer al carboni + cladding.....	26
C.2.3.3	Acer inoxidable	27
C.2.3.4	Anàlisi d'alternatives i tria definitiva.....	27
C.2.4	Als components i elements mecànics	29
C.2.4.1	Fons tipus Klopper (toriesfèric)	31



C.2.4.2 Fons tipus Korbogen (semi el·líptic).....	32
C.2.4.3 Fons el·líptic 2:1	33
C.2.4.4 Fons pla o base	34
C.2.4.5 Fons cònic	35
C.2.4.6 Anàlisi d'alternatives i tria definitiva.....	36
C.2.5 Als components i elements elèctrics.....	37
C.2.6 Als components i elements de control.....	37
D. CÀLCUL DELS ELEMENTS	38
D.1 Disseny i càlcul dels elements fabricats.....	38
D.1.1 Elements mecànics.....	38
D.1.1.1 Càlculs per pressió interna.....	39
D.1.1.1.1 Fons superior	42
D.1.1.1.2 Envoltant	45
D.1.1.1.3 Fons inferior	47
D.1.1.1.4 Tubuladures de connexió	50
D.1.1.2 Càlculs d'elements de suportació.....	52
D.1.1.3 Càlculs d'elements d'hissat.....	53
D.1.2 Elements elèctrics	58
D.1.3 Elements de control	58
D.2 Quadre resum de requeriments	58
D.2.1 Components i elements comprats	58
D.2.1.1 Brides	58
D.2.1.2 Juntes	60
D.2.1.3 Cargolam	60
D.2.2 Components i elements fabricats	61
D.3 Informe de càlcul Codeware Compress.....	62
E. JUSTIFICACIÓ DEL COMPLIMENT DE LES NORMATIVES ESPECÍFIQUES	519
E.1 Normativa vigent	519

E.2 Compliment de la normativa vigent	520
F. PROGRAMACIÓ TEMPORAL (GANTT)	521
G. ANNEX DE JUSTIFICACIÓ DE PREUS	523



DOCUMENT 3. ANNEXES A LA MEMÒRIA

A. CONDICIONANTS DEL PROJECTE

A.1 Introducció

La realització de qualsevol projecte comporta una sèrie de condicionants a tenir en compte, ja tinguin una afectació positiva o bé negativa. Aquests paràmetres influeixen directament al transcurs del projecte, de tal manera que cal estudiar-los amb detall.

El present projecte consisteix en el disseny i la fabricació d'un equip a pressió, més concretament un reactor, per tal de dur a terme un procés de reacció química dins una planta dedicada a aquest sector, la qual es situa al Camp de Tarragona. En relació a aquesta tipologia de projecte, els principals condicionants que influiran seran els legislatius, doncs els equips a pressió estan regulats per una normativa molt estricta, detallada, pautada i d'obligat compliment per al projectista. Aquesta afecta tant als nous equips fabricats com a la modificació d'existents.

Lligat amb la normativa, i encara que no sigui d'obligat compliment, s'ha recolzat amb el codi de disseny ASME Secció VIII Divisió 1 per tal de seguir les pautes de càlcul de forma segura.

Finalment, a banda de la normativa vigent, també cal tenir en compte els condicionants que imposa el promotor del projecte.

A.2 Condicionants imposats pel promotor

El promotor del projecte, el qual sol·licita els serveis d'enginyeria a l'empresa FLUOR, imposa els següents requisits:

- El reactor s'emplaçarà a la planta de producció de l'empresa química (promotor) situada al Complex Químic del Camp de Tarragona.
- Dins de planta, la ubicació de l'equip es trobarà dins un edifici obert i sobre una plataforma a +5.00 m.
- El disseny del reactor haurà de satisfer un cert grau de fiabilitat per tal de poder dur a terme la reacció sota unes determinades condicions d'operació (pressió i temperatura).
- El reactor tindrà una capacitat de 6 m³ de producte.

- Per limitació d'espai de l'entorn on anirà ubicat el reactor, el diàmetre exterior d'aquest no pot superar els 1.800 mm, aproximadament.
- El reactor tindrà forma cilíndrica i es disposarà verticalment al seu emplaçament.
- El disseny de l'equip es durà a terme segons normativa americana (Codi de disseny ASME).
- La pressió de disseny del reactor serà de +4 barg.
- La pressió d'operació del reactor serà de 1.7 barg.
- La temperatura de disseny del reactor serà de -10°C a +260°C.
- La temperatura d'operació del reactor serà d'uns 66°C.
- El reactor disposarà d'un agitador vertical.
- El reactor disposarà d'orelletes d'hissat per facilitar les maniobres de muntatge.

A més, el promotor també exigeix que el projecte compleixi amb les diferents normatives aplicables als diferents components de l'equip, així com les normatives de seguretat laboral i mediambiental vigents que siguin dictades per l'administració.

A.3 Legislació

En aquest apartat es realitza la justificació dels condicionants legislatius que afecten i condicionen el present projecte. Aquest està condicionat per cinc marcs legislatius, els quals són d'obligat compliment.

A.3.1 Reial Decret 809/2021 sobre el reglament d'equips a pressió i les seves instruccions tècniques

El Reial Decret 809/2021 estableix les normes i els criteris de seguretat per a una adequada utilització dels equips a pressió. El present reglament s'aplica a la instal·lació, inspeccions periòdiques, reparació i modificació de tots els equips sotmesos a una pressió màxima admissible superior a 0.5 bar, incloent també les canonades de connexió o conducció de qualsevol fluid o substància. En aquest cas, el reactor es dissenyarà per arribar a suportar una pressió màxima de +4 barg, per la qual cosa el reglament aplica en aquest projecte.

A.3.2 Reial Decret 709/2015 (Directiva 2014/68/UE) sobre la seguretat per a la comercialització dels equips a pressió

La Directiva Europea 2014/68/UE estableix els requisits essencials de seguretat exigibles als equips a pressió i als conjunts que suposin una novetat al mercat de la Unió



Europea en el moment d'introduir-se en el mateix per a la seva comercialització, amb la finalitat de garantir un elevat nivell de protecció de la salut i la seguretat de les persones, així com de protecció dels animals domèstics i dels béns. En aquest cas, la present Directiva s'aplica al disseny, la fabricació i la avaluació de la conformitat dels equips i els conjunts sotmesos a una pressió màxima admissible superior als 0.5 bar. S'exclouen de l'àmbit d'aplicació de la normativa els sistemes de canonades.

En referència a aquesta normativa i en compliment de les obligacions derivades del Tractat d'adhesió d'Espanya a la Unió Europea, és precís dictar les disposicions nacionals que adapten la legislació espanyola a las previsions contingudes a l'esmentada Directiva per mitjà del Reial Decret 709/2015.

A.3.3 Ordre del Departament d'Innovació, Universitats i Empresa de la Generalitat de Catalunya IUE/470/2009, de 30 d'octubre

Donat que el reactor s'instal·larà al Camp de Tarragona, és a dir, dins el territori de Catalunya, caldrà que compleixi amb l'Ordre IUE/470/2009. L'Ordre esmentada és aplicable a l'execució, la posada en funcionament, l'ús, la reparació, el manteniment, la inspecció i el control de les instal·lacions d'equips a pressió dins del territori de Catalunya, i que es troben en l'àmbit d'aplicació del Reial Decret 809/2021.

A.3.4 Directiva 2006/42/CE sobre la comercialització i posada en servei d'una màquina

La Directiva 2006/42/CE del Parlament Europeu i del Consell, del 17 de maig del 2006, aplica en aquest projecte donat que el reactor incorpora un agitador amb el seu respectiu motor elèctric (màquina).

Tot i això, donat que el disseny de l'agitador ha estat exclòs de l'abast del present projecte, la normativa es té en compte per a la legalització de l'equip. Les directius que condicionen el disseny d'aquest element, han estat considerades pel propi subministrador de l'agitador.

A.3.5 Directiva 2014/34/UE sobre els sistemes de protecció en atmosferes potencialment explosives

La Directiva 2014/34/UE dependrà únicament dels equips d'instrumentació i electricitat que incorpora el mateix reactor. En aquest cas, en referència a les zones ATEX, es classifica com a zona 1 el recinte interior i exterior del reactor.

De la mateixa manera que en l'apartat anterior, donat que l'abast elèctric i d'instrumentació no s'inclou al present projecte, el propi subministrador d'aquests elements tindrà en compte la Directiva aplicable. Únicament s'adquiriran equips d'electricitat i instrumentació que disposin d'aquest certificat ATEX.

A.4 Entorn físic

El nou reactor a dissenyar s'emplaça a la mateixa ubicació on està situat actualment el reactor existent, el qual es duplica. Aquest emplaçament es situa a la planta de producció de l'empresa química ubicada al Camp de Tarragona. El lloc d'emplaçament no està completament descobert, sinó que es tracta d'una estructura metàl·lica coberta per la part superior i descoberta pels laterals que alberga tot el conjunt d'equips de la planta. Així doncs, el mateix reactor i els seus elements auxiliars estan exempts d'estar exposats als fenòmens meteorològics com la pluja o el vent, o altres canvis climàtics.

El Camp de Tarragona, on s'emplaça el nou reactor, es caracteritza per presentar un clima mediterrani. El clima mediterrani consisteix en hiverns plujosos i de temperatura moderada, és a dir, no excessivament baixa. Per altra banda, els estius solen ser calorosos i secs, encara que les temperatures no són elevades. La humitat relativa de l'ambient es troba entre un rang del 50% al 90%, donada la proximitat al mar Mediterrani. L'altitud de funcionament del reactor es pot considerar pràcticament a cota de nivell del mar i pel que fa a la contaminació ambiental, no es veurà afectat pels vapors generats en altres processos de la planta, doncs el reactor està ubicat a l'aire lliure.

Un dels principals condicionants referents a l'entorn físic és la temperatura ambient a la qual estarà sotmès l'equip al llarg de l'any. Prenent com a referència el camp de Tarragona, la temperatura mitjana durant els mesos d'estiu es situa als 26°C, mentre que la resta d'any la mitjana és de 17°C. Pel que fa a les precipitacions, aquest valor es troba al voltant dels 560 mm de mitja.

A.5 Requeriments dels possibles usuaris

Els requeriments que han de disposar els possibles usuaris de l'equip durant les fases finals del projecte, és a dir, la instal·lació d'aquest, es basen principalment en la disponibilitat d'espai per treballar i en les condicions de manteniment que requereix el reactor. A continuació, es llisten aquest requeriments:



- Es disposarà de l'espai suficient perquè l'equip pugui ser emplaçat. Donat que el reactor s'instal·la dins una estructura metàl·lica sobre una plataforma a cota +5.00 m, les maniobres d'hissat i col·locació han de ser molt delicades, doncs l'espai és reduït. El reactor s'entrarà per la part baixa de l'edifici (+0.00 m) i posteriorment s'eleva verticalment a cota +5.00 m. No es preveu la retirada dels equips propers per a la instal·lació del reactor.
- Es disposarà d'una grua per tal de dur a terme les maniobres d'hissat de l'equip.
- Es disposarà dels estocs mínims necessaris dels principals recanvis que requereix l'equip: brides, juntes, etc. per tal de fer front a averies imprevisibles.
- Es realitzaran inspeccions visuals de forma periòdica a l'equip per tal de comprovar que el seu estat mecànic és correcte.
- Es garantirà l'ús òptim de funcionament de l'equip, tenint en compte les condicions i recomanacions imposades pel dissenyador de l'equip.
- L'usuari final de l'equip disposarà dels elements d'instrumentació i del cablejat elèctric, necessaris per al funcionament i monitorització del reactor.
- Les tasques de manteniment seran realitzades pel propi usuari final (client i promotor del projecte) o, a partir d'aquest, es disposarà d'un servei extern especialitzat en el manteniment d'equips industrials.
- Les polítiques de bon ús de l'equip recauran en mans del propi usuari final.
- En el cas de produir-se una averia al propi equip, l'usuari es posarà en contacte amb el dissenyador del propi reactor. En cap cas es poden realitzar modificacions sobre el mateix equip que incompleixin la normativa vigent que ho regula.
- El dissenyador garantirà el bon funcionament de l'equip segons les condicions per la qual ha estat dissenyat. En el cas de registrar-se una averia, el dissenyador realitzarà el nou disseny de la part afectada per tal de solucionar l'afectació.

Els informes descriptius realitzats després de produir-se una averia, seran enviats pel dissenyador a l'usuari final de l'equip.

A.6 Temes econòmics o financers

En referència als condicionants econòmics o financers del projecte, no es tindran en compte, doncs és el mateix promotor qui finança íntegrament la realització del present projecte mitjançant un encàrrec a l'empresa FLUOR.

És competència del client realitzar un estudi de viabilitat econòmica i determinar quin serà el tipus de finançament, actius i passius disponibles, etc. En aquest cas, el client

ha optat per finançar el projecte en forma de *Lump Sum*, en el qual queda delimitat l'abast i la data d'entrega durant el procés de sol·licitud de l'encàrrec. En aquest tipus de finançament, no s'acostumen a realitzar ordres de canvi durant el transcurs del projecte un cop iniciat.

A.7 Disponibilitat de béns i serveis complementaris requerits

Pel que fa a la disponibilitat de béns i serveis complementaris requerits en el procés de fabricació del nou reactor R-2000, aquests seran aportats íntegrament per l'empresa fabricant de l'equip. Aquesta mateixa serà la responsable de dur a terme la instal·lació del reactor al seu emplaçament final, amb la supervisió dels tècnics de FLUOR.

Durant aquesta fase d'instal·lació i muntatge de l'equip, es disposaran dels serveis oferts pel mateix client, així com per les empreses contractistes adherides a aquest: manteniment mecànic, serveis d'electricitat i instrumentació, seguretat laboral, etc.



B. SITUACIÓ ACTUAL

B.1 Descripció del problema a solucionar

L'empresa del sector químic, la qual sol·licita la realització del projecte a FLUOR, disposa únicament d'un sol reactor per tal de dur a terme el procés químic de la seva planta situada al Camp de Tarragona.

Al llarg dels anys, i en relació a tenir disponible un sol equip, el client ha detectat els següents problemes, els qual vol donar solució mitjançant la incorporació d'un nou reactor en paral·lel:

- La producció de la planta era molt limitada i no podia donar resposta davant els pics elevats de demanda del producte químic.
- Nul·la disponibilitat de l'equip i del procés químic durant les tasques de manteniment del reactor. Aquest fet comporta grans pèrdues econòmiques per la mateixa empresa.

Degut a clàusules de confidencialitat entre el client i FLUOR, no es disposa dels valors quantificats de les pèrdues econòmiques generades pel fet de disposar únicament d'un sol equip. En tot cas, el client assegura que la incorporació d'un reactor en paral·lel és suficient per pal·liar les problemàtiques que es tenien al llarg dels anys anteriors.

Amb la incorporació d'un segon reactor a la línia de producció, es disposaria de dues línies, de tal manera que es podria arribar a doblar el nivell productiu quan aquestes es trobessin al màxim rendiment. Tot i això, en el cas de realitzar les tasques de manteniment a un dels dos equips, el complementari seguiria en funcionament, per la qual cosa no caldria aturar per complet la producció amb la conseqüència de tenir pèrdues econòmiques.

B.2 Descripció detallada dels sistemes actuals utilitzats

Actualment, l'empresa química disposa d'un reactor dedicat a produir la reacció química necessària per dur a terme la resta de procés. A partir de l'entrada de diferents productes amb la quantitat determinada i específica, reaccionen entre ells sota unes condicions de pressió i temperatura concretes. Posteriorment, en resulta un nou producte químic per tal de seguir amb el procés productiu de la planta.

Donat que el funcionament del reactor actual és totalment vàlid per al procés que es requereix, la realització d'aquest projecte consisteix en la duplicació de l'equip existent segons les condicions que imposa el client: pressió, temperatura, volum de l'equip, etc.

El reactor actual disposa de diversos sistemes auxiliars que permeten el seu correcte funcionament segons el procés productiu que es duu a terme a la planta. El més destacat és el sistema d'agitació que incorpora, així com els elements dels quals es compon:

B.2.1 Motor d'accionament

El motor d'accionament del sistema d'agitació es tracta d'un motor elèctric trifàsic de 400/690 V i una freqüència de funcionament de 50 Hz. La seva potència nominal és de 22 kW i té una velocitat de rotació síncrona de 1500 rpm, per la qual cosa disposa de 4 pols.

El seu grau de protecció és EExdIICT4 + IP55. Pel que fa al primer terme, referent a la certificació ATEX, ens indica que es tracta d'un equip mecànic, utilitzable en presència de gasos dels grups A,B i C, dotat d'envolvent antideflagrant (zones 1 i 2), i temperatura superficial màxima de 135°C.

Pel que fa al segon terme del grau de protecció (IP55), aquest fa referència a la protecció del motor contra l'entrada de cossos no desitjables (pols, fibres, etc.), contacte accidental (indicat pel primer dígit) i penetració d'aigua (indicat pel segon dígit). Així doncs, segons la numeració IP55, el motor elèctric està protegit contra l'acumulació de pols perjudicial i contra dolls d'aigua provinents de totes les direccions.

B.2.2 Reductor

Un dels paràmetres principals és la velocitat angular d'agitació, per tal d'aconseguir les condicions òptimes per al procés. Aquesta velocitat es situa a les 90 rpm, per la qual cosa és necessària la incorporació d'un reductor entre l'eix de sortida del motor i el propi eix de l'agitador.

El reductor instal·lat té un factor de reducció de 0,06, per tal de passar de les 1500 rpm del motor elèctric a les 90 rpm de l'agitador. S'aconsegueix mitjançant un sistema d'engranatges

B.2.3 Tanca mecànica

S'incorpora addicionalment una doble tanca mecànica, la qual té l'objectiu d'evitar la fuga del fluid interior del reactor cap a l'exterior (medi ambient). El sistema de tanca es



duu a terme per mitjà d'un fluid barrera, el qual està a una pressió superior que l'interior de l'equip. Així doncs, en cas d'aparèixer una fuga a l'agitador, el fluid barrera entraria i no deixaria sortir el producte intern.

Cal afegir que la tanca mecànica està homologada segons la normativa API 682 Pla 53. A més, el fluid barrera seleccionat és compatible amb el producte intern del reactor, per tal d'evitar reaccions indesitjables en cas de mescla.

B.2.4 Agitador

Finalment, l'element que culmina el conjunt considerat "màquina", i per la qual cosa aplica la Directiva 2006/42/CE al present projecte, és l'agitador. Aquest té l'objectiu d'homogeneïtzar la mescla produïda a l'interior de l'equip durant el procés de reacció. Degut al tipus de procés que es realitza, és una necessitat que el fluid intern estigui en constant moviment, per la qual cosa el sistema d'agitació és d'obligada incorporació segons els requeriments imposats pel promotor del projecte.

En referència als paràmetres mecànics d'aquest element, es tracta d'un eix de diàmetre 80 mm fabricat en acer inoxidable, per motius de compatibilitat amb el producte intern. La seva longitud s'aproxima als 2000 mm, de tal manera que ocupa tota la llargada en vertical del reactor existent actualment a la planta de producció.

El correcte disseny del sistema d'agitació és important per garantir una mescla homogènia, el qual determinarà també el comportament del fluid al ser agitat (patrons de flux). Aquest comportament variarà en funció de diversos paràmetres: velocitat de rotació de l'agitador (número de Reynolds), nombre de pales, angle d'inclinació de les pales, diàmetre d'escombrat de les pales, incorporació de bafles, etc. A continuació, la següent imatge (Figura B. 1) mostra de forma visual un exemple bàsic de la influència dels paràmetres esmentats.

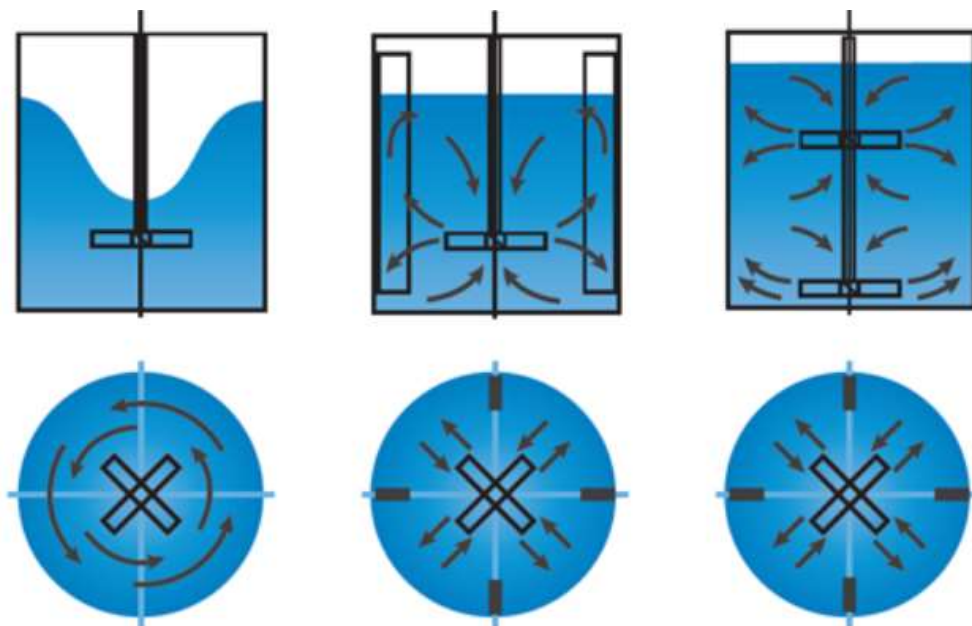


Figura B. 1: Influència del disseny de l'agitador en el comportament del fluid

En aquest cas, el disseny de l'agitador existent està conformat per quatre nivells de pales a diferents alçades i amb dimensions diferents entre ells. S'exposen les respectives característiques a continuació, ordenant els nivells de l'1 al 4, sent l'1 el nivell superior (situat pròxim al fons superior) i el 4 el nivell inferior (situat pròxim al fons inferior).

Cal destacar, de forma comuna per a tots els nivells d'agitació, que el reactor existent actualment a la planta de producció, té un diàmetre intern de 1780 mm.

B.2.4.1 Nivell 1 d'agitació

El nivell 1 d'agitació està format per quatre pales girades un angle de 45° i amb un diàmetre d'escombrat de 720 mm. Així doncs, tenint en compte que el diàmetre interior del reactor és de 1780 mm, la relació d'escombrat és de 0,40.

Amb el diàmetre de les pales de 720 mm i amb la velocitat de rotació de l'agitador de 90 rpm, s'aconsegueix una velocitat lineal del fluid a la part més externa de 3,4 m/s.

B.2.4.2 Nivell 2 d'agitació

El nivell 2 d'agitació està format per quatre pales girades un angle de 45° i amb un diàmetre d'escombrat de 800 mm. Així doncs, tenint en compte que el diàmetre interior del reactor és de 1780 mm, la relació d'escombrat és de 0,45.



Amb el diàmetre de les pales de 800 mm i amb la velocitat de rotació de l'agitador de 90 rpm, s'aconsegueix una velocitat lineal del fluid a la part més externa de 3,8 m/s.

B.2.4.3 Nivell 3 d'agitació

El nivell 3 d'agitació està format per tres pales girades un angle de 45° i amb un diàmetre d'escombrat de 530 mm. Així doncs, tenint en compte que el diàmetre interior del reactor és de 1780 mm, la relació d'escombrat és de 0,3.

Amb el diàmetre de les pales de 530 mm i amb la velocitat de rotació de l'agitador de 90 rpm, s'aconsegueix una velocitat lineal del fluid a la part més externa de 2,5 m/s.

B.2.4.4 Nivell 4 d'agitació

El nivell 4 d'agitació està format per quatre pales girades un angle de 45° i amb un diàmetre d'escombrat de 320 mm. Així doncs, tenint en compte que el diàmetre interior del reactor és de 1780 mm, la relació d'escombrat és de 0,18.

Amb el diàmetre de les pales de 320 mm i amb la velocitat de rotació de l'agitador de 90 rpm, s'aconsegueix una velocitat lineal del fluid a la part més externa de 1,5 m/s.

B.2.4.5 Càrregues generades per l'agitador

La incorporació d'un agitador al conjunt de l'equip comporta l'afegit d'unes càrregues estàtiques, degut al pes del mateix element i dels auxiliars (motor elèctric, tanca mecànica, etc.), i d'unes càrregues dinàmiques, degut a la rotació d'aquest. En aquest cas, el pes total del conjunt de l'agitador és d'uns 1200 kg.

Tot i que el disseny de l'agitador, amb els seus respectius càlculs, no entra dins l'abast del present projecte, sí que s'han tingut en compte les càrregues que s'indueixen a la resta de l'equip. Cal destacar que el disseny i el dimensionament del sistema d'agitació del nou reactor a instal·lar, s'ha dut a terme per part d'una empresa externa especialitzada en la fabricació d'agitadors per a equips a pressió.

A partir de l'agitador existent instal·lat actualment al reactor de la planta química, s'han pogut determinar les càrregues estàtiques i dinàmiques que cal tenir en compte per al disseny del nou equip. Aquests valors s'adjunten a la següent taula (Taula B. 1):

Taula B. 1: Càrregues induïdes per l'agitador

	Mínim	Màxim	Mitjà	Estàtic	Arrancada
Càrrega axial F_y [N]	-7310	-12000	-9655	-12000	–
Càrrega radial F_x [N]	-6630	+6630	0	0	–
Moment flector M_f [N·m]	-13470	+13470	0	0	–
Moment torsor M_t [N·m]	+1440	+2390	+1915	–	+5980

Pel que fa al sistema d'eixos representat als resultats de les càrregues de l'agitador, s'ha considerat que l'eix longitudinal de l'agitador representa l'eix axial (eix Y), prenent com a sentit negatiu la direcció de la gravetat.

B.2.5 Elements de control

Els elements de control que incorpora el reactor existent, els quals són bastant comuns per tal de monitoritzar les condicions d'operació d'un recipient a pressió, es mostren a continuació:

- Transmissor de temperatura.
- Transmissor de pressió.
- Interruptor de nivell.
- Transmissor de nivell.

B.3 Equips equivalents existents al mercat

L'equip a dissenyar i fabricar en el present projecte no es pot comparar de forma directe amb altres equips existents al mercat, doncs no existeix una competència en aquest aspecte.

El disseny i la fabricació dels recipients a pressió està regulada per una normativa unificada i d'obligat compliment, per la qual cosa tots els equips a pressió que entrin al mercat, hauran de complir les mateixes directrius, sense donar peu a possibles noves innovacions.

Cal destacar que el disseny de cada un dels equips a pressió és únic i està fet a mida segons el tipus de procés que haurà de realitzar, doncs paràmetres com la pressió, la temperatura i el volum de producte, influeixen de forma notable en el disseny d'aquest.

L'avantatge que presenta l'equip dissenyat en el present projecte, a l'estar lleugerament sobredimensionat en quant a espessors de paret, és la possibilitat d'incrementar la



pressió d'operació. Així doncs, si en un futur calgués reaprofitar el mateix reactor per a un procés més exigent en quant a pressió i temperatura (*re-rating*), seria possible degut a l'excedent d'espessor actual.

C. ESTUDI D'ALTERNATIVES

C.1 A la capacitat productiva

No s'exposen alternatives referents a la capacitat productiva, ja que el mateix promotor del projecte imposa com a condicionant que el nou reactor a dissenyar tingui un volum de 6 m³ per poder dur a terme la reacció dels productes i disposi d'un agitador per homogeneïtzar la mescla.

A més, la disposició de les connexions i tubuladures venen determinades pel procés que es duu a terme, per la qual cosa no existeix opció d'alternativa.

C.2 Al disseny

El disseny d'un equip a pressió està influenciat principalment per dues variables: els condicionants establerts pel promotor del projecte i el codi de disseny emprat per a dur a terme el disseny de l'equip. A continuació s'exposen en diferents apartats totes aquelles alternatives valorades per al disseny de l'equip, amb la corresponent justificació de la tria definitiva.

C.2.1 Codi de disseny

El principal punt a l'hora de dissenyar un recipient a pressió és l'elecció del respectiu codi de disseny. Aquest ens marcarà les pautes per establir els procediments i requisits mínims per al disseny, fabricació, muntatge i modificació de l'equip. Segons el procediment de càlcul imposat pel codi de disseny, s'obtindrà un espessor mínim de paret per tal que l'equip pugui operar de forma segura sota les condicions de pressió i temperatura a la qual estarà sotmès.

L'elecció del codi de disseny condicionarà el resultat final obtingut i el preu de l'equip, ja un major espessor de l'equip implica també majors costos de materials, conformat, fabricació, transport, instal·lació i proves. Cada país té el seu propi codi de disseny que estableix les pautes dels equips a pressió, entre els més comuns trobem:

- Normativa americana: ASME Boiler & Pressure Vessel Code
- Normativa alemanya: AD2000 – Merkblätter
- Normativa europea: EN 13445



En el cas del present projecte, i a petició del mateix promotor, aquest imposa que el codi de disseny emprat per al càlcul de l'equip sigui americà (Codi de disseny ASME Secció VIII). D'aquesta manera, tots els elements normalitzats (canonades, brides de connexió, juntes, etc.) tindran especificació americana.

Degut al condicionant imposat pel promotor, es descarten totes les alternatives possibles referents a altres codis de disseny, com podria ser el codi alemany (AD2000 – Merkblätter) o el codi europeu (EN 13445). Tot i això, dins el codi ASME Secció VII, el qual estableix els procediments de càlcul per als recipients a pressió, hi trobem dues alternatives a valorar: la divisió 1 i la divisió 2.

C.2.1.1 ASME Secció VII Divisió 1

La divisió 1 del codi de disseny ASME Secció VIII és la més utilitzada per al disseny d'equips a pressió. Aquest tipus de disseny basat en normes, ofereix un procediment de càlcul senzill per a dimensionar els elements d'un recipient a pressió, ja sigui per pressió interna o per pressió externa.

S'utilitzen factors de seguretat elevats, al voltant de 3,5 per a les tensions de límit elàstic admissibles dels materials, de tal manera que l'equip tendeix a resultar sobredimensionat. Aquest fet comporta una major seguretat de l'equip, però per contra encareix el pressupost total del projecte.

La utilització de la Divisió 1 es sol emprar per a la majoria d'equips a pressió destinats a processos industrials i químics. Permet un ampli ventall de pressions, per la qual cosa es permet utilitzar aquesta Divisió en el disseny dels equips més comuns (baixa i mitja pressió).

La teoria de fallada de la Divisió 1 es basa en la teoria de tensions normals. En aquest cas, no es requereixen mètodes experimentals d'anàlisi de tensions, per la qual cosa no cal tenir una gran experiència com a tècnic. Tampoc es requereixen anàlisis de fatiga. El mètode utilitza fórmules de càlcul simplificades i senzilles.

Tot i ser el mètode més utilitzat per al dimensionament d'equips a pressió, la Divisió 1 presenta alguns desavantatges. Degut als elevats factors de seguretat que utilitza, els elements de l'equip tendeixen a resultar sobredimensionats. Això comporta uns espessors de parets més gruixuts, la qual cosa es tradueix en un major cost de materials.

C.2.1.2 ASME Secció VIII Divisió 2

Les condicions de disseny respecte la Divisió 1, varien significativament. En aquest cas, la Divisió 2 es tracta d'un mètode basat en el disseny per anàlisi.

Els factors de seguretat resulten ser inferiors, d'un valor aproximat de 3 pel que fa al límit elàstic admissible del material.

La utilització de la Divisió 2 s'adreça principalment a equips de característiques especials. En aquest cas es tracta de situacions molt específiques i no és el més comú entre els equips utilitzats en processos químics.

La teoria de fallada de la Divisió 2 es basa en la màxima distorsió d'energia (criteri de Von Mises). En aquest cas, sí que es solen requerir anàlisis de tensions experimentals, per la qual cosa cal tenir una certa experiència en el sector. També és necessari l'estudi de fatiga.

En el cas de la Divisió 2, tot i tenir factors de seguretat més ajustats que permeten rebaixar els espessors de paret i conseqüentment reduir els costos de materials, no s'acostuma a utilitzar degut a la gran complexitat que presenta aquest mètode.

C.2.1.3 Anàlisi d'alternatives i tria definitiva

Pel que fa al codi de disseny escollit per a la realització dels càlculs de l'equip, s'ha optat finalment pel codi ASME Secció VIII Divisió 1, ja que presenta les següents avantatges:

- Gran facilitat d'ús i seguiment per part del dissenyador (fórmules simplificades i senzilles).
- S'evita realitzar anàlisis experimentals i de fatiga.
- Dimensionament a favor de la seguretat.
- Les recomanacions d'ús de la Divisió 1 s'adapten a les condicions del reactor a dissenyar en el present projecte.

Tot i això, també ha calgut valorar els desavantatges que presenta:

- Major cost de materials (sobredimensionament). A petició del client, s'ha prioritzat la seguretat davant l'increment del cost total del projecte.

En conclusió, la Divisió 1 ofereix més avantatges que no pas desavantatges, per la qual cosa s'escull per dur a terme el dimensionament de l'equip.



C.2.2 Suportació de l'equip

Per altra banda, pel que fa al disseny de l'equip, ha calgut valorar diverses alternatives referents a la suportació de l'equip un cop emplaçat a la seva ubicació final. Entre les opcions valorades s'hi troben les següents:

- Faldó.
- Potes.
- Suports laterals.

C.2.2.1 Faldó

Un faldó consisteix en un cos cilíndric o cònic soldat al fons inferior d'un equip a pressió. Un anell base a la part inferior del faldó transmet les càrregues cap al terra a través de les respectives unions cargolades. Aquest tipus de suport està principalment pensat per a equips alts i esvelts, com podria ser una columna de destil·lació de gran alçada. A continuació (Figura C. 1), es mostra un esquema dels diferents faldons comunament utilitzats.

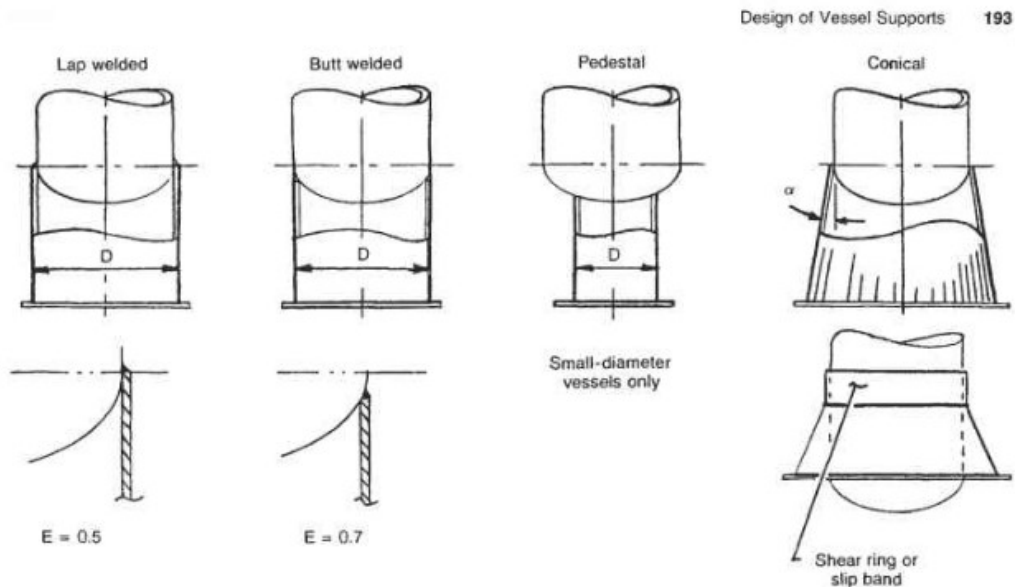


Figura C. 1: Tipus de faldons

Des d'un punt de disseny, presenta l'avantatge de generar mínimes tensions locals causades pels esforços mecànics, així com per les càrregues de vent i sisme, degut a un bon repartiment al terra.

Per contra, un faldó requereix disposar d'un ampli espai d'emplaçament, així com una gran quantitat de soldadura i material, per la qual cosa els costos de l'equip seran majors.

C.2.2.2 Potes

La suportació d'equips mitjançant potes és un mètode força comú per als equips d'unes dimensions mitjanes: ràtio entre llargada i diàmetre de 2 – 3. En aquest cas, l'equip es suporta mitjançant potes, les quals acostumen a ser perfils normalitzats de bigues treballant a compressió. A continuació, es mostra una imatge (Figura C. 2) referent a aquest tipus de suportació.



Figura C. 2: Suportació d'equip mitjançant potes

L'avantatge principal que presenta aquesta opció és la reduïda quantitat de soldadures necessàries. Per contra, com a desavantatge, es generen moments flectors als suports degut a l'excentricitat de la càrrega del conjunt de l'equip.



C.2.2.3 Suports laterals

Finalment, l'última alternativa valorada ha estat la incorporació de suports laterals. Aquests són semblants a la suportació per potes, però sense les respectives bigues. En aquest cas, els suports laterals van adjunts a l'envolvent mitjançant una xapa de reforç soldada i són de dimensions reduïdes. A continuació, es mostra una imatge d'exemple (Figura C. 3).



Figura C. 3: Suportació d'un equip sobre plataforma mitjançant suports laterals

Aquest mètode de suportació presenta grans avantatges, ja que es tracten de suports amb dimensions reduïdes, poques soldadures necessàries, fàcilment anivellables, etc.

C.2.2.4 Anàlisi d'alternatives i tria definitiva

Finalment, després de valorar els avantatges i desavantatges de cada una de les alternatives plantejades per a la suportació de l'equip, es determina que l'opció més òptima en aquest cas són els suports laterals.

Aquests presenten els següents avantatges:

- El cost de materials i fabricació és baix, degut a les reduïdes dimensions.

- Poden ser fàcilment adherits a l'equip amb el mínim cordó de soldadura.
- Poden ser fàcilment anivellables sobre l'estructura a la qual s'emplaci l'equip.
- Segons l'alçada on s'ubiquin els suports laterals, permeten ajustar el nivell de l'equip. Per exemple, per a un manteniment més accessible.
- Permeten absorbir expansions radials de l'equip en el cas que no estigui restringit.
- Aquesta tipologia de suports estan pensats per equips de petites dimensions i capacitats (fins a 7 – 8 m³), els quals presenten un baix pes.

Per contra, com a desavantatge, cal tenir en compte l'aparició de moments flectors degut a l'excentricitat dels suports respecte la càrrega de l'equip. Aquests moments flectors poden arribar a causar danys induïts al cos de l'equip, per la qual cosa no es recomana la seva utilització en recipients de paret molt fina, a no ser que estiguin reforçats mitjançant una xapa d'espessor adequat.

En el cas del reactor dissenyat, aquest s'ha sobredimensionat per tal de resistir a aquestes tensions locals més elevades, per la qual cosa la utilització de suports laterals és la opció més òptima entre les alternatives valorades.

C.2.2.5 Unions dels suports

Seguint el fil d'alternatives del tipus de suports que disposarà el reactor i degut a l'espai reduït que es disposa per dur a terme les maniobres d'hissat i instal·lació, també ha calgut fer la següent valoració:

- Suports desmuntables
- Suports permanents

C.2.2.5.1 Suports desmuntables

En aquest cas, la opció valorada consistiria en instal·lar els suports laterals mitjançant unions cargolades. Aquest mètode presenta l'avantatge d'una major facilitat en les maniobres d'hissat i col·locació de l'equip al seu emplaçament, ja que tal i com s'ha comentat anteriorment, l'espai disponible a planta és molt reduït.

Per contra, el principal desavantatge que presenten les unions cargolades, és la gran afectació per les vibracions induïdes per l'agitador, de tal manera que aquestes s'afluixarien amb facilitat.

C.2.2.5.2 Suports permanents

L'alternativa d'incorporar els suports de forma permanent durant el procés de fabricació de l'equip presenta l'avantatge d'una major robustesa i resistència a la fatiga, donades les vibracions del sistema d'agitació.

Per altra banda, les maniobres d'hissat i col·locació es veurien altament afectades, ja que la disponibilitat d'espai a planta és molt reduït. En cas d'optar per aquesta alternativa, caldria realitzar modificacions a la plataforma existent (ubicació del reactor) per tal que l'equip pugui entrar a l'edifici.

C.2.2.5.3 Anàlisi d'alternatives i tria definitiva

Després d'escollir que finalment el reactor es suportarà mitjançant quatre suports laterals, s'ha valorat si aquestes seran desmuntables (unions cargolades) o permanents (soldadura). En aquest cas s'ha optat per les dues opcions per a facilitar la instal·lació de l'equip, degut a la limitació d'espai, i per garantir la correcta subjecció d'aquest degut a les vibracions induïdes per l'agitador.

Així doncs, el procés de muntatge dels suports seria el següent:

1. Inicialment, els suports es dissenyen perquè siguin desmuntables mitjançant unions cargolades.
2. El reactor, una vegada fabricat, sortirà del taller sense els suports muntats per tal de ser traslladat a la planta de producció on finalment serà ubicat.

Analitzant la disponibilitat d'espai a planta, es va comprovar que amb els suports incorporats s'impossibilitava la seva instal·lació, ja que no passava pel forat realitzat a la plataforma. D'altra banda, degut a interferències amb altres equips, no es podia realitzar la instal·lació del reactor per la part superior de l'edifici, sinó que s'havia de realitzar per la part inferior de la plataforma.

3. Una vegada hissat l'equip i situat al seu emplaçament en voladís, subjectat per la grua, es procedeix a incorporar les quatre potes i acollar-les al cos de l'envolvent.
4. Es procedeix a descendir l'equip fins quedar recolzat a la plataforma per els quatre punts de suport.
5. Degut a que el reactor disposarà d'un agitador i amb la finalitat d'evitar l'assentament excessiu de les unions cargolades a partir de les càrregues dinàmiques i les vibracions, es considera soldar definitivament els quatre suports. Aquesta soldadura es realitza a camp mateix.

C.2.3 Als materials

En quant als materials de fabricació de l'equip, s'han valorat diverses opcions per a cada un dels elements que forma part del reactor. Tot i això, s'ha considerat unificar-los amb un sol material escollit per tal d'abaratir els costos del projecte i reduir els plaços d'entrega del material per part del subministrador.

De materials en trobem una gran varietat al mercat, però les alternatives s'han definit entre les dues grans famílies d'acers. Les opcions valorades per a la fabricació dels elements que componen el reactor han estat les següents:

- Acer al carboni.
- Acer al carboni + revestiment interior de protecció d'acer inoxidable capaç de resistir atacs corrosius (*cladding*).
- Acer inoxidable.

Una incorrecte selecció del material apropiat per al disseny de l'equip pot comportar problemes, ja siguin lleus o greus: des d'una baixa eficiència de funcionament fins a fallades catastròfiques.

C.2.3.1 Acer al carboni

L'acer al carboni és un dels materials més utilitzat a l'indústria i també, aplicat a la fabricació d'equips a pressió. Aquest material presenta l'avantatge de tenir un elevat límit elàstic, fent que sigui un material ideal per a un gran ventall de processos industrials. Així doncs, pot resistir elevats esforços amb el mínim espessor.

A banda, presenta l'avantatge de ser fàcilment reciclable, per la qual cosa és un punt a favor a tenir en compte.

Pel que fa als seus desavantatges, el principal a destacar és la seva tendència a la corrosió davant ambients agressius. En aquest cas, a l'estar aplicat al disseny d'un equip a pressió, caldria considerar l'atac químic que causaria el producte intern del reactor.

C.2.3.2 Acer al carboni + cladding

Una altra alternativa valorada ha estat el disseny de l'equip íntegrament amb acer al carboni, però amb la incorporació d'un revestiment per la part interior d'acer inoxidable. Aquesta protecció, la qual estaria en contacte amb el fluid corrosiu, actuaria de barrera per impedir la corrosió del propi acer al carboni.



Així doncs, el material que resistiria i absorbiria les càrregues de pressió interna seria l'acer al carboni, mentre que el revestiment interior actuaria únicament com a protecció contra la corrosió. L'espessor d'aquesta capa protectora acostuma a ser molt reduït, de tal manera que no té capacitat per resistir esforços elevats.

El principal desavantatge d'aquest sistema és el seu elevat preu a l'hora de fabricar l'equip, donat que requereix un procediment altament complex. A més, es comuna l'aparició de esquerdes a les unions soldades entre les plaques de revestiment, per la qual cosa, si la corrosió arribés al material base (acer al carboni), podria generar greus problemes.

C.2.3.3 Acer inoxidable

Finalment, la darrera opció valorada ha estat la fabricació íntegra de l'equip, tenint en compte també les tubuladures i brides, en acer inoxidable. Aquest material presenta grans similituds amb l'acer al carboni en quant a resistència i propietats mecàniques, ja que els valors de límit elàstic són semblants. De la mateixa manera, la densitat del material també és aproximadament la mateixa, per la qual cosa el pes total de l'equip no variaria significativament.

El gran avantatge que presenta l'acer inoxidable en front les altres alternatives valorades, és la seva protecció contra la corrosió. Així doncs, seria capaç d'estar en contacte amb el fluid intern del reactor sense la necessitat d'un revestiment addicional.

Per contra, el preu unitari de l'acer inoxidable és notablement superior al de l'acer al carboni. Així doncs, els costos totals del projecte degut als materials s'incrementarien.

C.2.3.4 Anàlisi d'alternatives i tria definitiva

Tal com s'ha mencionat anteriorment, primer de tot es defineix que el reactor sigui fabricat amb acer, per tal d'assegurar unes òptimes propietats mecàniques en front les condicions de pressió i temperatura d'operació nominal. Dins la gran varietat d'acers existents al mercat, s'ha optat finalment per escollir l'acer inoxidable en la totalitat de l'equip.

La decisió d'escollir l'acer inoxidable com a material principal es basa en la prevenció de l'atac químic (corrosió) que pot causar el producte intern de l'equip, ja que un acer al carboni convencional no estaria preparat per aquestes condicions. A més, donat que l'equip a dissenyar és relativament petit, no suposa un gran excés de preu fabricar-lo en acer inoxidable. A llarg termini, els costos de manteniment de l'acer inoxidable també

són menors que els de l'acer al carboni, per la qual cosa també hi ha un estalvi econòmic.

S'ha descartat la opció del *cladding* donada la seva dificultat afegida al procés de fabricació. El complex procediment a seguir comportava uns plaços d'entrega per part del fabricant molt més elevats que no s'adaptaven a la planificació interna del client. Amb la utilització d'un sol material base (acer inoxidable) es permetia complir amb les dates d'entrega del projecte.

Més concretament, seguint la taula de materials que ens proporciona el codi ASME Secció II (Taula C. 1), els materials seleccionats han estat els següents:

- ASME SA-240 316L: acer inoxidable emprat per a la fabricació de xapes. Aquest material s'emprarà per a la fabricació del fons inferior i superior, l'envolvent, els suports del reactor, la presa de terra i altres elements interns fets de xapa.
- ASME SA-312 TP316L: acer inoxidable emprat per a la fabricació de tubs amb especificació ASME B36.19. Totes les tubuladures es fabricaran amb aquest material.
- ASME A182 F316L: acer inoxidable de forja. Aquest material s'assigna per a la fabricació de totes les brides de connexió.
- ASME SA-193 B7: acer aliat per a la fabricació de cargolam: cargols, femelles, volanderes, passadors, etc.



Taula C. 1: Taula de materials ASME Secció II

Table 1A (Cont'd)
Section I; Section III, Classes 2 and 3;* Section VIII, Division 1; and Section XII
Maximum Allowable Stress Values S for Ferrous Materials
(*See Maximum Temperature Limits for Restrictions on Class)

Line No.	Nominal Composition	Product Form	Spec. No.	Type /Grade	Alloy Desig./ UNS No.	Class/ Condition/ Temper	Size/ Thickness, mm	P-No.	Group No.
1	29Ni-20Cr-3Cu-2Mo	Castings	SA-351	CN7M	J95150	...	...	45	..
2	29Ni-20Cr-3Cu-2Mo	Castings	SA-351	CN7M	J95150	...	...	45	..
3	16Cr-4Ni-6Mn	Plate	SA-240	201LN	S20153	...	...	8	3
4	16Cr-4Ni-6Mn	Plate	SA-240	201LN	S20153	...	...	8	3
5	16Cr-9Mn-2Ni-N	Plate	SA-240	204	S20400	...	...	8	3
6	16Cr-9Mn-2Ni-N	Plate	SA-240	204	S20400	...	...	8	3
7	16Cr-12Ni-2Mo	Forgings	SA-182	F316L	S31603	...	>125	8	1
8	16Cr-12Ni-2Mo	Forgings	SA-182	F316L	S31603	...	>125	8	1
9	16Cr-12Ni-2Mo	Forgings	SA-965	F316L	S31603	...	...	8	1
10	16Cr-12Ni-2Mo	Forgings	SA-965	F316L	S31603	...	...	8	1
11	16Cr-12Ni-2Mo	Bar	SA/IS G4303	SUS316L	...	...	...	8	1
12	16Cr-12Ni-2Mo	Forgings	SA-182	F316L	S31603	...	≤125	8	1
13	16Cr-12Ni-2Mo	Forgings	SA-182	F316L	S31603	...	≤125	8	1
14	16Cr-12Ni-2Mo	Smls. tube	SA-213	TP316L	S31603	...	...	8	1
15	16Cr-12Ni-2Mo	Smls. tube	SA-213	TP316L	S31603	...	...	8	1
16	16Cr-12Ni-2Mo	Plate	SA-240	316L	S31603	...	...	8	1
17	16Cr-12Ni-2Mo	Plate	SA-240	316L	S31603	...	...	8	1
18	16Cr-12Ni-2Mo	Wld. tube	SA-249	TP316L	S31603	...	...	8	1
19	16Cr-12Ni-2Mo	Wld. tube	SA-249	TP316L	S31603	...	...	8	1
20	16Cr-12Ni-2Mo	Wld. tube	SA-249	TP316L	S31603	...	...	8	1
21	16Cr-12Ni-2Mo	Smls. & wld. pipe	SA-312	TP316L	S31603	...	...	8	1
22	16Cr-12Ni-2Mo	Smls. pipe	SA-312	TP316L	S31603	...	...	8	1
23	16Cr-12Ni-2Mo	Wld. pipe	SA-312	TP316L	S31603	...	...	8	1
24	16Cr-12Ni-2Mo	Wld. pipe	SA-312	TP316L	S31603	...	...	8	1
25	16Cr-12Ni-2Mo	Wld. pipe	SA-358	316L	S31603	1	...	8	1
26	16Cr-12Ni-2Mo	Smls. & wld. fittings	SA-403	316L	S31603	...	...	8	1
27	16Cr-12Ni-2Mo	Wld. pipe	SA-409	TP316L	S31603	...	...	8	1
28	16Cr-12Ni-2Mo	Bar	SA-479	316L	S31603	...	...	8	1
29	16Cr-12Ni-2Mo	Bar	SA-479	316L	S31603	...	...	8	1
30	16Cr-12Ni-2Mo	Wld. tube	SA-688	TP316L	S31603	...	...	8	1

C.2.4 Als components i elements mecànics

En aquest apartat s'han considerat les alternatives que afecten als diversos components que formen el reactor: el fons inferior i superior i l'envolvent. Pel que fa a l'envolvent, aquesta ha de ser de tipus cilíndrica i disposada verticalment, segons els condicionants imposats pel promotor del projecte, per la qual cosa no es valoren alternatives.

A continuació (Figura C. 4), es mostra una imatge de l'envolvent fabricada a partir del procés de conformat de la xapa d'acer inoxidable mitjançant una corbadora. Posteriorment, es realitza la soldadura longitudinal, la qual es pot apreciar a la mateixa imatge.



Figura C. 4: Envolvent del reactor R-2000

Els elements restants dels quals sí que s'han valorat diverses alternatives són els fons inferior i superior. Dins el disseny d'equips a pressió en general, trobem diverses geometries a escollir segons la conveniència del projecte, amb unes dimensions estandarditzades i normalitzades.

Els tipus de fons més populars i emprats pels diversos codis de disseny i que s'han valorat per al disseny del reactor són els següents:

- Fons tipus Klopper (torisfèric).
- Fons tipus Korbbogen (semi el·líptic).
- Fons el·líptic 2:1.
- Fons pla o base.
- Fons cònic.



C.2.4.1 Fons tipus Klopper (toriesfèric)

Els fons Klopper és un tipus de fons toriesfèric que segueix la normativa DIN 28011. Aquest tipus de fons s'acostuma a utilitzar per a requeriments de pressió mitjana, donada la seva geometria.

A continuació s'adjunta un imatge on es pot veure el tipus de fons Klopper (Figura C. 5) i una altra amb la seva geometria i relacions dimensionals (Figura C. 6).



Figura C. 5: Fons Klopper

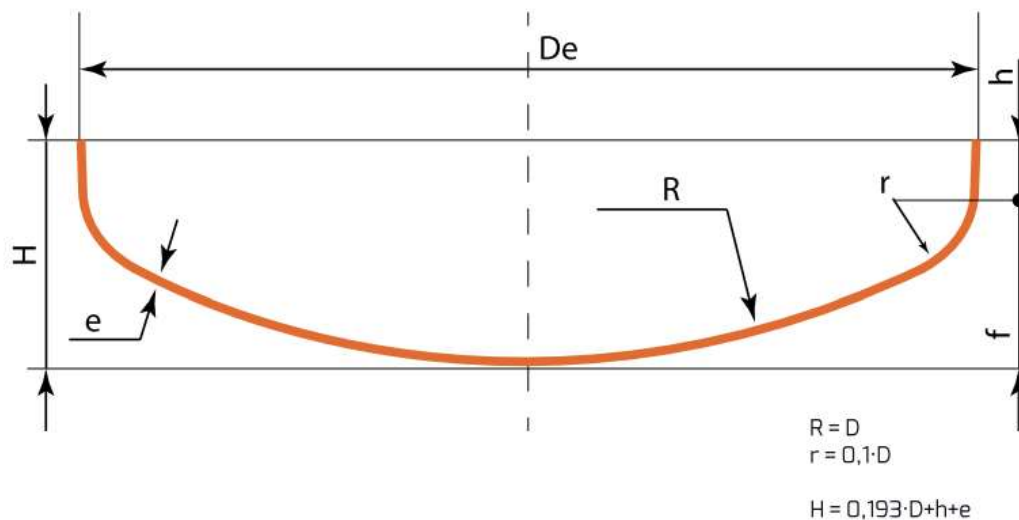


Figura C. 6: Relacions dimensionals del Fons Klopper

C.2.4.2 Fons tipus Korbbogen (semi el·líptic)

El fons Korbbogen és un tipus de fons semi el·líptic el qual segueix la normativa DIN 28013. Aquest tipus de fons s'acostuma a utilitzar per a requeriments d'alta pressió, ja que la seva geometria permet absorbir càrregues de pressió interna més altes per un mateix espessor, comparat amb altres tipus de fons.

A continuació s'adjunta una imatge on es pot veure el tipus de fons Korbbogen (Figura C. 7) i una altra amb la seva geometria i relacions dimensionals (Figura C. 8).



Figura C. 7: Fons Korbbogen

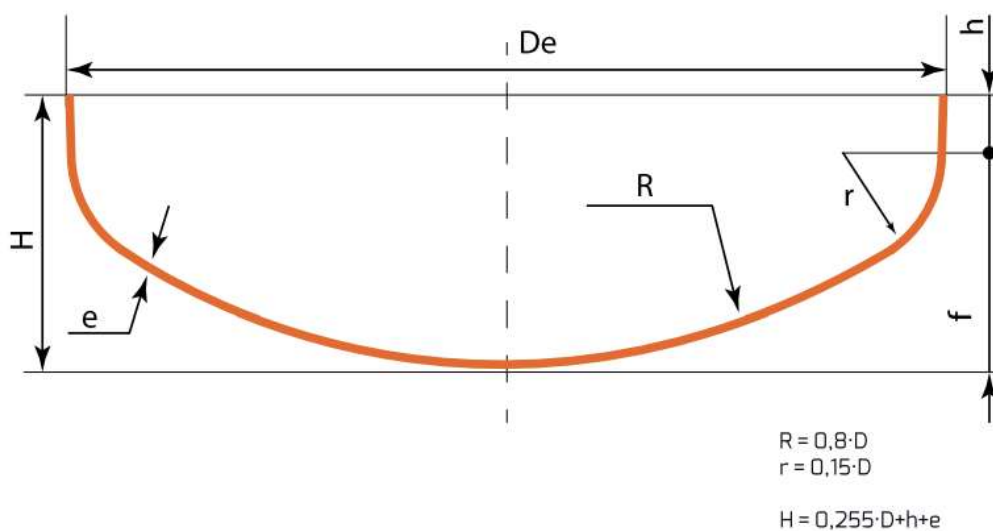


Figura C. 8: Relacions dimensionals del fons Korbbogen



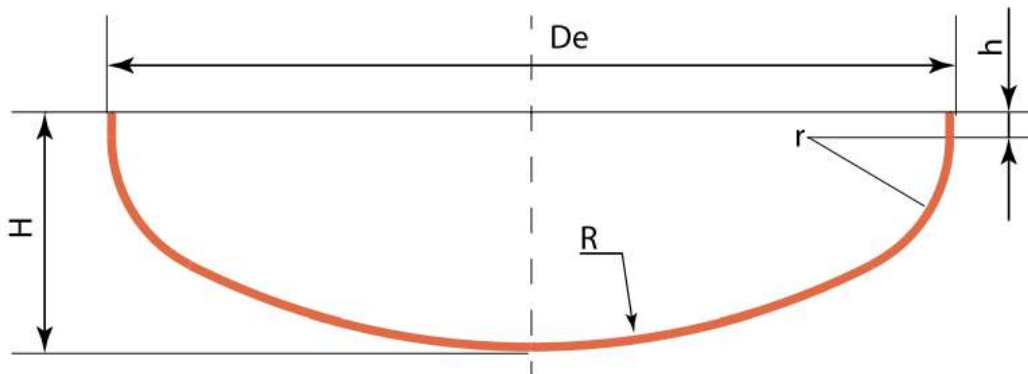
C.2.4.3 Fons el·líptic 2:1

El fons el·líptic és un tipus de fons dissenyat amb un rati 2:1, és a dir, el valor de diàmetre respecte la fondària d'aquest és 2:1. Aquest rati és ideal per albergar fluids o gasos a alta pressió, donades les seves característiques dimensionals. Per aquest motiu, els espessors resultants seran menors, abaratint els costos de materials.

A continuació s'adjunta una imatge on es pot veure el tipus de fons el·líptic 2:1 (Figura C. 9) i una altra amb la seva geometria i relacions dimensionals (Figura C. 10).



Figura C. 9: Fons el·líptic 2:1



$$R = 0,9 \cdot D$$
$$r = 0,17 \cdot D$$
$$H = D/4 + h + e$$

Figura C. 10: Relacions dimensionals del fons el·líptic 2:1

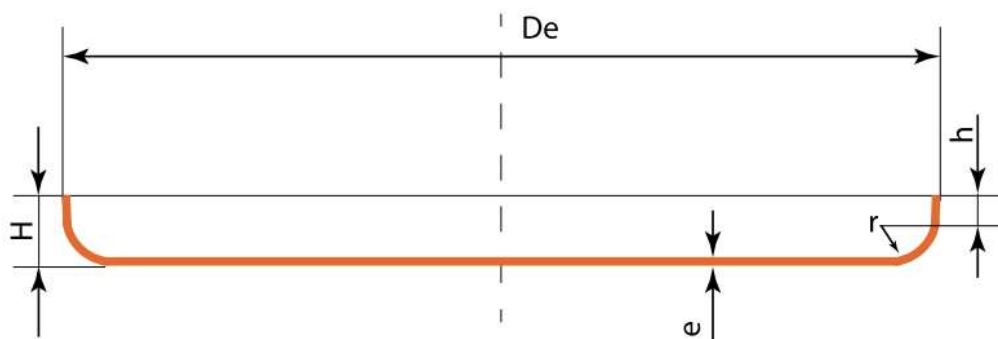
C.2.4.4 Fons pla o base

El fons pla o base es caracteritza per tenir una geometria completament plana. Aquest tipus de fons s'acostuma a utilitzar en casos on es requereix disposar d'un fons completament pla, ja sigui per procés o per necessitats d'espai. Es tracta del disseny menys eficient, ja que el fons treballa purament a flexió. Així doncs, requerirà espessors de paret molt gruixuts. No es recomana per a altes pressions internes.

A continuació s'adjunta una imatge on es pot veure el tipus de fons pla o base (Figura C. 11) i una altra amb la seva geometria i relacions dimensionals (Figura C. 12).



Figura C. 11: Fons pla o base



$$30 < r < 80 \text{ (mm.)}$$

$$H = r + h + e$$

Figura C. 12: Relacions dimensionals del fons pla o base



C.2.4.5 Fons cònic

El fons cònic, tal i com indica el seu nom, té una geometria cònica. Aquest tipus de fons s'utilitza comunament a les parts inferiors dels equips a pressió, ja que la seva forma cònica afavoreix el drenatge del producte interior. Per contra, no és eficient per a pressions mitjanes o altes.

A continuació s'adjunta una imatge on es pot veure el tipus de fons cònic (Figura C. 13) i una altra amb la seva geometria i relacions dimensionals (Figura C. 14).



Figura C. 13: Fons cònic

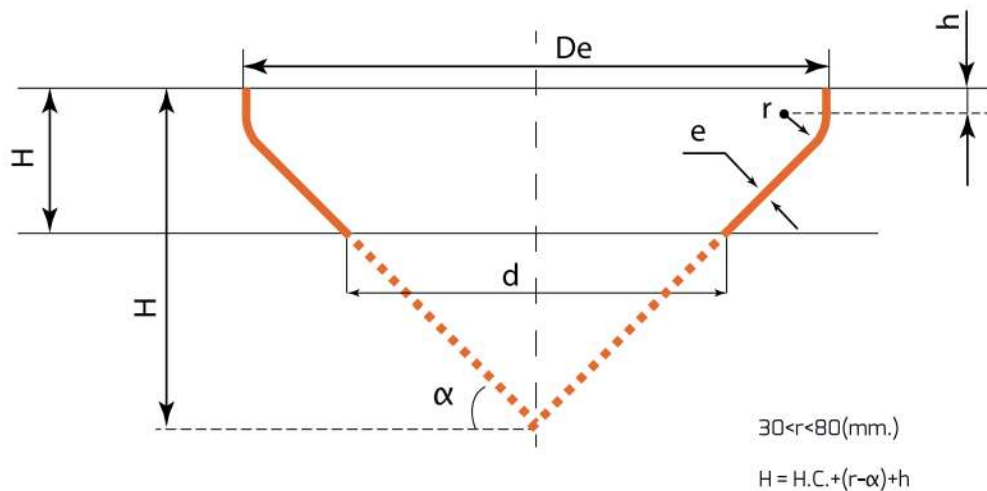


Figura C. 14: Relacions dimensionals del fons cònic

C.2.4.6 Anàlisi d'alternatives i tria definitiva

En aquest apartat, d'entre totes les alternatives possibles per al disseny dels fons inferior i superior, s'ha optat en els dos casos per un tipus Korbogen. Les característiques dimensionals i geomètriques que ofereix aquest tipus de fons són un gran avantatge respecte les altres alternatives, doncs permet una millor distribució de les tubuladures i connexions.

A més, aquest tipus de disseny Korbogen permet absorbir pressions interiors més altes degut a la seva geometria, per la qual cosa ha estat un altre punt a tenir en compte per a la seva selecció final. Aquest fet permet optimitzar el disseny i reduir els espessors de paret.

A continuació es mostra una imatge del fons Korbogen fabricat per a l'equip del present projecte (Figura C. 15).



Figura C. 15: Fons superior i inferior tipus Korbogen del reactor R-2000

Pel que fa al disseny de l'envolvent, aquesta ve imposada per les condicions del promotor (cilindre vertical). El procés de conformació d'aquest element es realitza mitjançant el doblegat de xapa fins aconseguir el diàmetre desitjat.



C.2.5 Als components i elements elèctrics

L'element elèctric que disposa el propi reactor és una presa a terra, col·locada a un dels suports laterals de l'equip. Aquesta presa de terra, en forma de xapa, estarà formada per un cable trenat i serà acollada per mitjà d'un cargol hexagonal.

C.2.6 Als components i elements de control

Els diferents components i elements de control que s'instal·laran al reactor s'exposen a continuació:

- Transmissor de temperatura, per determinar la temperatura interna de l'equip.
- Transmissor de pressió, per determinar la pressió interna de l'equip.
- Transmissor de nivell, per determinar el nivell de producte dins l'equip.

D. CÀLCUL DELS ELEMENTS

En aquest annex es presenten, de forma detallada, els mètodes, el procediment i les fórmules utilitzades per al càlcul del reactor R-2000, segons les condicions de disseny imposades pel promotor del projecte.

D.1 Disseny i càlcul dels elements fabricats

D.1.1 Elements mecànics

Per al present projecte, ha estat necessari el càlcul dels diversos elements que conformen el reactor R-2000 per tal de dimensionar-los adequadament segons la pressió interna de disseny de l'equip.

Aquests elements, els quals s'han dimensionat per pressió interna, són els següents:

- Fons superior.
- Envoltent.
- Fons inferior.
- Tubuladures de connexió.

Per altra banda, també trobem els següents elements dels quals s'ha realitzat el respectiu càlcul per tal de dimensionar-los:

- Suports laterals del reactor.
- Orelletes d'hissat.
- Orelleta de retinguda.

Els càlculs s'han dut a terme segons el codi ASME Secció VIII Divisió 1 i s'han realitzat a partir del *software* de càlcul Codeware Compress. Aquest programa informàtic d'origen americà, permet dissenyar tot tipus de recipient a pressió i extreure'n els càlculs justificatius del seu dimensionament segons unes condicions de disseny imposades.

A continuació es separa per separat la justificació de càlcul de cada un dels elements mecànics i es detalla el respectiu procediment de càlcul emprat en cada cas.

D.1.1.1 Càlculs per pressió interna

El principal càlcul realitzat per dimensionar els diversos components que formen el reactor ha estat el de pressió interna, tot seguint el procediment marcat pel codi de disseny ASME Secció VIII Divisió 1.

Per al càlcul de pressió interna, s'han tingut en compte dos escenaris, tal i com s'indica al codi de disseny. S'ha dimensionat cada un dels elements segons l'escenari més restrictiu.

1. Pressió interna segons prova hidràulica.

Segons la normativa de recipients a pressió, la pressió de prova hidràulica serà la més alta entre els dos valors obtinguts de les següents fórmules (Eq. 1 i (Eq. 2):

$$p_h = 1,43 \cdot P_{m\grave{a}x} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$p_h = 1,25 \cdot \frac{S_{\text{ambient}}}{S_{\text{disseny}}} \cdot P_{m\grave{a}x} \quad (\text{Eq. 2})$$

La pressió interna màxima segons les condicions de disseny serà de 0,4234 MPa, la qual és la suma de la pressió de 0,4 MPa i la pressió estàtica del fluid de 0,0234 MPa. Per tant, substituint els valors a l'equació (Eq. 1):

$$p_h = 1,43 \cdot P_{m\grave{a}x} = 1,43 \cdot 0,4234 = 0,6054 \text{ MPa}$$

Pel que fa a l'equació (Eq. 2), cal determinar primer els dos paràmetres de tensió admissible del material (S_{ambient} i S_{disseny}). Aquests valors, els quals depenen de la temperatura a la qual està sotmès el material, ho proporciona el codi ASME per mitjà de taules normalitzades.

Els valors que s'han pres de referència per al material d'acer inoxidable ASME SA-240 316L, segons les taules del codi ASME Secció II, són els següents:

- $S_{\text{ambient}}(20^{\circ}\text{C}) = 115 \text{ MPa}$
- $S_{\text{disseny}}(260^{\circ}\text{C}) = 76 \text{ MPa}$

Per tant, substituint els valors a l'equació (Eq. 2):

$$p_h = 1,25 \cdot \frac{S_{\text{ambient}}}{S_{\text{disseny}}} \cdot P_{m\grave{a}x} = 1,25 \cdot \frac{115}{76} \cdot 0,4234 = 0,8 \text{ MPa}$$

Com a conclusió del càlcul realitzat, es mostra que la pressió de la prova hidràulica haurà de ser de 0,8 MPa per tal de complir amb la normativa vigent de recipients a pressió.

2. Pressió interna segons pressió de disseny (4 bar), a temperatura de disseny (260°C) i amb la corrosió admissible aplicada (1,6 mm). Aquest escenari es donaria al final de la vida útil de l'equip.

Per a aquest apartat de càlcul segons pressió interna, s'han dimensionat els espessors dels diversos elements seguint les fórmules proposades pel codi ASME Secció VIII Divisió 1. Aquest diferencia els tipus de tensions (circumferencials o longitudinals) i el tipus d'element (envolvent cilíndrica i tipus de fons: el·líptic, semi el·líptic, pla, etc.). A continuació es mostren aquestes fórmules i taules (Figura D. 1, Taula D. 1, Taula D. 2):

(c) *Cylindrical Shells.* The minimum thickness or maximum allowable working pressure of cylindrical shells shall be the greater thickness or lesser pressure as given by (1) or (2) below.

(1) *Circumferential Stress (Longitudinal Joints).* When the thickness does not exceed one-half of the inside radius, or P does not exceed $0.385SE$, the following formulas shall apply:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad \text{or} \quad P = \frac{SEt}{R + 0.6t} \quad (1)$$

(2) *Longitudinal Stress (Circumferential Joints).*¹⁶ When the thickness does not exceed one-half of the inside radius, or P does not exceed $1.25SE$, the following formulas shall apply:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{R - 0.4t} \quad (2)$$

(d) *Spherical Shells.* When the thickness of the shell of a wholly spherical vessel does not exceed $0.356R$, or P does not exceed $0.665SE$, the following formulas shall apply:

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P} \quad \text{or} \quad P = \frac{2SEt}{R + 0.2t} \quad (3)$$

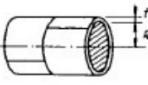
t = minimum required thickness of shell, in. (mm)
 P = internal design pressure (see UG-21), psi (kPa)
 R = inside radius of the shell course under consideration,¹⁵ in. (mm)
 S = maximum allowable stress value, psi (kPa) (see UG-23 and the stress limitations specified in UG-24)


Figura D. 1: Fórmules bàsiques per al dimensionament d'espessor segons ASME

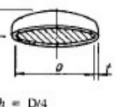



NOTATION		E = Joint efficiency, page 172	
P = Design pressure or max. allowable working pressure, psi	R = Inside radius, inches	R = Inside radius, inches	
S = Stress value of material, psi, page 189	t = Wall thickness, inches	t = Wall thickness, inches	
	C.A. = Corrosion allowance, inches	C.A. = Corrosion allowance, inches	


NOTATION		D = Inside diameter, inches	
P = Design pressure or max. allowable working pressure, psi	α = One half of the included (apex) angle, degrees	α = One half of the included (apex) angle, degrees	
S = Stress value of material, psi, page 189	L = Inside radius of dish, inches	L = Inside radius of dish, inches	
E = Joint efficiency, page 172	t = Wall thickness, inches	t = Wall thickness, inches	
R = Inside radius, inches	C.A. = Corrosion allowance, inches	C.A. = Corrosion allowance, inches	

CYLINDRICAL SHELL (LONG SEAM) ¹	
	$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$ $P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$
<ol style="list-style-type: none"> Usually the stress in the long seam is governing. See preceding page. When the wall thickness exceeds one half of the inside radius or P exceeds 0.385 SE, the formulas given in the Code Appendix 1-2 shall be applied. 	

SPHERE and HEMISPHERICAL HEAD	
	$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$ $P = \frac{2SEt}{R + 0.2t}$
<ol style="list-style-type: none"> For heads without a straight flange, use the efficiency of the head to shell joint if it is less than the efficiency of the seams in the head. When the wall thickness exceeds 0.356 R or P exceeds 0.569 SE, the formulas given in the Code Appendix 1-3, shall be applied. 	

2:1 ELLIPSOIDAL HEAD	
	$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$ $P = \frac{2SEt}{D + 0.2t}$
<ol style="list-style-type: none"> For ellipsoidal heads, where the ratio of the major and minor axis is other than 2:1, see Code Appendix 1-4(c). 	

CONE AND CONICAL SECTION	
	$t = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE - 0.6P)}$ $P = \frac{2SEt \cos \alpha}{D + 1.2t \cos \alpha}$
<ol style="list-style-type: none"> The half apex angle, α, not greater than 30° When α is greater than 30° special analysis is required. (Code Appendix 1-5(d)) 	

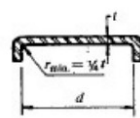
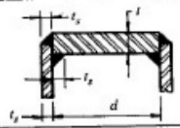
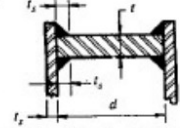
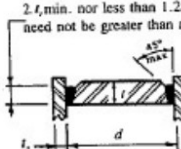
ASME FLANGED AND DISHED HEAD (TORISPHERICAL HEAD)	
When $L/t_s = 16^2$	
	$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P}$ $P = \frac{SEt}{0.885L + 0.1t}$
When L/t_s less than 16^2	
$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P}$ $P = \frac{2SEt}{LM + 0.2t}$	

VALUES OF FACTOR "M"										
L/t _s	1.00	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
M	1.00	1.02	1.04	1.10	1.15	1.18	1.20	1.22	1.24	1.25
L/t _s	5.00	6.00	7.00	8.00	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
M	1.41	1.44	1.46	1.50	1.54	1.56	1.60	1.62	1.65	1.67

* THE MAXIMUM ALLOWED RATIO : L = D + 2t (See note 2 on facing page)

Taula D. 1: Fórmules per al dimensionament d'espessors d'elements (cilindres i fons)

NOTATION		E = joint efficiency	
P = Internal or external design pressure, psi	d = Inside diameter of shell, in.	d = Inside diameter of shell, in.	
S = Maximum allowable stress value of material, psi	t = Minimum required thickness of head, exclusive of corrosion allowance, in.	t = Minimum required thickness of head, exclusive of corrosion allowance, in.	
t _h = Actual thickness of head exclusive of corrosion allowance, in.	t _s = Minimum required thickness of seamless shell for pressure, in.	t _s = Minimum required thickness of seamless shell for pressure, in.	
t _a = Actual thickness of shell, exclusive of corrosion allowance, in.			

CIRCULAR FLAT HEADS	
	$t = d \sqrt{0.13 P / SE}$ <p>This formula shall be applied:</p> <ol style="list-style-type: none"> When d does not exceed 24 in. t_a/d is not less than 0.05 nor greater than 0.25 The head thickness, t_a is not less than the shell thickness, t_s
	$t = d \sqrt{CP / SE}$ $C = 0.33 t_s / t_s$ $C \text{ min.} = 0.20$
	<p>If a value of t_s/t_s less than 1 is used in calculating t, the shell thickness t_s shall be maintained along a distance inwardly from the inside face of the head equal to at least</p> $2 \sqrt{dt_s}$
	<p>2 t_s min. nor less than 1.25 t_s need not be greater than t</p> <p>Non-circular, bolted flat heads, covers, blind flanges Code UG-34; other types of closures Code UG-35</p>

Taula D. 2: Fórmules per al dimensionament d'espessors de fons plans

Per altra banda, també s'han calculat els dos paràmetres característics del codi ASME referent a un equip a pressió. Aquests són els següents:

1. MAWP (*Maximum Allowable Working Pressure*). És la màxima pressió admissible que pot resistir l'element sota condicions de corrosió (1,6 mm) i màxima temperatura (260°C).
2. MAP (*Maximum Allowable Pressure*). És la màxima pressió admissible que pot resistir l'element sense considerar corrosió (nou) i a temperatura ambient (20°C).

D.1.1.1.1 Fons superior

Una vegada conegudes les fórmules simplificades del codi ASME, s'exposa el procediment de càlcul seguit per a dimensionar l'espessor del fons superior. El resultat de la fórmula indica el valor mínim, en mm, segons les condicions d'operació.

Pel que fa al càlcul dels espessors mínims requerits, es tenen en compte els dos escenaris de pressió interna: prova hidràulica i condicions de disseny. Els paràmetres són els següents:

- t_{r1} : espessor mínim requerit per a resistir amb seguretat les condicions de la prova hidràulica.
 - Pressió interna de 0,8 MPa.
 - Temperatura de 20°C
 - Fluid de la prova hidràulica: aigua.
- t_{r2} : espessor mínim requerit per a resistir amb seguretat les condicions de disseny.
 - Pressió interna de 0,4 MPa.
 - Temperatura de 260°C.
 - Condicions de corrosió aplicables (1,6 mm).

A continuació s'exposa el procediment de càlcul per al fons superior:

$$t_{r1} = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} + CA \quad (\text{Eq. 3})$$



On:

- t_{r1} : espessor mínim requerit per a resistir amb seguretat les condicions de la prova hidràulica, en mm.
- P : pressió interna, en MPa.
- L_o : radi interior del fons, en mm.
- S : tensió admissible del material, en MPa.
- E : eficiència de junta, adimensional.
- M : factor de càlcul, adimensional.
- CA : corrosió admissible.
 - o En el cas de la prova hidràulica es considera nul, ja que l'equip és nou.
 - o En el cas de condicions de disseny i operació es considera 1,6 mm.

$$t_{r1} = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} + CA = \frac{0,8168 \cdot 1423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 0,8168 \cdot (1 - 0,2)} + 0 = 5,04 \text{ mm}$$

Segons les condicions de la prova hidràulica, l'espessor mínim del fons superior ha de ser de 5,04 mm.

$$t_{r2} = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} + CA \quad (\text{Eq. 4})$$

On:

- t_{r2} : espessor mínim requerit per a resistir amb seguretat les condicions de disseny.

$$t_{r2} = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} + CA = \frac{0,4239 \cdot 1423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,4239 \cdot (1,3185 - 0,2)} + 1,6 = 5,49 \text{ mm}$$

Segons les condicions de disseny, l'espessor mínim del fons superior ha de ser de 5,49 mm. Així doncs, aquest resultat és el limitant.

A continuació es mostra el càlcul de les màximes pressions admissibles del fons superior:

$$MAWP = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{M \cdot L_o - t \cdot (M - 0,2)} \quad (\text{Eq. 5})$$

On:

- *MAWP*: *Maximum Allowable Working Pressure*. És la màxima pressió admissible que pot resistir l'element sota condicions de corrosió (1,6 mm) i màxima temperatura (260°C).
- *S*: tensió admissible del material, en MPa.
- *E*: eficiència de junta, adimensional.
- *t*: espessor considerant la corrosió admissible.
- *M*: factor de càlcul, adimensional.
- *L_o*: radi interior del fons, en mm.

$$MAWP = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{M \cdot L_o - t \cdot (M - 0,2)} = \frac{2 \cdot 102 \cdot 1 \cdot 13,4}{1,3185 \cdot 1423 - 13,4 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 1,468 \text{ MPa}$$

$$MAP = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{M \cdot L_o - t \cdot (M - 0,2)} \quad (\text{Eq. 6})$$

On:

- *MAP*: *Maximum Allowable Pressure*. És la màxima pressió admissible que pot resistir l'element sense considerar corrosió (nou) i a temperatura ambient (20°C).
- *S*: tensió admissible del material, en MPa.
- *E*: eficiència de junta, adimensional.
- *t*: espessor sense considerar la corrosió, ja que l'equip és nou.
- *M*: factor de càlcul, adimensional.
- *L_o*: radi interior del fons, en mm.

$$MAP = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{M \cdot L_o - t \cdot (M - 0,2)} = \frac{2 \cdot 115 \cdot 1 \cdot 15}{1,3198 \cdot 1423 - 15 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 1,8536 \text{ MPa}$$



Per a un càlcul més detallat del fons superior, consultar l'apartat D.3 Informe de càlcul Codeware Compress.

D.1.1.1.2 Envoltent

Els escenaris de càlcul que s'han contemplat per al dimensionament de l'espessor de l'envoltent són els mateixos que per al fons superior. Així doncs, es detallarà directament el procediment de càlcul dels dos espessors mínims requerits i de les pressions admissibles de l'element.

A continuació s'exposa el procediment de càlcul per l'envoltent:

$$t_{r1} = \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} + CA \quad (\text{Eq. 7})$$

On:

- t_{r1} : espessor mínim requerit per a resistir amb seguretat les condicions de la prova hidràulica, en mm.
- P : pressió interna, en MPa.
- R_o : radi exterior de l'envoltent, en mm.
- S : tensió admissible del material, en MPa.
- E : eficiència de junta, adimensional.
- CA : corrosió admissible.
 - o En el cas de la prova hidràulica es considera nul, ja que l'equip és nou.
 - o En el cas de condicions de disseny i operació es considera 1,6 mm.

$$t_{r1} = \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} + CA = \frac{0,8355 \cdot 875}{115 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 0,8355} + 0 = 7,45 \text{ mm}$$

Segons les condicions de la prova hidràulica, l'espessor mínim de l'envoltent ha de ser de 7,45 mm.

$$t_{r2} = \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} + CA \quad (\text{Eq. 8})$$

On:

- t_{r2} : espessor mínim requerit per a resistir amb seguretat les condicions de disseny.

$$t_{r2} = \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} + CA = \frac{0,4426 \cdot 875}{102 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 0,4426} + 1,6 = 6,06 \text{ mm}$$

Segons les condicions de disseny, l'espessor mínim de l'envolvent ha de ser de 6,06 mm. Així doncs, el resultat limitant ve determinat per la prova hidràulica.

A continuació es mostra el càlcul de les màximes pressions admissibles de l'envolvent:

$$MAWP = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,4 \cdot t} \quad (\text{Eq. 9})$$

On:

- *MAWP: Maximum Allowable Working Pressure.* És la màxima pressió admissible que pot resistir l'element sota condicions de corrosió (1,6 mm) i màxima temperatura (260°C).
- *S:* tensió admissible del material, en MPa.
- *E:* eficiència de junta, adimensional.
- *t:* espessor considerant la corrosió admissible.
- *R_o:* radi exterior de l'envolvent, en mm.

$$MAWP = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,4 \cdot t} = \frac{102 \cdot 0,85 \cdot 8,4}{875 - 0,4 \cdot 8,4} = 0,8163 \text{ MPa}$$

$$MAP = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,4 \cdot t} \quad (\text{Eq. 10})$$

On:

- *MAP: Maximum Allowable Pressure.* És la màxima pressió admissible que pot resistir l'element sense considerar corrosió (nou) i a temperatura ambient (20°C).



- S : tensió admissible del material, en MPa.
- E : eficiència de junta, adimensional.
- t : espessor sense considerar la corrosió, ja que l'equip és nou.
- R_o : radi exterior de l'envolvent, en mm.

$$MAP = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,4 \cdot t} = \frac{115 \cdot 0,85 \cdot 10}{875 - 0,4 \cdot 10} = 1,1223 \text{ MPa}$$

Per a un càlcul més detallat de l'envolvent, consultar l'apartat D.3 Informe de càlcul Codeware Compress.

D.1.1.1.3 Fons inferior

Els escenaris de càlcul que s'han contemplat per al dimensionament de l'espessor del fons inferior són els mateixos que per al fons superior. Així doncs, es detallarà directament el procediment de càlcul dels dos espessors mínims requerits i de les pressions admissibles de l'element.

A continuació s'exposa el procediment de càlcul per al fons superior:

$$t_{r1} = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} + CA \quad (\text{Eq. 11})$$

On:

- t_{r1} : espessor mínim requerit per a resistir amb seguretat les condicions de la prova hidràulica, en mm.
- P : pressió interna, en MPa.
- L_o : radi interior del fons, en mm.
- S : tensió admissible del material, en MPa.
- E : eficiència de junta, adimensional.
- M : factor de càlcul, adimensional.
- CA : corrosió admissible.
 - En el cas de la prova hidràulica es considera nul, ja que l'equip és nou.

- En el cas de condicions de disseny i operació es considera 1,6 mm.

$$t_{r1} = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} + CA = \frac{0,84 \cdot 1410 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 0,84 \cdot (1 - 0,2)} + 0 = 5,13 \text{ mm}$$

Segons les condicions de la prova hidràulica, l'espessor mínim del fons inferior ha de ser de 5,13 mm.

$$t_{r2} = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} + CA \quad (\text{Eq. 12})$$

On:

- t_{r2} : espessor mínim requerit per a resistir amb seguretat les condicions de disseny.

$$t_{r2} = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} + CA = \frac{0,4471 \cdot 1410 \cdot 1,3184}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,4471 \cdot (1,3184 - 0,2)} + 1,6 = 5,66 \text{ mm}$$

Segons les condicions de disseny, l'espessor mínim del fons superior ha de ser de 5,66 mm. Així doncs, aquest resultat és el limitant.

A continuació es mostra el càlcul de les màximes pressions admissibles del fons superior:

$$MAWP = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{M \cdot L_o - t \cdot (M - 0,2)} \quad (\text{Eq. 13})$$

On:

- *MAWP*: *Maximum Allowable Working Pressure*. És la màxima pressió admissible que pot resistir l'element sota condicions de corrosió (1,6 mm) i màxima temperatura (260°C).
- *S*: tensió admissible del material, en MPa.
- *E*: eficiència de junta, adimensional.
- *t*: espessor considerant la corrosió admissible.
- *M*: factor de càlcul, adimensional.
- L_o : radi interior del fons, en mm.



$$MAWP = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{M \cdot L_o - t \cdot (M - 0,2)} = \frac{2 \cdot 102 \cdot 1 \cdot 8,4}{1,3184 \cdot 1410 - 8,4 \cdot (1,3184 - 0,2)} = 0,9027 \text{ MPa}$$

$$MAP = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{M \cdot L_o - t \cdot (M - 0,2)} \quad (\text{Eq. 14})$$

On:

- *MAP: Maximum Allowable Pressure.* És la màxima pressió admissible que pot resistir l'element sense considerar corrosió (nou) i a temperatura ambient (20°C).
- *S:* tensió admissible del material, en MPa.
- *E:* eficiència de junta, adimensional.
- *t:* espessor sense considerar la corrosió, ja que l'equip és nou.
- *M:* factor de càlcul, adimensional.
- *L_o:* radi interior del fons, en mm.

$$MAP = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{M \cdot L_o - t \cdot (M - 0,2)} = \frac{2 \cdot 115 \cdot 1 \cdot 10}{1,3198 \cdot 1410 - 10 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 1,2434 \text{ MPa}$$

Per a un càlcul més detallat del fons inferior, consultar l'apartat D.3 Informe de càlcul Codeware Compress.

Com a resum final, s'agrupen els resultats obtinguts segons el dimensionament per pressió interna dels tres elements principals a la següent taula (Taula D. 3):

Taula D. 3: Resultats de càlcul de dimensionament per pressió interna

Element de l'equip	t _{r1} [mm]	t _{r2} [mm]	t _n [mm]	MAWP [MPa]	MAP [MPa]
Fons superior	5,04	5,49	15*	1,4682	1,8536
Envolvent	7,45	6,06	10	0,8163	1,1223
Fons inferior	5,13	5,66	10*	0,9027	1,2434

*Espessor de partida abans del conformat. Les pèrdues d'espessor degudes al procés de conformat dels fons s'han tingut en compte.

D.1.1.1.4 Tubuladures de connexió

El càlcul per al dimensionament de l'espessor de les tubuladures de connexió és pràcticament idèntic al procediment realitzat per a l'envolvent, ja que una canonada es tracta com un cilindre.

En aquest cas, donat que el procediment per a totes les tubuladures és el mateix, es realitza l'exemple de càlcul per a la connexió N1 (Transmissor de nivell).

A continuació s'exposa el procediment de càlcul per a la tubuladura N1, la qual és de NPS 2 (diàmetre exterior 60,3 mm):

$$t_r = \frac{P \cdot R_n}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} \quad (\text{Eq. 15})$$

On:

- t_r : espessor mínim requerit, en mm.
- P : pressió interna, en MPa.
- R_n : radi nominal de la canonada, en mm.
- S : tensió admissible del material, en MPa.
- E : eficiència de junta, adimensional.

$$t_r = \frac{P \cdot R_n}{S \cdot E - 0,6 \cdot P} = \frac{0,8163 \cdot 26,23}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} = 0,19 \text{ mm}$$

Segons les condicions de la prova hidràulica, l'espessor mínim de la canonada ha de ser de 0,19 mm.

En general, degut a que les tubuladures tenen valors de diàmetre reduïts, suporten millor la pressió interna. És per aquest motiu que els resultats obtinguts d'espessors mínims requerits són molt baixos. Finalment, s'escullen espessors normalitzats segons la normativa ASME B36.19, ja siguin Schedule 40S o Schedule 80S.

D'entre totes les tubuladures de connexió que disposa el reactor R-2000, es destaca la connexió N7, la qual té la finalitat de recolzar el sistema d'agitació. Per aquest cas, s'han

tingut en compte totes les càrregues estàtiques derivades de l'agitador per al seu dimensionament. Per a un càlcul més detallat de les tubuladures de connexió, consultar l'apartat D.3 Informe de càlcul Codeware Compress.

A continuació (Taula D. 4) s'adjunta la taula amb els resultats obtinguts d'espessor mínim requerit per càlcul de totes les tubuladures, així com el respectiu espessor determinat finalment.

Taula D. 4: Resultats del dimensionament de les tubuladures de connexió

Nº de tubuladura	t _r [mm]	t _n [mm]	Referència de la canonada
M1	1,73	6	DIN 28124-3 Ø508 x 6
N1	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N2	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N3	-	-	-
N4	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N5	0,0852	4,55	ASME B36.19 NPS 1 Sch80S
N6	0,36	6,02	ASME B36.19 NPS 4 Sch40S
N7	-	-	-
N8	0,15	5,08	ASME B36.19 NPS 1 ½ Sch40S
N9	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N10	0,0852	4,55	ASME B36.19 NPS 1 Sch80S
N11	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N12	0,11	4,55	ASME B36.19 NPS 1 Sch80S
N13	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N14	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N15	0,30	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N16	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N17	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N18	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N19	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N20	0,27	5,49	ASME B36.19 NPS 3 Sch40S
N21	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N22	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S
N23	0,19	3,91	ASME B36.19 NPS 2 Sch40S

D.1.1.2 Càlculs d'elements de suportació

La suportació de l'equip es duu a terme mitjançant quatre suports laterals adjunts a l'envolvent. A partir d'aquests suports, el reactor es recolza sobre la plataforma de l'edifici on s'emplaça l'equip. Així doncs, cal dimensionar adequadament aquests elements per tal de resistir les càrregues estàtiques de tot el conjunt.

El disseny dels suports s'ha realitzat tot seguint la normativa DIN 28083, la qual fa referència a suports laterals amb xapa de reforç comunament utilitzats per a la suportació d'equips a pressió, com és aquest cas. La norma esmentada permet seleccionar unes dimensions estàndards i normalitzades segons les condicions de càrrega que hagin de suportar, per la qual cosa ofereix un dimensionament amb garanties de seguretat.

Pel que fa al càlcul, s'han determinat els espessors mínims corresponents a la xapa base i a les cartelles verticals. La resta de dimensions s'acoten segons les normalitzades per la norma DIN 28083.

Per a un seguiment més acurat del procediment de càlcul referent als suports laterals, es recomana consultar l'apartat D.3 Informe de càlcul Codeware Compress.

Les dimensions finalment seleccionades pel conjunt de xapes que formen els suports laterals, segons normativa DIN 28083, són les següents (Taula D. 5). L'esquema mostrat a continuació permet localitzar cada una de les respectives cotes (Figura D. 2).

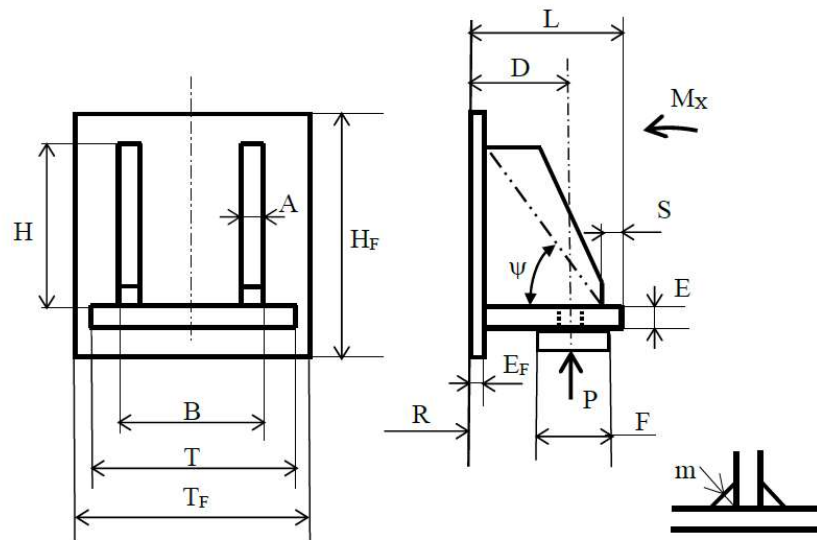


Figura D. 2: Esquema representatiu dels suports laterals (DIN 28083)



Taula D. 5: Resultats del dimensionament dels suports laterals (DIN 28083)

Element del suport	Dimensions [mm]	Mínim requerit [mm]	
Base del suport	L	380	-
	E	25	20,15
	T	260	-
	D	300	-
Cartel·les verticals (n=2)	B	234	-
	H	295	-
	A	12	1,35
	S	30	-
Xapa de reforç (envolvent)	H_F	400	-
	T_F	315	-
	E_F	12	Segons DIN 28083

Per al càlcul dels suports laterals, a banda de tenir en compte les càrregues estàtiques del propi equip, s'han considerat les càrregues induïdes per vent i sisme. Tot i això, donat que el reactor està emplaçat dins un edifici, no rep la totalitat d'aquestes sol·licitacions.

D.1.1.3 Càlculs d'elements d'hissat

Finalment, els elements restants del reactor per a dimensionar són els elements d'hissat, en els quals s'inclouen les dues orelletes d'hissat i l'orelleta de retenguda.

L'equip a pressió, durant les fases de transport i hissat, pot patir sol·licitacions mecàniques elevades que generarien deformacions permanents, per la qual cosa provocaria un impacte important a nivell econòmic i planificació. Així doncs, les fases d'hissat i instal·lació de l'equip no es poden menysprear i cal tenir-les present durant les fases de disseny. Un correcte dimensionament dels elements d'hissat és vital per poder finalitzar el projecte amb garanties de seguretat.

Cal destacar que els equips llargs i d'espessors més reduïts, com podria ser una columna de destil·lació, són més susceptibles de patir danys durant les fases d'hissat. En el cas del present projecte, l'equip es tracta d'un reactor d'espessor considerable i dimensions relativament petites, per la qual cosa és un punt a favor en referència a la seva instal·lació.

Per poder calcular les orelletes, cal tenir clar quin serà l'estat de l'equip durant el seu transport. El reactor es transportarà cap a la seva ubicació de forma horitzontal i s'instal·larà finalment en posició vertical. Així doncs, durant la fase d'hissat, serà necessari considerar que l'equip calculat adoptarà tots els angles possibles des de la posició horitzontal fins la vertical, amb els respectius esforços associats a cada un dels angles.

La següent imatge (Figura D. 3) mostra de forma esquemàtica l'hissat de l'equip. Es pot observar una de les orelletes d'hissat a la part superior del reactor i l'orelleta de retenguda a la part inferior.

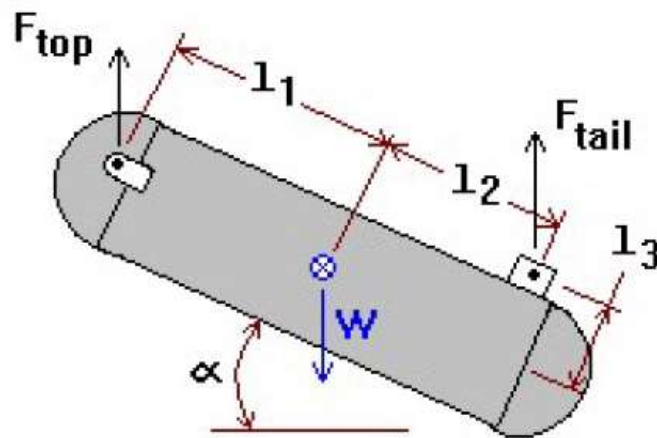


Figura D. 3: Procés d'hissat del reactor R-2000

Amb l'ajuda del programa de càlcul Codeware Compress, s'ha extret el conjunt de valors referents als esforços generats als punts d'hissat segons cada posició, de 0° (equip en horitzontal) fins als 90° (equip en vertical). Els resultats s'exposen a continuació (Taula D. 6):

Taula D. 6: Esforços als elements d'hissat segons posició de l'equip

α [°]	F_{top} [N]	F_{tail} [N]
0	8.835,9	13.265,3
15	9.581,3	11.774,4
30	10.257,6	10.421,8
45	10.964,4	9.008,3



60	11.821,2	7.294,7
75	13.068,6	4.799,8
90	15.468,5	0

El procediment de càlcul per a determinar l'espessor mínim de les orelletes ha estat el següent. Es mostra en primer lloc el càlcul de les orelletes d'hissat.

$$t_r = \frac{F_v}{D_p \cdot \sigma_b} \quad (\text{Eq. 16})$$

On:

- t_r : espessor mínim requerit, en mm.
- F_v : força vertical màxima, en N
- D_p : diàmetre del passador, en mm.
- σ_b : tensió admissible tallant de límit elàstic, en MPa.

$$t_r = \frac{F_v}{D_p \cdot \sigma_b} = \frac{15468,5}{36 \cdot 206,64} = 2,08 \text{ mm}$$

A continuació (Figura D. 4), es mostra un esquema de les orelletes d'hissat per identificar cada una de les seves dimensions. En forma de taula s'especifiquen els valors d'aquestes cotes determinades a partir del procés de càlcul (Taula D. 7).

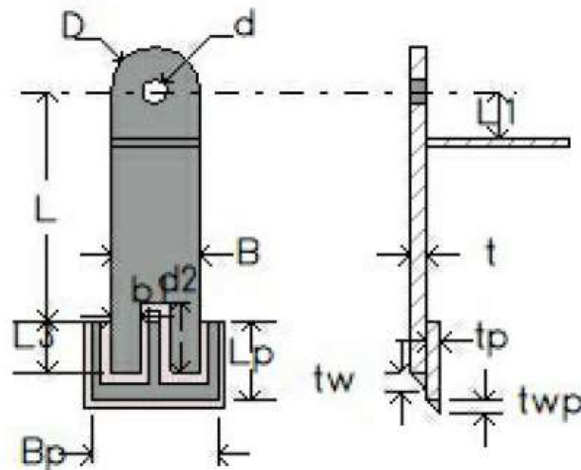


Figura D. 4: Disseny de les orelletes d'hissat

Taula D. 7: Resultats del dimensionament de les orelletes d'hissat

Element de l'orelleta	Dimensions [mm]	Mínim requerit [mm]	
Orelleta d'hissat	L	354	-
	B	142	-
	t	15	2,08
	d	38	-
	D_p	36	10,36
	D	142	-
	L₁	75	-
Soldadures	t_w	15	-
	b₁	46	-
	d₂	100	-
Xapa de reforç	B_p	202	-
	L_p	130	-
	t_p	10	-
	t_{wp}	10	-
	L₃	100	-

Per a un seguiment més acurat del procediment de càlcul referent a les orelletes d'hissat, es recomana consultar l'apartat D.3 Informe de càlcul Codeware Compress.

Pel que fa a l'orelleta de retinguda, el procediment de càlcul ha estat el mateix:

$$t_r = \frac{F_v}{D_p \cdot \sigma_b} \quad (\text{Eq. 17})$$

On:

- t_r : espessor mínim requerit, en mm.
- F_v : força vertical màxima, en N
- D_p : diàmetre del passador, en mm.
- σ_b : tensió admissible tallant de límit elàstic, en MPa.

$$t_r = \frac{F_v}{D_p \cdot \sigma_b} = \frac{13265,3}{36 \cdot 206,64} = 1,78 \text{ mm}$$



Per a un seguiment més acurat del procediment de càlcul referent a l'orelleta de retinguda, es recomana consultar l'apartat D.3 Informe de càlcul Codeware Compress.

Es mostra a continuació el respectiu esquema (Figura D. 5) i la taula amb les dimensions que s'han determinat finalment (Taula D. 8).

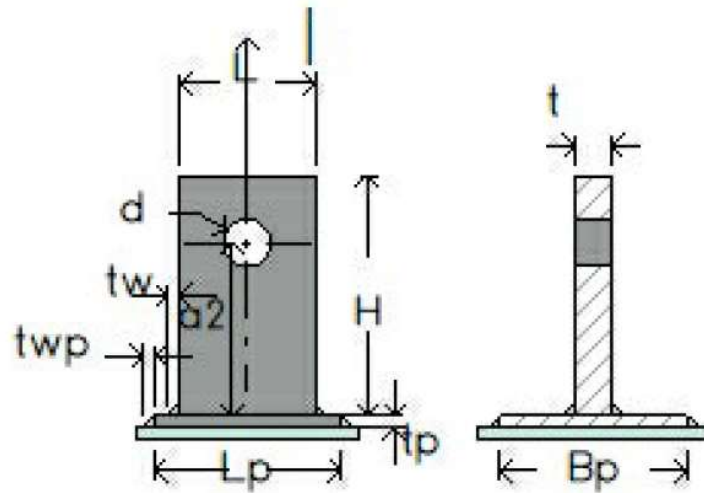


Figura D. 5: Disseny de l'orelleta de retinguda

Taula D. 8: Resultats del dimensionament de l'orelleta de retinguda

Element de l'orelleta		Dimensions [mm]	Mínim requerit [mm]
Orelleta de retinguda	L	110	-
	H	195	-
	t	15	1,78
	d	38	-
	Dp	36	9,59
	a ₁	0	-
	a ₂	140	-
Soldadures	t _w	10	-
Xapa de reforç	B _p	75	-
	L _p	150	-
	t _p	10	-
	t _{wp}	10	-

En aquest cas, les dues tipologies d'orelletes d'hissat són fabricades en acer inoxidable segons ASME SA-240 316L, la qual fa referència al material en forma de xapa.

Les respectives dimensions s'han determinat a partir dels mínims requerits per càlcul i segons la disponibilitat del subministrador de materials. En aquest cas, s'ha considerat oportú determinar un espessor de 15 mm per als elements d'hissat donat que el fons superior també està conformat amb el mateix tipus de xapa. Unificant dimensions s'aconsegueixen optimitzar els costos totals del projecte i reduir els plaços d'entrega dels proveïdors de matèries primes.

D.1.2 Elements elèctrics

Per al present projecte no es realitzarà la fabricació de cap tipus d'element i component elèctric. Així doncs, no es podrà realitzar cap càlcul al respecte, en quant al disseny d'aquests.

D.1.3 Elements de control

Per al present projecte no es realitzarà la fabricació de cap tipus d'element i component de control. Així doncs, no es podrà realitzar cap càlcul al respecte, en quant al disseny d'aquests.

D.2 Quadre resum de requeriments

D.2.1 Components i elements comprats

El projecte de disseny i fabricació d'un recipient a pressió està sotmès a una normativa estricta, per la qual cosa, la majoria dels elements que componen l'equip són peces normalitzades que poden ser adquirides fàcilment al mercat per part dels proveïdors.

Tot seguit, s'enumeren cada un dels elements normalitzats que s'han comprat amb una petita descripció. Per a una millor organització, aquests s'han agrupat per diversos subgrups.

D.2.1.1 Brides

- Brida ASME B16.5 Welding Neck NPS 1 Class 150.

Brida de coll segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal una polzada (25 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Welding Neck NPS 1 ½ Class 150.



Brida de coll segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal una polzada i mitja (40 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Welding Neck NPS 2 Class 150.

Brida de coll segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal dues polzades (50 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Blind NPS 2 Class 150.

Brida cega segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal dues polzades (50 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Slip-On NPS 2 Class 150.

Brida lliscant segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal dues polzades (50 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Welding Neck NPS 3 Class 150.

Brida de coll segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal tres polzades (80 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Blind NPS 3 Class 150.

Brida cega segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal tres polzades (80 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Welding Neck NPS 4 Class 150.

Brida de coll segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal quatre polzades (100 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida ASME B16.5 Slip-On NPS 20 Class 150.

Brida lliscant segons norma ASME B16.5 de diàmetre nominal vint polzades (500 mm) i classe 150. La classe indica el rating de la brida, en aquest cas, equivalent a PN16 bar. Fabricada en acer inoxidable de forja A182 F316L.

- Brida DIN 28124-3 & 4 DN500

Conjunt de boca d'home format per brida i sistema de tancament per pescant. Diàmetre nominal DN500 i fabricat en acer inoxidable 1.4404 (equivalent a A182 F316L).

- Brida DIN 28117 DN200

Brida plana per a sortida de producte de diàmetre nominal DN200 fabricada en acer inoxidable 1.4404 (equivalent a A182 F316L).

- Brida DIN 28137-1 DN400

Brida per a la connexió d'unitats d'agitació. En aquest cas, presenta un diàmetre nominal DN400 per tal de poder acoblar l'agitador a la part superior de l'equip.

D.2.1.2 Juntas

- Junta espiro metàl·lica ASME B16.20 NPS 3 Class 150

Junta fabricada en grafit i acer inoxidable de diàmetre nominal tres polzades (80 mm).

- Junta espiro metàl·lica ASME B16.20 NPS 20 Class 150

Junta fabricada en grafit i acer inoxidable de diàmetre nominal vint polzades (500 mm).

- Junta ASME B16.21 NPS 2 Class 150

Junta fabricada en PTFE (tefló) de diàmetre nominal dues polzades (50 mm).

D.2.1.3 Cargolam

- Cargol hexagonal M6 x 20 – 8.8 DIN 933

Cargol mètric hexagonal de mètrica 6 i una longitud de 20 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.

- Cargol hexagonal M16 x 40 – 8.8 DIN 933

Cargol mètric hexagonal de mètrica 16 i una longitud de 40 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.

- Cargol hexagonal M16 x 50 – 8.8 DIN 933

Cargol mètric hexagonal de mètrica 16 i una longitud de 50 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.

- Cargol hexagonal M16 x 80 – 8.8 DIN 933

Cargol mètric hexagonal de mètrica 16 i una longitud de 80 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.

- Cargol d'ull M20 x 280 – 8.8 DIN 444

Cargol mètric d'ull de mètrica 20 i una longitud de 280 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.

- Espàrrec M16 x 100 – 8.8 DIN 976

Espàrrec de mètrica 16 i una longitud de 100 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.



- Espàrrec M24 x 150 – 8.8 DIN 976
Espàrrec de mètrica 24 i una longitud de 150 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Femella hexagonal M16 – 8.8 DIN 934
Femella hexagonal de mètrica 16, amb qualitat 8.8 i fabricada en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Femella hexagonal M24 – 8.8 DIN 934
Femella hexagonal de mètrica 20, amb qualitat 8.8 i fabricada en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Femella de càncam M20 – 8.8 DIN 582
Femella de càncam de mètrica 20, amb qualitat 8.8 i fabricada en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Volandera M16 – 8.8 DIN 125
Volandera plana per a mètrica 16, amb qualitat 8.8 i fabricada en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Volandera M24 – 8.8 DIN 125
Volandera plana per a mètrica 24, amb qualitat 8.8 i fabricada en acer tipus ASME SA-193 B7.
- Passador d'aletes Ø8 x 45 – 8.8 DIN 94
Passador d'aletes de diàmetre 8 mm i una longitud de 45 mm, amb qualitat 8.8 i fabricat en acer tipus ASME SA-193 B7.

D.2.2 Components i elements fabricats

Els components fabricats, dels quals s'ha determinat i justificat el seu dimensionament a partir del procediment de càlcul a l'apartat anterior, són els següents:

- Fons superior.
- Envoltent.
- Fons inferior.
- Tubuladures de connexió.
- Suports laterals del reactor.
- Orelletes d'hissat.
- Orelleta de retinguda.

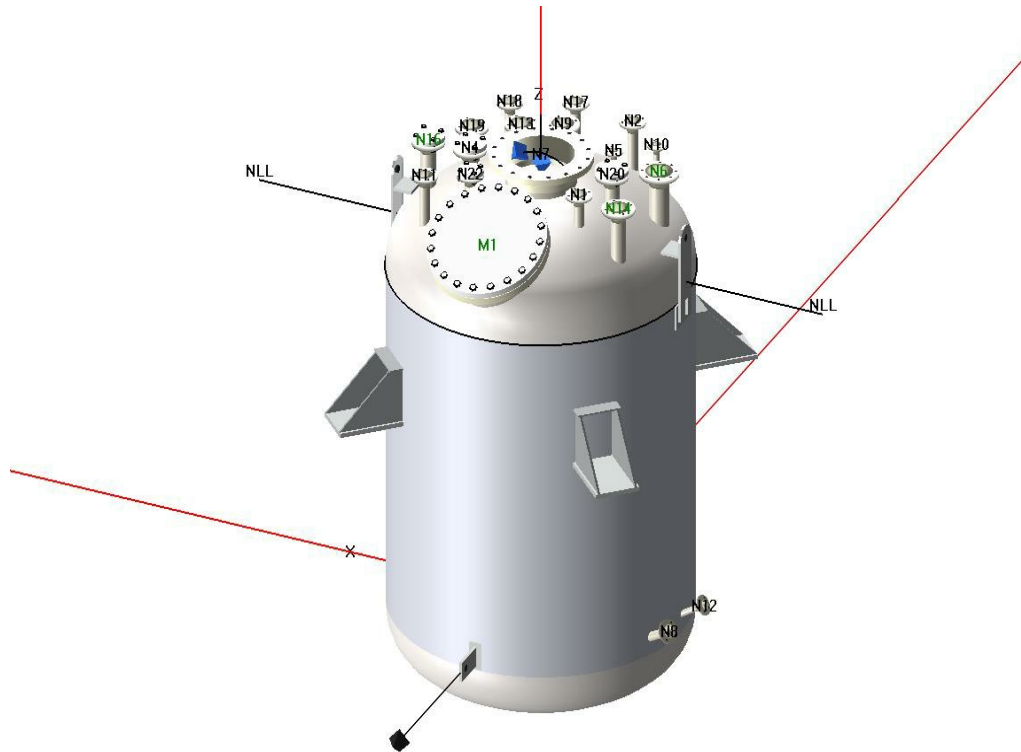
D.3 Informe de càlcul Codeware Compress

Els càlculs d'aquest projecte s'han realitzat a partir del *software* de càlcul Compress, propietat de l'empresa americana Codeware. Aquest programa informàtic permet dissenyar qualsevol tipus de recipient a pressió sota la normativa desitjada, en aquest cas el codi de disseny ASME.

Permet extreure un informe de justificació de càlculs detallat, amb tot el procediment organitzat per elements, tenint en compte les dimensions de l'equip i les condicions de disseny determinades. Aquest es pot consultar a continuació del present apartat.



FLUOR Plant Engineering, S.A.



CÀLCULS ESTÀTICS DEL REACTOR R-2000

Item: PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ
PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

Customer: FLUOR Plant Engineering, S.A. - Universitat Rovira i Virgili

Designer: Adrià Bustamante Garriga

Date: 28/03/2022

Class: R - Reactor

Table of Contents

Nozzle Summary	1
Nozzle Schedule	2
Pressure Summary	3
Settings Summary	5
Radiography Summary	7
Thickness Summary	9
Weight Summary	10
Long Seam Summary	11
Test Report	12
Foundation Load Summary	13
Bill of Materials	14
Seismic Code	16
Wind Code	18
Liquid Level bounded by FI	19
FS	20
Straight Flange on FS	22
M1 (M1)	36
Brida boca d'home	56
Tapa boca d'home	65
N7 (N7)	67
Brida agitador	92
N1 (N1)	101
N2 (N2)	117
N4 (N4)	127
N5 (N5)	145
N6 (N6)	155
N9 (N9)	175
N10 (N10)	193
N11 (N11)	203
N13 (N13)	213
N14 (N14)	231

N16 (N16)	243
N17 (N17)	263
N18 (N18)	273
N19 (N19)	283
N20 (N20)	301
N22 (N22)	319
Envolvent	337
N8 (N8)	361
N12 (N12)	373
N15 (N15)	383
Suports	393
Orelletes d'hissat	400
Orelleta de retinguda	415
Straight Flange on FI	425
FI	439
N3 (N3)	441

Nozzle Summary

Dimensions												
Nozzle mark	OD (mm)	t _n (mm)	Req t _n (mm)	A ₁ ?	A ₂ ?	Shell			Reinforcement Pad		Corr (mm)	A _a /A _r (%)
						Nom t (mm)	Design t (mm)	User t (mm)	Width (mm)	t _{pad} (mm)		
M1	508	12,7	9,93	Yes	Yes	15*	10,72		60	15	1,6	100,0
N1	60,33	5,54	5,02	Yes	Yes	15*	8,69		N/A	N/A	1,6	100,0
N10	33,4	6,35	4,56	Yes	Yes	15*	N/A		N/A	N/A	1,6	Exempt
N11	60,33	5,54	5,02	Yes	Yes	15*	N/A		N/A	N/A	1,6	Exempt
N12	33,4	3,38	1,8	Yes	Yes	10	N/A		N/A	N/A	1,6	Exempt
N13	88,9	7,62	6,4	Yes	Yes	15*	9,67		N/A	N/A	1,6	100,0
N14	88,9	7,62	6,4	Yes	Yes	15*	11,28		20	5	1,6	100,0
N15	88,9	5,49	2,13	Yes	Yes	10	N/A		N/A	N/A	1,6	Exempt
N16	88,9	7,62	6,4	Yes	Yes	15*	10,55		20	5	1,6	100,0
N17	60,33	5,54	5,02	Yes	Yes	15*	N/A		N/A	N/A	1,6	Exempt
N18	60,33	5,54	5,02	Yes	Yes	15*	N/A		N/A	N/A	1,6	Exempt
N19	88,9	7,62	6,4	Yes	Yes	15*	9,59		N/A	N/A	1,6	100,0
N2	60,33	5,54	5,02	Yes	Yes	15*	N/A		N/A	N/A	1,6	Exempt
N20	88,9	7,62	6,4	Yes	Yes	15*	9,67		N/A	N/A	1,6	100,0
N22	60,33	5,54	5,02	Yes	Yes	15*	9,14		N/A	N/A	1,6	100,0
N3	215,9	63,5	8,76	Yes	Yes	10*	8,99		N/A	N/A	1,6	100,0
N4	88,9	7,62	6,4	Yes	Yes	15*	9,67		N/A	N/A	1,6	100,0
N5	33,4	6,35	4,56	Yes	Yes	15*	N/A		N/A	N/A	1,6	Exempt
N6	114,3	8,56	6,87	Yes	Yes	15*	10,88		20	8	1,6	100,0
N7	406,4	26,19	9,93	Yes	Yes	15*	9,85		N/A	N/A	1,6	100,0
N8	48,26	5,08	4,82	Yes	Yes	10	N/A		N/A	N/A	1,6	Exempt
N9	88,9	7,62	6,4	Yes	Yes	15*	9,67		N/A	N/A	1,6	100,0

*Head minimum thickness after forming

Definitions	
t _n	Nozzle thickness
Req t _n	Nozzle thickness required per UG-45/UG-16
Nom t	Vessel wall thickness
Design t	Required vessel wall thickness due to pressure + corrosion allowance per UG-37
User t	Local vessel wall thickness (near opening)
A _a	Area available per UG-37, governing condition
A _r	Area required per UG-37, governing condition
Corr	Corrosion allowance on nozzle wall

Nozzle Schedule

Specifications										
Nozzle mark	Identifier	Size	Service	Materials		Impact Tested	Normalized	Fine Grain	Flange	Blind
M1	M1	NPS 20 Sch 80S (XS) DN 500	MW	Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	App 2 Weld Neck Integral SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)
				Pad	SA-516 70	No	No	No		
N1	N1	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 2 Class 150 WN A182 F316L	No
N10	N10	NPS 1 Sch 160 DN 25		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 1 Class 150 WN A182 F316L	No
N11	N11	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 2 Class 150 WN A182 F316L	No
N12	N12	NPS 1 Sch 40S (Std) DN 25		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 1 Class 150 WN A182 F316L	No
N13	N13	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L	No
N14	N14	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L	No
				Pad	SA-240 316L	No	No	No		
N15	N15	NPS 3 Sch 40S (Std) DN 80		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L	No
N16	N16	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L	NPS 3 Class 150 A182 F316L
				Pad	SA-240 316L	No	No	No		
N17	N17	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 2 Class 150 WN A182 F316L	No
N18	N18	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 2 Class 150 WN A182 F316L	No
N19	N19	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L	No
N2	N2	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 2 Class 150 WN A182 F316L	No
N20	N20	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L	NPS 3 Class 150 A182 F316L
N22	N22	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 2 Class 150 WN A182 F316L	NPS 2 Class 150 A182 F316L
N3	N3	215,9 OD x 63,5		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	N/A	No
N4	N4	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L	NPS 3 Class 150 A182 F316L
N5	N5	NPS 1 Sch 160 DN 25		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 1 Class 150 WN A182 F316L	No
N6	N6	NPS 4 Sch 80S (XS) DN 100		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 4 Class 150 WN A182 F316L	No
				Pad	SA-240 316L	No	No	No		
N7	N7	NPS 16 Sch 100 DN 400		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	App 2 Weld Neck Integral SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No
N8	N8	NPS 1,5 Sch 80S (XS) DN 40		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 1 1/2 Class 150 WN A182 F316L	No
N9	N9	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80		Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	No	No	No	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L	No

Pressure Summary

Component Summary								
Identifier	P Design (MPa)	T Design (°C)	MAWP (MPa)	MAP (MPa)	MDMT (°C)	MDMT Exemption	Impact Tested	
FS	0,4234	260	1,4682	1,8536	-196	Note 1	No	
Straight Flange on FS	0,4234	260	1,5707	1,985	-196	Note 1	No	
Envolvent	0,4234	260	0,8163	1,1223	-196	Note 1	No	
Straight Flange on F1	0,4234	260	0,9634	1,3203	-196	Note 1	No	
F1	0,4234	260	0,9027	1,2434	-196	Note 1	No	
Suports	0,4234	260	0,8163	N/A	N/A	N/A	N/A	
M1 (M1)	0,4234	260	0,997	1,274	-48	Nozzle	Note 2	No
						Pad	Note 3	No
Brida boca d'home	0,4234	260	1,9522	2,9837	-48	Note 4	No	
Brida boca d'home - Flange Hub	0,4234	260	3,3531	5,1209	-196	Note 5	No	
Tapa boca d'home	0,4234	260	0,8764	1,3384	-196	Note 1	No	
N1 (N1)	0,4234	260	1,0203	1,59	-48	Note 6	No	
N10 (N10)	0,4234	260	1,04	1,59	-48	Note 6	No	
N11 (N11)	0,4234	260	1,04	1,59	-48	Note 6	No	
N12 (N12)	0,4234	260	0,9646	1,3203	-48	Note 6	No	
N13 (N13)	0,4234	260	1,04	1,5711	-48	Note 6	No	
N14 (N14)	0,4234	260	1,04	1,3906	-48	Nozzle	Note 6	No
						Pad	Note 1	No
N15 (N15)	0,4234	260	0,9644	1,1223	-48	Note 6	No	
N16 (N16)	0,4234	260	0,9781	1,3906	-48	Nozzle	Note 6	No
						Pad	Note 1	No
N17 (N17)	0,4234	260	1,04	1,59	-48	Note 6	No	
N18 (N18)	0,4234	260	1,04	1,59	-48	Note 6	No	
N19 (N19)	0,4234	260	1,04	1,5592	-48	Note 6	No	
N2 (N2)	0,4234	260	1,04	1,59	-48	Note 6	No	
N20 (N20)	0,4234	260	1,04	1,5711	-48	Note 6	No	
N22 (N22)	0,4234	260	1,0203	1,485	-48	Note 6	No	
N3 (N3)	0,4234	260	1,0492	1,6405	-48	Note 7	No	
N4 (N4)	0,4234	260	1,04	1,5711	-48	Note 6	No	
N5 (N5)	0,4234	260	1,04	1,59	-48	Note 6	No	
N6 (N6)	0,4234	260	1,0147	1,4195	-48	Nozzle	Note 6	No
						Pad	Note 1	No
N7 (N7)	0,4234	260	1,0234	1,6013	-196	Note 1	No	
Brida agitador	0,4234	260	1,6998	2,596	-48	Note 8	No	
Brida agitador - Flange Hub	0,4234	260	4,2101	6,4297	-196	Note 9	No	
N8 (N8)	0,4234	260	0,9646	1,3203	-48	Note 6	No	
N9 (N9)	0,4234	260	1,04	1,5711	-48	Note 6	No	

Chamber Summary	
Design MDMT	-10 °C
Rated MDMT	-48 °C @ 0,8163 MPa
MAWP hot & corroded	0,8163 MPa @ 260 °C
MAP cold & new	1,1223 MPa @ 20 °C
(1) This pressure chamber is not designed for external pressure.	

Notes for MDMT Rating		
Note #	Exemption	Details
1.	Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	
2.	Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,156)	
3.	Pad impact test exemption temperature from Fig UCS-66M Curve B = -16,69°C Fig UCS-66.1M MDMT reduction = 32,2°C, (coincident ratio = 0,495) Rated MDMT of -48,89°C is limited to -48°C by UCS-66(b)(2)	UCS-66 governing thickness = 15 mm.
4.	Flange Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,2736)	Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C
5.	Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,1618)	
6.	Flange rating governs: Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	
7.	Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C
8.	Flange Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,3144)	Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C
9.	Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,1294)	

Settings Summary

COMPRESS 2022 Build 8200	
ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric	
Units	SI
Datum Line Location	0,00 mm from bottom seam
Vessel Design Mode	Rating Mode (Analysis)
Minimum thickness	1,5 mm per UG-16(b)
Design for cold shut down only	No
Design for lethal service (full radiography required)	No
Design nozzles for	Larger of MAWP or MAP
Corrosion weight loss	100% of theoretical loss
UG-23 Stress Increase	1,20
Skirt/legs stress increase	1,0
Minimum nozzle projection	152,4 mm
Juncture calculations for $\alpha > 30$ only	Yes
Preheat P-No 1 Materials $> 1,25"$ and $\leq 1,50"$ thick	No
UG-37(a) shell tr calculation considers longitudinal stress	No
Cylindrical shells made from pipe are entered as minimum thickness	No
Nozzles made from pipe are entered as minimum thickness	Yes
ASME B16.9 fittings are entered as minimum thickness	No
Butt welds	Tapered per Figure UCS-66.3(a)
Disallow Appendix 1-5, 1-8 calculations under 15 psi	No
Hydro/Pneumatic Test	
Shop Hydrotest at user defined pressure	0,8 MPa
Test liquid specific gravity	1,00
Maximum stress during test	90% of yield
Required Marking - UG-116	
UG-116(e) Radiography	RT4
UG-116(f) Postweld heat treatment	None
Code Cases\Interpretations	
Use Appendix 46	No
Use UG-44(b)	No
Apply interpretation VIII-1-83-66	Yes
Apply interpretation VIII-1-86-175	Yes
Apply interpretation VIII-1-01-37	Yes
Apply interpretation VIII-1-01-150	Yes
Apply interpretation VIII-1-07-50	Yes
Apply interpretation VIII-1-16-85	No
No UCS-66.1 MDMT reduction	No
No UCS-68(c) MDMT reduction	No
Disallow UG-20(f) exemptions	No
UG-22 Loadings	
UG-22(a) Internal or External Design Pressure	Yes
UG-22(b) Weight of the vessel and normal contents under operating or test conditions	Yes
UG-22(c) Superimposed static reactions from weight of attached equipment (external loads)	No
UG-22(d)(2) Vessel supports such as lugs, rings, skirts, saddles and legs	Yes
UG-22(f) Wind reactions	Yes
UG-22(f) Seismic reactions	Yes
UG-22(j) Test pressure and coincident static head acting during the test:	No
Note: UG-22(b),(c) and (f) loads only considered when supports are present.	

Note 2: UG-22(d)(1),(e),(f)-snow,(g),(h),(i) are not considered. If these loads are present, additional calculations must be performed.

License Information	
Company Name	Fluor Enterprises, Inc.
License	Enterprise
License Key ID	33549
Support Expires	April 13, 2023

Radiography Summary

UG-116 Radiography							
Component	Longitudinal Seam		Top Circumferential Seam		Bottom Circumferential Seam		Mark
	Category (Fig UW-3)	Radiography / Joint Type	Category (Fig UW-3)	Radiography / Joint Type	Category (Fig UW-3)	Radiography / Joint Type	
FS	A	User Defined (E = 1,00)	N/A	N/A	B	User Defined (E = 1,00)	RT1
Tapa boca d'home	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	N/A	N/A	N/A
Envolvent	A	User Defined (E = 0,85)	B	User Defined (E = 1,00)	B	User Defined (E = 1,00)	RT4
F1	A	User Defined (E = 1,00)	B	User Defined (E = 1,00)	N/A	N/A	RT1
Nozzle	Longitudinal Seam		Nozzle to Vessel Circumferential Seam		Nozzle free end Circumferential Seam		
M1 (M1)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	Full UW-11(a) / Type 1	RT1
N7 (N7)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	Full UW-11(a) / Type 1	RT1
N1 (N1)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N2 (N2)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N4 (N4)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N5 (N5)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N6 (N6)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N9 (N9)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N10 (N10)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N11 (N11)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N13 (N13)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N14 (N14)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N16 (N16)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N17 (N17)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N18 (N18)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N19 (N19)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N20 (N20)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N22 (N22)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N8 (N8)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N12 (N12)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N15 (N15)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
N3 (N3)	N/A	Seamless No RT	D	N/A / Type 7	N/A	N/A	N/A
Nozzle Flange	Longitudinal Seam		Flange Face		Nozzle to Flange Circumferential Seam		
Brida boca d'home	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	Full UW-11(a) / Type 1	RT1
Brida agitador	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	Full UW-11(a) / Type 1	RT1

ASME B16.5/16.47 flange attached to N1 (N1)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N2 (N2)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N4 (N4)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N5 (N5)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N6 (N6)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N9 (N9)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N10 (N10)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N11 (N11)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N13 (N13)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N14 (N14)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N16 (N16)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N17 (N17)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N18 (N18)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N19 (N19)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N20 (N20)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N22 (N22)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N8 (N8)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N12 (N12)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
ASME B16.5/16.47 flange attached to N15 (N15)	N/A	Seamless No RT	N/A	N/A / Gasketed	C	UW-11(a)(4) exempt / Type 1	N/A
UG-116(e) Required Marking: RT4							

Thickness Summary

Component Data								
Component Identifier	Material	Diameter (mm)	Length (mm)	Nominal t (mm)	Design t (mm)	Total Corrosion (mm)	Joint E	Load
FS	SA-240 316L	1.750 OD	450,48	15*	5,49	1,6	1,00	Internal
Straight Flange on FS	SA-240 316L	1.750 OD	45	15	5,23	1,6	1,00	Internal
Envolvent	SA-240 316L	1.750 OD	1.900	10	6,06	1,6	0,85	Internal
Straight Flange on FJ	SA-240 316L	1.750 OD	30	10	5,39	1,6	1,00	Internal
FJ	SA-240 316L	1.750 OD	449,06	10*	5,67	1,6	1,00	Internal
Tapa boca d'home	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	698,5 OD	40	40	31,29	0	1,00	Internal

*Head minimum thickness after forming

Definitions	
Nominal t	Vessel wall nominal thickness
Design t	Required vessel thickness due to governing loading + corrosion
Joint E	Longitudinal seam joint efficiency
Load	
Internal	Circumferential stress due to internal pressure governs
External	External pressure governs
Wind	Combined longitudinal stress of pressure + weight + wind governs
Seismic	Combined longitudinal stress of pressure + weight + seismic governs

Weight Summary

Weight (kg) Contributed by Vessel Elements											
Component	Metal New*	Metal Corroded	Insulation	Insulation Supports	Lining	Piping + Liquid	Operating Liquid		Test Liquid		Surface Area m ²
							New	Corroded	New	Corroded	
FS	377,6	338,1	0	0	0	0	231,4	232,2	821,2	827,6	3,43
Envolvent	833	700,3	0	0	0	0	4.374	4.390,3	4.463,2	4.479,9	10,44
FI	275,6	232	0	0	0	0	733,1	738,5	748,1	753,6	3,7
Suports	134,3	134,3	0	0	0	0	0	0	0	0	2,19
TOTAL:	1.620,5	1.404,8	0	0	0	0	5.338,5	5.361	6.032,6	6.061,1	19,76

*Shells with attached nozzles have weight reduced by material cut out for opening.

Weight (kg) Contributed by Attachments											
Component	Body Flanges		Nozzles & Flanges		Packed Beds	Ladders & Platforms	Trays	Tray Supports	Rings & Clips	Vertical Loads	Surface Area m ²
	New	Corroded	New	Corroded							
FS	0	0	437,4	426,7	0	0	0	0	0	0	2,93
Envolvent	0	0	10,4	9,5	0	0	0	0	25,1	0	0,44
FI	0	0	9,8	9,7	0	0	0	0	0	0	0,02
TOTAL:	0	0	457,6	445,9	0	0	0	0	25,1	0	3,39

Vessel Totals		
	New	Corroded
Operating Weight (kg)	7.442	7.237
Empty Weight (kg)	2.103	1.876
Test Weight (kg)	8.136	7.937
Surface Area (m ²)	23,15	-
Capacity** (liters)	5.987	6.014

**The vessel capacity does not include volume of nozzle, piping or other attachments.

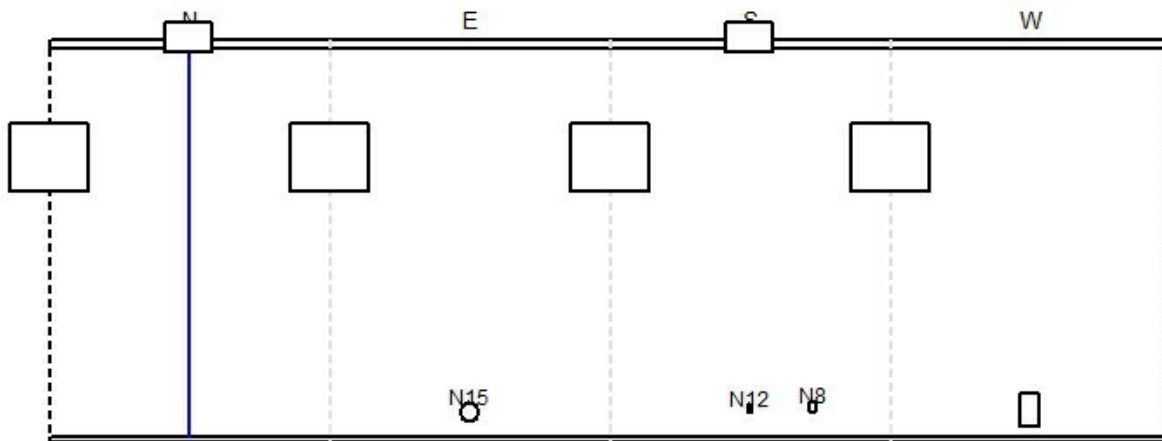
Vessel Lift Condition	
Vessel Lift Weight, New (kg)	2.103
Center of Gravity from Datum (mm)	1.323,97

Long Seam Summary

Shell Long Seam Angles	
Component	Seam 1
Envolvent	0°

Shell Plate Lengths		
Component	Starting Angle	Plate 1
Envolvent	0°	5.466,37 mm

Notes
1) Plate Lengths use the circumference of the vessel based on the mid diameter of the components. 2) North is located at 0°



Shell Rollout

Test Report

Vertical shop test based on user defined pressure

Gauge pressure at 20°C = 0,8 MPa

Vertical shop test		
Identifier	Local test pressure (MPa)	Test liquid static head (MPa)
FS	0,8063	0,0063
Straight Flange on FS	0,8063	0,0063
Envolvent	0,8249	0,0249
Straight Flange on FI	0,8252	0,0252
FI	0,8295	0,0295
Brida agitador - Flange Hub	0,8014	0,0014
Brida boca d'home - Flange Hub	0,804	0,004
Brida agitador	0,8014	0,0014
Tapa boca d'home	0,8028	0,0028
Brida boca d'home	0,804	0,004
M1 (M1)	0,804	0,004
N1 (N1)	0,8021	0,0021
N10 (N10)	0,8031	0,0031
N11 (N11)	0,8031	0,0031
N12 (N12)	0,8239	0,0239
N13 (N13)	0,8021	0,0021
N14 (N14)	0,8031	0,0031
N15 (N15)	0,8241	0,0241
N16 (N16)	0,8031	0,0031
N17 (N17)	0,8031	0,0031
N18 (N18)	0,8031	0,0031
N19 (N19)	0,8025	0,0025
N2 (N2)	0,8031	0,0031
N20 (N20)	0,8021	0,0021
N22 (N22)	0,8021	0,0021
N3 (N3)	0,8299	0,0299
N4 (N4)	0,8021	0,0021
N5 (N5)	0,8021	0,0021
N6 (N6)	0,8031	0,0031
N7 (N7)	0,8014	0,0014
N8 (N8)	0,824	0,024
N9 (N9)	0,8021	0,0021
(1) UG-99(i): Custom flange assemblies shall be tested with gaskets having identical geometries and gasket factors, and bolting having identical allowable stress at room temperature as used in the design calculations.		

The field test condition has not been investigated.

The test temperature of 20 °C is warmer than the minimum recommended temperature of -31 °C so the brittle fracture provision of UG-99(h) has been met.

Foundation Load Summary

Supports: Total Loading at Base				
Load	Vessel Condition	Base Shear (N)	Base Moment (N-m)	Vertical Force (N)
Weight	Operating, Corroded	0	1.435,3	70.968,6
Weight	Operating, New	0	1.433,2	72.977
Wind	Operating, Corroded	958,7	1.964,6	70.968,6
Wind	Operating, New	958,7	1.962,5	72.977
Wind	Empty, Corroded	958,7	1.964,6	18.395,3
Wind	Empty, New	958,7	1.962,5	20.624,7
Seismic	Operating, Corroded	35.484,3	9.851,1	85.162,3
Seismic	Operating, New	36.488,5	10.090,1	87.572,4
Seismic	Empty, Corroded	9.197,7	3.189,3	22.074,4
Seismic	Empty, New	10.312,3	2.875,9	24.749,6

Shear and moment values reported above are presented without applicable load combination factors.

Vertical Force values in the Seismic case include the user defined vertical acceleration factor (compressive) as described in the Seismic Code report.

Support Information	
Support Type	Support Lugs
Number of Support Elements (Base Plates)	4
Base Plate Length	260 mm
Base Plate Width	378 mm
Base Plate Thickness	25 mm
Number of Anchor Bolts Per Base Plate	2
Bolt Circle Diameter	1.978,6 mm
Bolt Size and Type	M20 x 2.5
Bolt Hole Clearance	9,52 mm
Center of Gravity (Distance from Support Base)	123,97 mm

Bill of Materials

Heads / Covers						
Item #	Type	Material	Thk [mm]	Dia. [mm]	Wt. [kg] (ea.)	Qty
H1	F&D Head	SA-240 316L	15 (min.)	1.750 OD	426,3	1
H2	F&D Head	SA-240 316L	10 (min.)	1.750 OD	278,6	1
H3	Bolted Cover	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	40	698,5 OD	123	1
H4	ASME B16.5/B16.47 Blind NPS 3 Class 150	A182 F316L	23,88	190,5 OD	4,5	3
H5	ASME B16.5/B16.47 Blind NPS 2 Class 150	A182 F316L	19,05	152,4 OD	2,7	1

Shells							
Item #	Type	Material	Thk [mm]	Dia. [mm]	Length [mm]	Wt. [kg] (ea.)	Qty
S1	Cylinder	SA-240 316L	10	1.750 OD	1.900	833,7	1

Nozzles							
Item #	Type	Material	NPS	Thk [mm]	Dia. [mm]	Length [mm]	Wt. [kg]
Noz1	Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	NPS 20 Sch 80S (XS) DN 500	12,7	508 OD	87	26,3
Noz2	Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	NPS 16 Sch 100 DN 400	26,19	406,4 OD	47	11,8
Noz3	Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50	5,54	60,33 OD	1.234	9,4
Noz4	Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80	7,62	88,9 OD	1.187	18,5
Noz5	Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	NPS 1 Sch 160 DN 25	6,35	33,4 OD	378	1,6
Noz6	Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	NPS 4 Sch 80S (XS) DN 100	8,56	114,3 OD	246	6,2
Noz7	Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	NPS 1,5 Sch 80S (XS) DN 40	5,08	48,26 OD	128	0,7
Noz8	Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	NPS 1 Sch 40S (Std) DN 25	3,38	33,4 OD	126	0,3
Noz9	Nozzle	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	NPS 3 Sch 40S (Std) DN 80	5,49	88,9 OD	141	1,6

Nozzles - Studding Outlets								
Item #	Type	Material	# Bolts	Thk [mm]	Dia. [mm]	Wt. [kg]	Qty	
SP1	Studding Outlet Custom Size - Contoured Base	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	8	42	215,9 OD x 88,9 ID	9,8	1	

Flanges							
Item #	Type	Material	NPS	Dia. [mm]	Wt. [kg] (ea.)	Qty	
AF1	ASME B16.5 Welding Neck - Class 150	A182 F316L	2	152,4 x 52,58	2,7	6	
AF2	ASME B16.5 Welding Neck - Class 150	A182 F316L	3	190,5 x 77,98	4,5	8	
AF3	ASME B16.5 Welding Neck - Class 150	A182 F316L	1	107,95 x 26,67	1,4	3	
AF4	ASME B16.5 Welding Neck - Class 150	A182 F316L	4	228,6 x 102,36	6,8	1	
AF5	ASME B16.5 Welding Neck - Class 150	A182 F316L	1 1/2	127 x 40,89	1,8	1	
CF1	Weld neck integral	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	-	698,5 x 482,6	100,3	1	
CF2	Weld neck integral	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress)	-	596,9 x 381	65,7	1	

Gaskets				
Item #	Type	Size [mm]	Thk [mm]	Qty
G1	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite (ASME B16.20 Kammpofile)	NPS 2 - Class 150	4,44	6
G2	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite (ASME B16.20 Kammpofile)	NPS 3 - Class 150	4,44	7
G3	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite (ASME B16.20 Kammpofile)	NPS 1 - Class 150	4,44	3
G4	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite (ASME B16.20 Kammpofile)	NPS 4 - Class 150	4,44	1
G5	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite (ASME B16.20 Kammpofile)	NPS 1 1/2 - Class 150	4,44	1
G6	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite (Kammpofile)	560 x 520	4,44	1
G7	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite (Kammpofile)	490 x 450	4,44	1

There is 1 flange that does not include gasket information.

Fasteners				
Item #	Description	Material	Length [mm]	Qty
FB1	Studding Outlet Bolts 15,88 mm dia.	SA-193 B7 Bolt <= 64	-	8
FB2	M24 x 3	SA-193 B7 Bolt <= 64	159	20
FB3	M27 x 3	SA-193 B7 Bolt <= 64	108	16
FB4	5/8" coarse bolt	SA-193 B7 Bolt <= 64	70	24
FB5	5/8" coarse bolt	SA-193 B7 Bolt <= 64	76	40
FB6	1/2" coarse bolt	SA-193 B7 Bolt <= 64	57	12
FB7	1/2" coarse bolt	SA-193 B7 Bolt <= 64	64	4
SB1	M20 x 2.5	Support Lug bolt material	-	8

All listed flange bolts require associated nuts and washers in accordance with Division 1, UCS-11.

Plates				
Item #	Material	Thk [mm]	Wt. [kg]	Qty [m²]
Plate1	SA-516 70	15	61,6	0,31
Plate1 - Note: Applies to nozzle pad				
Plate2	SA-240 316L	8	3,8	0,0187
Plate2 - Note: Applies to nozzle pad				
Plate3	SA-240 316L	5	5,3	0,0261
Plate3 - Note: Applies to nozzle pad				
Plate4	SA-240 316L	25	77	0,39
Plate4 - Note: Applies to support lug plates				
Plate5	SA-240 316L	10	9,5	0,1207
Plate5 - Note: Applies to support lug plates, lift lug pad plates				
Plate6	SA-240 316L	12	50,8	0,54
Plate6 - Note: Applies to support lug plates				
Plate7	SA-240 316L	15	10,3	0,0859
Plate7 - Note: Applies to lift lug plates				

Seismic Code

Building Code: User-defined		
Base Shear Multiplier	0,5000	
Portion at Top	0,0700	
Vertical Accelerations Considered	Yes	
Force Multiplier	0,3333	
Minimum Weight Multiplier	0,2000	
Hazardous, toxic, or explosive contents	No	
Vessel Characteristics		
Height	3,9222 ft (1,20 m)	
Weight	Operating, Corroded	15.954 lb (7.237 kg)
	Empty, Corroded	4.135 lb (1.876 kg)
Period of Vibration Calculation		
Fundamental Period, T	Operating, Corroded	0,004 sec (f = 259,4 Hz)
	Empty, Corroded	0,002 sec (f = 524,6 Hz)

The fundamental period of vibration T (above) is calculated using the Rayleigh method of approximation

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\sum (W_i \cdot y_i^2)}{g \cdot \sum (W_i \cdot y_i)}}, \text{ where}$$

W_i is the weight of the i^{th} lumped mass, and
 y_i is its deflection when the system is treated as a cantilever beam.

Seismic Shear Reports:

[Operating, Corroded](#)
[Empty, Corroded](#)

[Base Shear Calculations](#)

Seismic Shear Report: Operating, Corroded					
Component	Elevation of Bottom above Base (mm)	Elastic Modulus E (MPa)	Inertia I (m ⁴)	Seismic Shear at Bottom (N)	Bending Moment at Bottom (N-m)
FS	700	178.400,0	*	9.041	4.772,5
Envolvent (top)	0	178.400,0	0,0174	13.392,8	13.134,7
Envolvent (bottom)	0	178.400,0	0,0174	21.834,3	22.997,3
FI	-1.200	178.400,0	*	9.008,5	1.836,4
*Moment of Inertia I varies over the length of the component					

Seismic Shear Report: Empty, Corroded					
Component	Elevation of Bottom above Base (mm)	Elastic Modulus E (MPa)	Inertia I (m ⁴)	Seismic Shear at Bottom (N)	Bending Moment at Bottom (N-m)
FS	700	195.233,3	*	5.077,5	3.442,1
Envolvent (top)	0	195.233,3	0,0174	5.583,2	7.235,3
Envolvent (bottom)	0	195.233,3	0,0174	3.403,4	4.057,5
FI	-1.200	195.233,3	*	1.891,9	492,7
*Moment of Inertia I varies over the length of the component					

Vertical Acceleration Term, V_{Accel}				
Factor is applied to dead load.				
Compressive Side:		$= 1.0 + V_{Accel}$		
V_{Accel} Term is: greater of (Force Mult * Base Shear / Weight) or (Min. Weight Mult.)				
Force multiplier = 0,3333		Minimum Weight Multiplier = 0,2000		
Condition	Base Shear (N)	Weight (kg)	Force Mult * Shear Weight	V_{Accel}
Operating, Corroded	35.484,3	7.236,8	0,1667	0,2
Operating, New	36.488,5	7.441,6	0,1667	0,2
Empty, Corroded	9.197,7	1.875,8	0,1667	0,2
Empty, New	10.312,3	2.103,1	0,1667	0,2

Base Shear Calculations

[Operating, Corroded](#)
[Empty, Corroded](#)

Base Shear Calculations: Operating, Corroded

$$V = \text{Base Shear Multiplier} \cdot W = 0,5000 \cdot 15.954,3789 = 7.977,19 \text{ lb}(3.618,39 \text{ kg})$$

Base Shear Calculations: Empty, Corroded

$$V = \text{Base Shear Multiplier} \cdot W = 0,5000 \cdot 4.135,4292 = 2.067,71 \text{ lb}(937,90 \text{ kg})$$

Wind Code

Building Code: User Defined		
Elevation of base above grade	0,00 ft (0,00 m)	
Increase effective outer diameter by	0,00 ft (0,00 m)	
Wind Force Coefficient, Cf	0,5000	
Hazardous, toxic, or explosive contents	No	
Vessel Characteristics		
Height, h	3,9222 ft (1,1955 m)	
Effective Width	Operating, Corroded	5,3700 ft (1,6368 m)
	Empty, Corroded	5,3700 ft (1,6368 m)
Fundamental Frequency, n ₁	Operating, Corroded	259,3906 Hz
	Empty, Corroded	524,5514 Hz
Damping coefficient, β	Operating, Corroded	0,0241
	Empty, Corroded	0,0200

Wind Deflection Reports:

[Operating, Corroded](#)
[Empty, Corroded](#)

Wind Pressure Table

Wind Deflection Report: Operating, Corroded								
Component	Elevation of Bottom above Base (mm)	Effective OD (m)	Elastic Modulus E (MPa)	Inertia I (m ⁴)	Platform Wind Shear at Bottom (N)	Total Wind Shear at Bottom (N)	Bending Moment at Bottom (N-m)	Deflection at Top (mm)
FS	700	1,75	178.400,0	*	0	346,2	1.560,4	0
Envolvent (top)	0	1,75	178.400,0	0,01743	0	958,7	2.017,1	0
Envolvent (bottom)	0	1,75	178.400,0	0,01743	0	0	64	0
FI	-1.200	1,75	178.400,0	*	0	0	0	0
*Moment of Inertia I varies over the length of the component								

Wind Deflection Report: Empty, Corroded								
Component	Elevation of Bottom above Base (mm)	Effective OD (m)	Elastic Modulus E (MPa)	Inertia I (m ⁴)	Platform Wind Shear at Bottom (N)	Total Wind Shear at Bottom (N)	Bending Moment at Bottom (N-m)	Deflection at Top (mm)
FS	700	1,75	195.233,3	*	0	346,2	1.560,4	0
Envolvent (top)	0	1,75	195.233,3	0,01743	0	958,7	2.017,1	0
Envolvent (bottom)	0	1,75	195.233,3	0,01743	0	0	64	0
FI	-1.200	1,75	195.233,3	*	0	0	0	0
*Moment of Inertia I varies over the length of the component								

Wind Pressure (WP) table

Wind Force Coefficient, Cf: 0,5000

Design Wind Pressures		
To Height Z (m)	Wind Pressure (MPa)	Adjusted by Cf (MPa)
9,00	0,0010	0,0005
Design Wind Force determined from: F = Pressure * Af , where Af is the projected area.		

Liquid Level bounded by FI

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric	
Location from Datum (mm)	2.001,95
Operating Liquid Specific Gravity	0,98

FS

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric				
Component		F&D Head		
Material		SA-240 316L (II-D Metric p. 72, ln. 34)		
Attached To		Envolvent		
Impact Tested	Normalized	Fine Grain Practice	PWHT	Maximize MDMT/ No MAWP
No	No	No	No	No
		Design Pressure (MPa)	Design Temperature (°C)	Design MDMT (°C)
Internal		0,4234	260	-10
Static Liquid Head				
Condition		P _s (MPa)	H _s (mm)	SG
Operating		0,0005	56,95	0,98
Test vertical		0,0058	595	1
Dimensions				
Outer Diameter		1.750 mm		
Crown Radius L		1.408 mm		
Knuckle Radius r		271,04 mm		
Minimum Thickness		15 mm		
Corrosion	Inner	1,6 mm		
	Outer	0 mm		
Length L _{sf}		45 mm		
Nominal Thickness t _{sf}		15 mm		
Weight and Capacity				
		Weight (kg) ¹		Capacity (liters) ¹
New		377,58		771,97
Corroded		338,13		777,54
Radiography				
Category A joints		Eficiència de junta (E = 1)		
Head to shell seam		Eficiència de junta (E = 1)		

¹ includes straight flange

Results Summary	
Governing condition	internal pressure
Minimum thickness per UG-16	1,5 mm + 1,6 mm = 3,1 mm
Design thickness due to internal pressure (t)	<u>5,49</u> mm
Maximum allowable working pressure (MAWP)	<u>1,4682</u> MPa
Maximum allowable pressure (MAP)	<u>1,8536</u> MPa
Rated MDMT	-196°C

UHA-51 Material Toughness Requirements	
$t_r = \frac{0,8168 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 0,8168 \cdot (1 - 0,2)} =$	5,04 mm
$\text{Stress ratio} = \frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{5,04 \cdot 1}{15 - 1,6} =$	0,3761
Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Factor M		
	$M = \frac{1}{4} \cdot \left[3 + \left(\frac{L}{r} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$	
Corroded	$M = \frac{1}{4} \cdot \left[3 + \left(\frac{1.409,6}{272,64} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$	1,3185
New	$M = \frac{1}{4} \cdot \left[3 + \left(\frac{1.408}{271,04} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$	1,3198

Design thickness for internal pressure, (Corroded at 260 °C) Appendix 1-4(d)

$$t = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} + \text{Corrosion} = \frac{0,4239 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,4239 \cdot (1,3185 - 0,2)} + 1,6 = 5,49 \text{ mm}$$

Maximum allowable working pressure, (Corroded at 260 °C) Appendix 1-4(d)

$$P = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{M \cdot L_o - t \cdot (M - 0,2)} - P_s = \frac{2 \cdot 102 \cdot 1 \cdot 13,4}{1,3185 \cdot 1.423 - 13,4 \cdot (1,3185 - 0,2)} - 0,0005 = 1,4682 \text{ MPa}$$

Maximum allowable pressure, (New at 20 °C) Appendix 1-4(d)

$$P = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{M \cdot L_o - t \cdot (M - 0,2)} - P_s = \frac{2 \cdot 115 \cdot 1 \cdot 15}{1,3198 \cdot 1.423 - 15 \cdot (1,3198 - 0,2)} - 0 = 1,8536 \text{ MPa}$$

% Forming strain - UHA-44(a)(2)

$$EFE = \left(\frac{75 \cdot t}{R_f} \right) \cdot \left(1 - \frac{R_f}{R_o} \right) = \left(\frac{75 \cdot 15}{278,54} \right) \cdot \left(1 - \frac{278,54}{\infty} \right) = 4,0389 \%$$

ASME Section VIII Division 1 UG-81(a) Out-of-Roundness
Inside surface shall not deviate outside the shape by more than 1,25 % of D
Inside surface shall not deviate inside the shape by more than 0,625 % of D

Straight Flange on FS

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric				
Component		Cylinder		
Material		SA-240 316L (II-D Metric p. 72, ln. 34)		
Impact Tested	Normalized	Fine Grain Practice	PWHT	Maximize MDMT/ No MAWP
No	No	No	No	No
		Design Pressure (MPa)	Design Temperature (°C)	Design MDMT (°C)
Internal		0,4234	260	-10
Static Liquid Head				
Condition		P_s (MPa)	H_s (mm)	SG
Operating		0,001	101,95	0,98
Test vertical		0,0063	640	1
Dimensions				
Outer Diameter		1.750 mm		
Length		45 mm		
Nominal Thickness		15 mm		
Corrosion	Inner	1,6 mm		
	Outer	0 mm		
Weight and Capacity				
		Weight (kg)		Capacity (liters)
New		29,53		104,56
Corroded		26,41		104,95
Radiography				
Longitudinal seam		Eficiência de junta (E = 1)		
Bottom Circumferential seam		User Defined (E = 1)		

Results Summary	
Governing condition	Internal pressure
Minimum thickness per UG-16	1,5 mm + 1,6 mm = 3,1 mm
Design thickness due to internal pressure (t)	5,23 mm
Design thickness due to combined loadings + corrosion	3,09 mm
Maximum allowable working pressure (MAWP)	1,5707 MPa
Maximum allowable pressure (MAP)	1,985 MPa
Rated MDMT	-196 °C

UHA-51 Material Toughness Requirements	
$t_r = \frac{0,8173 \cdot 875}{115 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,8173} =$	6,2 mm
$\text{Stress ratio} = \frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{6,2 \cdot 1}{15 - 1,6} =$	0,4627
$\text{Stress ratio}_{longitud} \in al = \frac{21,773 \cdot 1}{115 \cdot 1} =$	0,1893
Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Design thickness, (at 260 °C) Appendix 1-1

$$t = \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,40 \cdot P} + \text{Corrosion} = \frac{0,4244 \cdot 875}{102 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot 0,4244} + 1,6 = \underline{5,23} \text{ mm}$$

Maximum allowable working pressure, (at 260 °C) Appendix 1-1

$$P = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,40 \cdot t} - P_s = \frac{102 \cdot 1,00 \cdot 13,4}{875 - 0,40 \cdot 13,4} - 0,001 = \underline{1,5707} \text{ MPa}$$

Maximum allowable pressure, (at 20 °C) Appendix 1-1

$$P = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,40 \cdot t} = \frac{115 \cdot 1,00 \cdot 15}{875 - 0,40 \cdot 15} = \underline{1,985} \text{ MPa}$$

% Forming strain - UHA-44(a)(2)

$$EFE = \left(\frac{50 \cdot t}{R_f} \right) \cdot \left(1 - \frac{R_f}{R_o} \right) = \left(\frac{50 \cdot 15}{867,5} \right) \cdot \left(1 - \frac{867,5}{\infty} \right) = 0,8646 \%$$

Thickness Required Due to Pressure + External Loads								
Condition	Allowable Stress Before UG-23 Stress Increase (MPa)		Temperature (°C)	Corrosion C (mm)	Load	Pressure P (MPa)	Req'd Thk Due to Tension (mm)	Req'd Thk Due to Compression (mm)
	S _t	S _c						
Operating, Hot & Corroded	102	44,98	260	1,6	Wind	3,8327	1,48	1,47
					Seismic	3,8295	1,49	1,46
Operating, Hot & New	102	45,92	260	0	Wind	4,3017	1,48	1,47
					Seismic	4,2983	1,49	1,46
Hot Shut Down, Corroded	102	44,98	260	1,6	Wind	0	0,01	0,04
					Seismic	0	0,01	0,07
Hot Shut Down, New	102	45,92	260	0	Wind	0	0,01	0,04
					Seismic	0	0	0,07
Empty, Corroded	115	71,94	21,11	1,6	Wind	0	0,01	0,02
					Seismic	0	0	0,04
Empty, New	115	73,48	21,11	0	Wind	0	0,01	0,02
					Seismic	0	0	0,04
Hot Shut Down, Corroded, Weight & Eccentric Moments Only	102	44,98	260	1,6	Wind	0	0,02	0,04
					Seismic	0	0	0

Allowable Compressive Stress, Hot and Corroded- S_{CHC}, (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/13,4} = 0,001914$$

$$B = 44,98 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{102}{1,00} = 102 \text{ MPa}$$

$$S_{CHC} = \min (B, S) = \underline{44,98 \text{ MPa}}$$

Allowable Compressive Stress, Hot and New- S_{CHN}, (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/15} = 0,002143$$

$$B = 45,92 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{102}{1,00} = 102 \text{ MPa}$$

$$S_{cHN} = \min (B,S) = \underline{45,92 \text{ MPa}}$$

Allowable Compressive Stress, Cold and New- S_{cCN} , (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/15} = 0,002143$$

$$B = 73,48 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{115}{1,00} = 115 \text{ MPa}$$

$$S_{cCN} = \min (B,S) = \underline{73,48 \text{ MPa}}$$

Allowable Compressive Stress, Cold and Corroded- S_{cCC} , (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/13,4} = 0,001914$$

$$B = 71,94 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{115}{1,00} = 115 \text{ MPa}$$

$$S_{cC} = \min (B,S) = \underline{71,94 \text{ MPa}}$$

Allowable Compressive Stress, Vacuum and Corroded- S_{cVC} , (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/13,4} = 0,001914$$

$$B = 44,98 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{102}{1,00} = 102 \text{ MPa}$$

$$S_{cVC} = \min (B,S) = \underline{44,98 \text{ MPa}}$$

Operating, Hot & Corroded, Wind, Bottom Seam

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 861,6}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,49 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{1.560,4}{\pi \cdot 868,3^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{764,8}{2 \cdot \pi \cdot 868,3 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,49 + 0,01 - (0,01)$$

$$= \underline{1,48 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,01 + (0,01) - (1,49)|$$

$$= \underline{1,47 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (13,4 - 0,01 + (0,01))}{861,6 - 0,40 \cdot (13,4 - 0,01 + (0,01))}$$

$$= \underline{3,8327 \text{ MPa}}$$

Operating, Hot & New, Wind, Bottom Seam

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 860}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,49 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{1.562,6}{\pi \cdot 867,5^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{815}{2 \cdot \pi \cdot 867,5 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,49 + 0,01 - (0,01)$$

$$= \underline{1,48 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,01 + (0,01) - (1,49)|$$

$$= \underline{1,47 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (15 - 0,01 + (0,01))}{860 - 0,40 \cdot (15 - 0,01 + (0,01))}$$

$$= 4,3017 \text{ MPa}$$

Hot Shut Down, Corroded, Wind, Bottom Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 1.560,4 \frac{\quad}{\pi \cdot 868,3^2 \cdot 44,9752 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= 764,8 \frac{\quad}{2 \cdot \pi \cdot 868,3 \cdot 44,9752 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,03 \text{ mm}$$

$$t_t = |t_p + t_m - t_w| \quad (\text{total, net compressive})$$

$$= |0 + 0,01 - (0,03)|$$

$$= \underline{0.01 \text{ mm}}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,01 + (0,03) - (0)$$

$$= \underline{0.04 \text{ mm}}$$

Hot Shut Down, New, Wind, Bottom Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 1.562,6 \frac{\quad}{\pi \cdot 867,5^2 \cdot 45,9196 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{815}{2 \cdot \pi \cdot 867,5 \cdot 45,9196 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,03 \text{ mm}$$

$$t_t = |t_p + t_m - t_w| \quad (\text{total, net compressive})$$

$$= |0 + 0,01 - (0,03)|$$

$$= \underline{0.01 \text{ mm}}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,01 + (0,03) - (0)$$

$$= \underline{0.04 \text{ mm}}$$

Empty, Corroded, Wind, Bottom Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 1.560,4 \frac{\text{MetricFactor}}{\pi \cdot 868,3^2 \cdot 71,9415 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= 764,8 \frac{\text{MetricFactor}}{2 \cdot \pi \cdot 868,3 \cdot 71,9415 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_t = |t_p + t_m - t_w| \quad (\text{total, net compressive})$$

$$= |0 + 0,01 - (0,02)|$$

$$= \underline{0.01 \text{ mm}}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,01 + (0,02) - (0)$$

$$= \underline{0.02 \text{ mm}}$$

Empty, New, Wind, Bottom Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 1.562,6 \frac{\text{MetricFactor}}{\pi \cdot 867,5^2 \cdot 73,4766 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{815}{2 \cdot \pi \cdot 867,5 \cdot 73,4766 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_t = |t_p + t_m - t_w| \quad (\text{total, net compressive})$$

$$= |0 + 0,01 - (0,02)|$$

$$= \underline{0.01 \text{ mm}}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,01 + (0,02) - (0)$$

$$= \underline{0.02 \text{ mm}}$$

Hot Shut Down, Corroded, Weight & Eccentric Moments Only, Bottom Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 1.487,7 \frac{\quad}{\pi \cdot 868,3^2 \cdot 44,9752 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= 764,8 \frac{\quad}{2 \cdot \pi \cdot 868,3 \cdot 44,9752 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,03 \text{ mm}$$

$$t_t = |t_p + t_m - t_w| \quad (\text{total, net compressive})$$

$$= |0 + 0,01 - (0,03)|$$

$$= \underline{0.02 \text{ mm}}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,01 + (0,03) - (0)$$

$$= \underline{0.04 \text{ mm}}$$

Operating, Hot & Corroded, Seismic, Bottom Seam

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 861,6}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,49 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 4,772,5 \frac{\text{---}}{\pi \cdot 868,3^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{764,8}{2 \cdot \pi \cdot 868,3 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,49 + 0,02 - (0,01)$$

$$= \underline{1,49 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{(1 + VA_{\text{ceel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 764,8}{2 \cdot \pi \cdot 868,3 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,02 + (0,01) - (1,49)|$$

$$= \underline{1,46 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (13,4 - 0,02 + (0,01))}{861,6 - 0,40 \cdot (13,4 - 0,02 + (0,01))}$$

$$= \underline{3,8295 \text{ MPa}}$$

Operating, Hot & New, Seismic, Bottom Seam

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 860}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,49 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{4.896,4}{\pi \cdot 867,5^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{815}{2 \cdot \pi \cdot 867,5 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,49 + 0,02 - (0,01)$$

$$= \underline{1,49 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 815}{2 \cdot \pi \cdot 867,5 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,02 + (0,01) - (1,49)|$$

$$= \underline{1,46 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (15 - 0,02 + (0,01))}{860 - 0,40 \cdot (15 - 0,02 + (0,01))}$$

$$= 4,2983 \text{ MPa}$$

Hot Shut Down, Corroded, Seismic, Bottom Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 4.772,5 \frac{\quad}{\pi \cdot 868,3^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{764,8}{2 \cdot \pi \cdot 868,3 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,02 - (0,01)$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

$$t_{mc} = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 4.772,5 \frac{\quad}{\pi \cdot 868,3^2 \cdot 44,9752 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,04 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = \frac{(1 + V_{\text{Acel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 764,8}{2 \cdot \pi \cdot 868,3 \cdot 44,9752 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,03 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,04 + (0,03) - (0)$$

$$= \underline{0,07 \text{ mm}}$$

Hot Shut Down, New, Seismic, Bottom Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 4.896,4 \frac{\quad}{\pi \cdot 867,5^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{815}{2 \cdot \pi \cdot 867,5 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,02 - (0,01)$$

$$= \underline{0 \text{ mm}}$$

$$t_{mc} = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 4.896,4 \frac{\quad}{\pi \cdot 867,5^2 \cdot 45,9196 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,04 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = \frac{(1 + V_{\text{Acel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 815}{2 \cdot \pi \cdot 867,5 \cdot 45,9196 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,03 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,04 + (0,03) - (0)$$

$$= \underline{0,07 \text{ mm}}$$

Empty, Corroded, Seismic, Bottom Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 3.442,1 \frac{1}{\pi \cdot 868,3^2 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{764,8}{2 \cdot \pi \cdot 868,3 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,01 - (0,01)$$

$$= \underline{0 \text{ mm}}$$

$$t_{mc} = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 3.442,1 \frac{1}{\pi \cdot 868,3^2 \cdot 71,9415 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = \frac{(1 + V_{\text{Acel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 764,8}{2 \cdot \pi \cdot 868,3 \cdot 71,9415 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,02 + (0,02) - (0)$$

$$= \underline{0,04 \text{ mm}}$$

Empty, New, Seismic, Bottom Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{3.570}{\pi \cdot 867,5^2 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{815}{2 \cdot \pi \cdot 867,5 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,01 - (0,01)$$

$$= \underline{0 \text{ mm}}$$

$$t_{mc} = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{3.570}{\pi \cdot 867,5^2 \cdot 73,4766 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 815}{2 \cdot \pi \cdot 867,5 \cdot 73,4766 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,02 + (0,02) - (0)$$

$$= \underline{0,04 \text{ mm}}$$

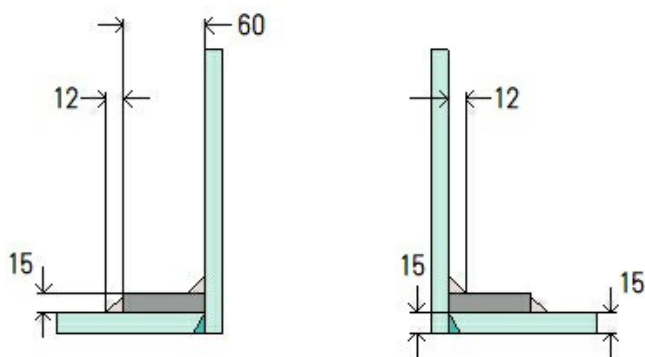
ASME Section VIII Division 1 UG-80(a) Out-of-Roundness

$(D_{\max} - D_{\min})$ shall not exceed 1% of D

When the cross section passes through an opening or within 1 I.D. of the opening,
 $(D_{\max} - D_{\min})$ shall not exceed 1% of $D + 2\%$ of the inside diameter of the opening

M1 (M1)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation	
Located on	FS
Orientation	270°
End of nozzle to datum line	2.360 mm
Calculated as hillside	No
Distance to head center, R	650 mm
Passes through a Category A joint	No
Nozzle	
Service	Manway (MW)
Description	NPS 20 Sch 80S (XS) DN 500
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, In. 40)
Inside diameter, new	482,6 mm
Pipe minimum wall thickness	12,7 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Projection available outside vessel, L _{pr}	32,61 mm
Projection available outside vessel to flange face, L _f	159,61 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa
Reinforcing Pad	
Material specification	SA-516 70 (II-D Metric p. 20, In. 45)
Diameter, D _p	628 mm
Thickness, t _e	15 mm
Is split	No
Welds	
Inner fillet, Leg ₄₁	12 mm
Outer fillet, Leg ₄₂	12 mm
Nozzle to vessel groove weld	15 mm
Pad groove weld	0 mm
Radiography	
Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 242,9}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	1,73 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{1,73 \cdot 1}{12,7 - 1,6} =$	0,156
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,156)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

UCS-66 Material Toughness Requirements Pad	
Governing thickness, $t_g =$	15 mm
Exemption temperature from Fig UCS-66M Curve B =	-16,69°C
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} =$	6,63 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{6,63 \cdot 1}{15 - 1,6} =$	0,495
Reduction in MDMT, T_R from Fig UCS-66.1M =	32,2°C
$MDMT = \max [MDMT - T_R, -48] = \max [-16,69 - 32,2, -48] =$	-48°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)		
For P = 0,82 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}	
36.7416	53.0161	28.4445	4.0684	–	18	2.5032	9.07	12,7	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
94.537	250.630	1.048.312	74.741	1.160.385	273.029	1.398.714

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld throat size (mm)	Actual weld throat size (mm)	Status
Nozzle to pad fillet (Leg ₄₁)	7.77	8,4	weld size is adequate
Pad to shell fillet (Leg ₄₂)	6.7	8,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [485,8, 242,9 + (12,7 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 485,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (12,7 - 1,6) + 15] \\
 &= 33,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 242,9}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 2,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: S_n = 75,3, S_v = 102, S_p = 138 MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (485,8 \cdot 7,47 \cdot 1 + 2 \cdot 11,1 \cdot 7,47 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{36.7416} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{28.4445} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (485,8 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47) - 2 \cdot 11,1 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 28,4445 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 11,1) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47) - 2 \cdot 11,1 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 2,5594 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{4.0684} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\ &= (2 \cdot (11,1 - 2,65) \cdot 0,7382 \cdot 32,61)/100 \\ &= 4,0684 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\ &= (2 \cdot (11,1 - 2,65) \cdot 0,7382 \cdot 32,61)/100 \\ &= 4,0684 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r3} \\ &= (12^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{1.0632} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (12^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{1.44} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\
 &= ((628 - 485,8 - 2 \cdot 11,1) \cdot 15 \cdot 1) / 100 \\
 &= \underline{18} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
 &= 28,4445 + 4,0684 + 1,0632 + 1,44 + 18 \\
 &= \underline{53.0161} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(c)(2) Weld Check

$$\text{Inner fillet: } t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t_e] = 11,1 \text{ mm}$$

$$t_{w(\min)} = 0,7 \cdot t_{\min} = \underline{7.77} \text{ mm}$$

$$t_{w(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 12 = 8,4 \text{ mm}$$

$$\text{Outer fillet: } t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_e, t] = 13,4 \text{ mm}$$

$$t_{w(\min)} = 0,5 \cdot t_{\min} = \underline{6.7} \text{ mm}$$

$$t_{w(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 12 = 8,4 \text{ mm}$$

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 242,9}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\
 &= 4,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [4,25, 0] \\
 &= 4,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,07, 3,1] \\
 &= 9,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [9,93, 9,07] \\
 &= 9,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
&= \max [4,25, 9,07] \\
&= \underline{9,07} \text{ mm}
\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 12,7$ mm

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Outer fillet weld in shear: $0,49 \cdot 102 = 49,98$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 508 \cdot 12 \cdot 36,897 = 353.310,01 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 628 \cdot 12 \cdot 49,98 = 591.639,38 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 496,9 \cdot 11,1 \cdot 52,71 = 456.672,57 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 508 \cdot 13,4 \cdot 75,48 = 807.074,92 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (3.674,1583 - 2.844,4459 + 2 \cdot 11,1 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47)) \cdot 102 \\
&= \underline{94.536,64} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (406,8379 + 1.800 + 106,3224 + 143,9997) \cdot 102 \\
&= \underline{250.630,35} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (406,8379 + 0 + 106,3224 + 0 + 2 \cdot 11,1 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{74.741,2} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (406,8379 + 0 + 1.800 + 106,3224 + 143,9997 + 0 + 2 \cdot 11,1 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{273.029,19} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 94.536,64$ N

Path 1-1 through (2) & (3) = $591.639,38 + 456.672,57 = 1.048.311,95$ N

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 74.741,2$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $353.310,01 + 807.074,92 = 1.160.384,93$ N

Path 2-2 is stronger than W_{2-2} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 94.536,64$ N

Path 3-3 through (2), (4) = $591.639,38 + 807.074,92 = 1.398.714,3$ N

Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAWP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAWP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
44,8306	44,8335	20,5471	3,7832	–	18	2,5032	9,93	12,7

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
254.848	247.722	1.048.312	71.833	1.160.385	270.121	1.398.714

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld throat size (mm)	Actual weld throat size (mm)	Status
Nozzle to pad fillet (Leg ₄₁)	7,77	8,4	weld size is adequate
Pad to shell fillet (Leg ₄₂)	6,7	8,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [485,8, 242,9 + (12,7 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 485,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (12,7 - 1,6) + 15] \\
 &= 33,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,997 \cdot 242,9}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,997} \\
 &= 3,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,997 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,997 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,12 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: S_n = 75,3, S_v = 102, S_p = 138 MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (485,8 \cdot 9,12 \cdot 1 + 2 \cdot 11,1 \cdot 9,12 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{44,8306} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{20,5471} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (485,8 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 9,12) - 2 \cdot 11,1 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 9,12) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 20,5471 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 11,1) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 9,12) - 2 \cdot 11,1 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 9,12) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 1,849 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{3,7832} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\ &= (2 \cdot (11,1 - 3,24) \cdot 0,7382 \cdot 32,61)/100 \\ &= 3,7832 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\ &= (2 \cdot (11,1 - 3,24) \cdot 0,7382 \cdot 32,61)/100 \\ &= 3,7832 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r3} \\ &= (12^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{1,0632} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (12^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{1,44} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\
 &= ((628 - 485,8 - 2 \cdot 11,1) \cdot 15 \cdot 1) / 100 \\
 &= \underline{18} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
 &= 20,5471 + 3,7832 + 1,0632 + 1,44 + 18 \\
 &= \underline{44.8335} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(c)(2) Weld Check

$$\text{Inner fillet: } t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t_e] = 11,1 \text{ mm}$$

$$t_{w(\min)} = 0,7 \cdot t_{\min} = \underline{7,77} \text{ mm}$$

$$t_{w(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 12 = 8,4 \text{ mm}$$

$$\text{Outer fillet: } t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_e, t] = 13,4 \text{ mm}$$

$$t_{w(\min)} = 0,5 \cdot t_{\min} = \underline{6,7} \text{ mm}$$

$$t_{w(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 12 = 8,4 \text{ mm}$$

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,997 \cdot 242,9}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,997} + 1,6 \\
 &= 4,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [4,84, 0] \\
 &= 4,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 10,72 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [10,72, 3,1] \\
 &= 10,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [9,93, 10,72] \\
 &= 9,93 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
&= \max [4,84, 9,93] \\
&= \underline{9,93} \text{ mm}
\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 12,7$ mm

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Outer fillet weld in shear: $0,49 \cdot 102 = 49,98$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 508 \cdot 12 \cdot 36,897 = 353.310,01 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 628 \cdot 12 \cdot 49,98 = 591.639,38 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 496,9 \cdot 11,1 \cdot 52,71 = 456.672,57 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 508 \cdot 13,4 \cdot 75,48 = 807.074,92 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (4.483,0626 - 2.054,7056 + 2 \cdot 11,1 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 9,12)) \cdot 102 \\
&= \underline{254.847,97} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (378,3218 + 1.800 + 106,3224 + 143,9997) \cdot 102 \\
&= \underline{247.721,71} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (378,3218 + 0 + 106,3224 + 0 + 2 \cdot 11,1 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{71.832,56} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (378,3218 + 0 + 1.800 + 106,3224 + 143,9997 + 0 + 2 \cdot 11,1 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{270.120,55} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 247.721,71$ N

Path 1-1 through (2) & (3) = $591.639,38 + 456.672,57 = \underline{1.048.311,95}$ N

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 71.832,56$ N
Path 2-2 through (1), (4) = $353.310,01 + 807.074,92 = 1.160.384,93$ N
Path 2-2 is stronger than W_{2-2} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 254.847,97$ N
Path 3-3 through (2), (4) = $591.639,38 + 807.074,92 = 1.398.714,3$ N
Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
43.9855	56.0212	28.4045	6.7368	-	18	2.88	8.33	12,7

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
196.374	317.593	1.462.449	137.848	1.558.186	361.408	1.685.646

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [482,6, 241,3 + (12,7 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 482,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (12,7 - 0) + 15] \\
 &= 37,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 241,3}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 2,37 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1.423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: S_n = 115, S_v = 115, S_p = 138 MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (482,6 \cdot 9,11 \cdot 1 + 2 \cdot 12,7 \cdot 9,11 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{43.9855} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{28.4045} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (482,6 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11) - 2 \cdot 12,7 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 28,4045 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 12,7) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11) - 2 \cdot 12,7 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 3,2606 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{6.7368} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\ &= (2 \cdot (12,7 - 2,37) \cdot 1 \cdot 32,61)/100 \\ &= 6,7368 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\ &= (2 \cdot (12,7 - 2,37) \cdot 1 \cdot 32,61)/100 \\ &= 6,7368 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r3} \\ &= (12^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{1.44} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (12^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{1.44} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\ &= ((628 - 482,6 - 2 \cdot 12,7) \cdot 15 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{18} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
 &= 28,4045 + 6,7368 + 1,44 + 1,44 + 18 \\
 &= 56,0212 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 241,3}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 2,37 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,37, 0] \\
 &= 2,37 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,11, 1,5] \\
 &= 9,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [8,33, 9,11] \\
 &= 8,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,37, 8,33] \\
 &= 8,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 12,7 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$
 Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$
 Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$
 Outer fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 508 \cdot 12 \cdot 56,35 = 539.583,69 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 628 \cdot 12 \cdot 56,35 = 667.044,4 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 495,3 \cdot 12,7 \cdot 80,5 = 795.404,16 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 508 \cdot 15 \cdot 85,1 = 1.018.601,85 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (4.398,5525 - 2.840,4459 + 2 \cdot 12,7 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11)) \cdot 115 \\ &= \underline{196.374,46 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (673,6761 + 1.800 + 143,9997 + 143,9997) \cdot 115 \\ &= \underline{317.592,72 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (673,6761 + 0 + 143,9997 + 0 + 2 \cdot 12,7 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{137.847,73 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (673,6761 + 0 + 1.800 + 143,9997 + 143,9997 + 0 + 2 \cdot 12,7 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{361.407,73 \text{ N}} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 196.374,46 \text{ N}$

Path 1-1 through (2) & (3) = $667.044,4 + 795.404,16 = \underline{1.462.448,56 \text{ N}}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 137.847,73 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $539.583,69 + 1.018.601,85 = \underline{1.558.185,54 \text{ N}}$

Path 2-2 is stronger than W_{2-2} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 196.374,46 \text{ N}$

Path 3-3 through (2), (4) = $667.044,4 + 1.018.601,85 = \underline{1.685.646,25 \text{ N}}$

Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,27 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
49.8964	49.9012	22.4935	6.5277	-	18	2.88	8.33	12,7

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
328.747	315.189	1.462.449	135.444	1.558.186	359.004	1.685.646

Calculations for internal pressure 1,27 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [482,6, 241,3 + (12,7 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 482,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (12,7 - 0) + 15] \\
 &= 37,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,274 \cdot 241,3}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,274} \\
 &= 2,69 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,274 \cdot 1.423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,274 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 10,34 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: S_n = 115, S_v = 115, S_p = 138 MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (482,6 \cdot 10,34 \cdot 1 + 2 \cdot 12,7 \cdot 10,34 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{49,8964} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{22,4935} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (482,6 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 10,34) - 2 \cdot 12,7 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 10,34) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 22,4935 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 12,7) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 10,34) - 2 \cdot 12,7 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 10,34) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 2,5819 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{6,5277} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\ &= (2 \cdot (12,7 - 2,69) \cdot 1 \cdot 32,61)/100 \\ &= 6,5277 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\ &= (2 \cdot (12,7 - 2,69) \cdot 1 \cdot 32,61)/100 \\ &= 6,5277 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r3} \\ &= (12^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{1,44} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (12^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{1,44} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\ &= ((628 - 482,6 - 2 \cdot 12,7) \cdot 15 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{18} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
 &= 22,4935 + 6,5277 + 1,44 + 1,44 + 18 \\
 &= 49,9012 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,274 \cdot 241,3}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,274} + 0 \\
 &= 2,69 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,69, 0] \\
 &= 2,69 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 10,34 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [10,34, 1,5] \\
 &= 10,34 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [8,33, 10,34] \\
 &= 8,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,69, 8,33] \\
 &= 8,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 12,7 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

$$\begin{aligned}
 \text{Groove weld in tension: } &0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa} \\
 \text{Nozzle wall in shear: } &0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa} \\
 \text{Inner fillet weld in shear: } &0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa} \\
 \text{Outer fillet weld in shear: } &0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 508 \cdot 12 \cdot 56,35 = 539.583,69 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 628 \cdot 12 \cdot 56,35 = 667.044,4 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 495,3 \cdot 12,7 \cdot 80,5 = 795.404,16 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 508 \cdot 15 \cdot 85,1 = 1.018.601,85 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (4.989,6352 - 2.249,3503 + 2 \cdot 12,7 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 10,34)) \cdot 115 \\ &= \underline{328.747,38 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (652,7729 + 1.800 + 143,9997 + 143,9997) \cdot 115 \\ &= \underline{315.188,86 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (652,7729 + 0 + 143,9997 + 0 + 2 \cdot 12,7 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{135.443,87 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (652,7729 + 0 + 1.800 + 143,9997 + 143,9997 + 0 + 2 \cdot 12,7 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{359.003,86 \text{ N}} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 315.188,86 \text{ N}$

Path 1-1 through (2) & (3) = $667.044,4 + 795.404,16 = \underline{1.462.448,56 \text{ N}}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 135.443,87 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $539.583,69 + 1.018.601,85 = \underline{1.558.185,54 \text{ N}}$

Path 2-2 is stronger than W_{2-2} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 328.747,38 \text{ N}$

Path 3-3 through (2), (4) = $667.044,4 + 1.018.601,85 = \underline{1.685.646,25 \text{ N}}$

Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Brida boca d'home

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric , Appendix 2 Flange Calculations				
Flange Type		Weld neck integral		
Attachment Type		Figure 2-4 sketch (6a)		
Flange Material		SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)		
Attached To		M1 (M1)		
Impact Tested	Normalized	Fine Grain Practice	PWHT	Maximize MDMT/ No MAWP
No	No	No	No	No
		Design Pressure (MPa)	Design Temperature (°C)	Design MDMT (°C)
Internal		0,4234	260	-10
Static Liquid Head				
Condition		P_s (MPa)		
Operating		0		
Dimensions				
Flange OD, A	698,5 mm			
Flange ID, B	482,6 mm			
Bolt Circle, C	635 mm			
Gasket OD	560 mm			
Gasket ID	520 mm			
Flange Thickness, t	50 mm			
Hub Thickness, g₁	38 mm			
Hub Thickness, g₀	12,7 mm			
Hub Length, h	45 mm			
Length, e	127 mm			
Corrosion Bore	0 mm			
Corrosion Flange	0 mm			
Bolting				
Material	SA-193 B7 Bolt ≤ 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)			
Description	20 - M24 x 3			
Corrosion on root	0 mm			
Gasket				
Type	Kammprofile			
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite			
Factor, m	2,75			
Seating Stress, y	25,511 MPa			
Thickness, T	4,45 mm			
Weight (kg)				
New	100,24 kg			
Corroded	100,24 kg			
Radiography				
Longitudinal seam	Seamless No RT			
Left Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1			

Results Summary	
Flange design thickness:	35,74 mm
Maximum allowable working pressure, MAWP:	1,9522 MPa @ 260 °C
Maximum allowable pressure, MAP:	2,9837 MPa @ 20 °C
Rated MDMT	-48 °C

Note: this flange is calculated as an integral type.

UHA-51 Material Toughness Requirements	
Stress ratio = $\frac{0,8163}{2,9837} =$	0,2736
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,2736)	
Rated MDMT =	-196°C
Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) =	-48°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Stress Summary										
			P (MPa)	S _H (MPa)	Allow (MPa)	S _R (MPa)	S _T (MPa)	(S _H + S _R) / 2 (MPa)	(S _H + S _T) / 2 (MPa)	Allow (MPa)
MAWP	Weight Only	Oper	1,9522	111.463	112,95	39.137	37.149	75.3	74.306	75,3
		Seating		128.837	172,5	45.237	42.939	87.037	85.888	115
MAP	Weight Only	Oper	2,9837	170.168	172,5	59.831	56.734	115	113.451	115
		Seating		153.008	172,5	53.798	51.013	103.403	102.011	115

Bolt Summary						
			P (MPa)	W (N)	A _m (cm ²)	A _b (cm ²)
MAWP	Weight Only	Oper	1,9522	598.847.99	34.82	62,55
		Seating		344.568.11	20.03	
MAP	Weight Only	Oper	2,9837	915.269.16	53.21	62,55
		Seating		344.568.11	20.03	

Rigidity Summary					
			P (MPa)	J	Allow
MAWP	Weight Only	Oper	1,9522	0.3928	1
		Seating		0.4149	1
MAP	Weight Only	Oper	2,9837	0.5479	1
		Seating		0.4929	1

Flange calculations for MAWP

Gasket details from facing sketch 1(a) or (b), Column II

Gasket width N = 20 mm

$$b_0 = \frac{N}{2} = 10 \text{ mm}$$

Effective gasket seating width, $b = 2,5 \cdot \sqrt{b_0} = 7,9 \text{ mm}$

$$G = \text{gasket OD} - 2 \cdot b = 560 - 2 \cdot 7,9 = 544,19 \text{ mm}$$

$$h_G = \frac{C - G}{2} = \frac{635 - 544,19}{2} = 45,4 \text{ mm}$$

$$h_D = R + \frac{g_1}{2} = 38,2 + \frac{38}{2} = 57,2 \text{ mm}$$

$$h_T = \frac{R + g_1 + h_G}{2} = \frac{38,2 + 38 + 45,4}{2} = 60,8 \text{ mm}$$

$$H_p = 2 \cdot b \cdot 3,14 \cdot G \cdot m \cdot P = 2 \cdot 7,9 \cdot 3,14 \cdot 544,19 \cdot 2,75 \cdot 1,9522 = 145.022,02 \text{ N}$$

$$H = 0,785 \cdot G^2 \cdot P = 0,785 \cdot 544,19^2 \cdot 1,9522 = 453.825,97 \text{ N}$$

$$H_D = 0,785 \cdot B^2 \cdot P = 0,785 \cdot 482,6^2 \cdot 1,9522 = 356.912,05 \text{ N}$$

$$H_T = H - H_D = 453.825,97 - 356.912,05 = 96.913,92 \text{ N}$$

$$W_{m1} = H + H_p = 453.825,97 + 145.022,02 = \underline{598.847,99 \text{ N}}$$

$$W_{m2} = 3,14 \cdot b \cdot G \cdot y = 3,14 \cdot 7,9 \cdot 544,19 \cdot 25,5106 = \underline{344.568,11 \text{ N}}$$

Required bolt area, A_m = greater of A_{m1} , $A_{m2} = 34,8167 \text{ cm}^2$

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b} = \frac{598.847,99}{(100 \cdot 172)} = \underline{34,8167 \text{ cm}^2}$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a} = \frac{344.568,11}{(100 \cdot S_b)} = \underline{20,033 \text{ cm}^2}$$

Total area for 20 - M24 x 3 bolts, corroded, $A_b = 62,5496 \text{ cm}^2$

$$W = \frac{(A_m + A_b) \cdot S_a}{2} = \frac{(3.481,6739 + 6.254,96) \cdot 172}{2} = 837.350,63 \text{ N}$$

$$M_D = H_D \cdot h_D = 356.912,05 \cdot 0,0572 = 20.415,4 \text{ N-m}$$

$$M_T = H_T \cdot h_T = 96.913,92 \cdot 0,0608 = 5.892,6 \text{ N-m}$$

$$H_G = W_{m1} - H = 598.847,99 - 453.825,97 = 145.022,02 \text{ N}$$

$$M_G = H_G \cdot h_G = 145.022,02 \cdot 0,0454 = 6.584,6 \text{ N-m}$$

$$M_o = M_D + M_T + M_G = 20.415,4 + 5.892,6 + 6.584,6 = 32.892,6 \text{ N-m}$$

$$M_g = W \cdot h_G = 837.350,63 \cdot 0,0454 = 38.019,5 \text{ N-m}$$

Hub and Flange Factors

$$g_0 = \min(g_0, t_n) = \min(12,7, 11,1) = 11,1 \text{ mm}$$

$$h_0 = \sqrt{B \cdot g_0} = \sqrt{482,6 \cdot 11,1} = 73,19 \text{ mm}$$

$$\text{From FIG. 2-7.1, where } K = \frac{A}{B} = \frac{698,5}{482,6} = 1,4474$$

$$T = 1,7336 \quad Z = 2,8267 \quad Y = 5,4204 \quad U = 5,9565$$

$$\frac{h}{h_0} = 0,6148 \quad \frac{g_1}{g_0} = 2,9955$$

$$F = 0,7814 \quad V = 0,1317 \quad e = \frac{F}{h_0} = 0,1068$$

$$d = \left(\frac{U}{V}\right) \cdot h_0 \cdot g_0^2 = \left(\frac{5,9565}{0,1317}\right) \cdot 7,3191 \cdot 1,11^2 = 407,9552 \text{ cm}^3$$

Stresses at operating conditions - VIII-1 Appendix 2-7

$$f = 2,1536$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = \frac{5 \cdot 0,1068 + 1}{1,7336} + \frac{5^3}{407,9552} = 1,1912$$

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = \frac{1e3 \cdot 2,1536 \cdot 32.892,6}{1,1912 \cdot 33,25^2 \cdot 482,6} = \underline{111,463 \text{ MPa}}$$

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = \frac{(1,33 \cdot 50 \cdot 0,1068 + 1) \cdot 1e3 \cdot 32.892,6}{1,1912 \cdot 50^2 \cdot 482,6} = \underline{39,137 \text{ MPa}}$$

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = \frac{1e3 \cdot 5,4204 \cdot 32.892,6}{50^2 \cdot 482,6} - 2,8267 \cdot 39,137 = \underline{37,149 \text{ MPa}}$$

Allowable stress $S_{fo} = 75,3 \text{ MPa}$

Allowable stress $S_{no} = 75,3 \text{ MPa}$

S_T does not exceed S_{fo}

S_H does not exceed $\min [1,5 \cdot S_{fo}, 2,5 \cdot S_{no}] = 112,95 \text{ MPa}$

S_R does not exceed S_{fo}

$$\frac{S_H + S_R}{2} = \underline{75,3 \text{ MPa}} \text{ does not exceed } S_{fo}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = \underline{74,306 \text{ MPa}} \text{ does not exceed } S_{fo}$$

Flange rigidity at operating per VIII-1 Appendix 2-14

$$J = 52,14 \cdot V \cdot \frac{M_o}{L \cdot E \cdot g_0^2 \cdot K_T \cdot h_0} = 52,14 \cdot 0,1317 \cdot \frac{32.892,6}{1,1912 \cdot 178,4E+03 \cdot 11,1^2 \cdot 0,3 \cdot 73,19} = \underline{0,3928}$$

The flange rigidity index J does not exceed 1; satisfactory.

Stresses at gasket seating - VIII-1 Appendix 2-7

$$S_H = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = \frac{1e3 \cdot 2,1536 \cdot 38.019,5}{1,1912 \cdot 33,25^2 \cdot 482,6} = \underline{128,837 \text{ MPa}}$$

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B} = \frac{(1,33 \cdot 50 \cdot 0,1068 + 1) \cdot 1e3 \cdot 38.019,5}{1,1912 \cdot 50^2 \cdot 482,6} = \underline{45,237 \text{ MPa}}$$

$$S_T = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = \frac{5,4204 \cdot 1e3 \cdot 38.019,5}{50^2 \cdot 482,6} - 2,8267 \cdot 45,237 = \underline{42,939 \text{ MPa}}$$

Allowable stress $S_{fa} = 115 \text{ MPa}$

Allowable stress $S_{na} = 115 \text{ MPa}$

S_T does not exceed S_{fa}

S_H does not exceed $\min [1,5 \cdot S_{fa}, 2,5 \cdot S_{na}] = 172,5$ MPa

S_R does not exceed S_{fa}

$$\frac{S_H + S_R}{2} = \underline{87.037} \text{ MPa does not exceed } S_{fa}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = \underline{85.888} \text{ MPa does not exceed } S_{fa}$$

Flange rigidity at gasket seating per VIII-1 Appendix 2-14

$$J = 52,14 \cdot V \cdot \frac{M_g}{L \cdot E \cdot g_0^2 \cdot K_T \cdot h_0} = 52,14 \cdot 0,1317 \cdot \frac{38.019,5}{1,1912 \cdot 195,23E+03 \cdot 11,1^2 \cdot 0,3 \cdot 73,19} = \underline{0,4149}$$

The flange rigidity index J does not exceed 1; satisfactory.

Flange calculations for MAP

Gasket details from facing sketch 1(a) or (b), Column II

Gasket width $N = 20$ mm

$$b_0 = \frac{N}{2} = 10 \text{ mm}$$

Effective gasket seating width, $b = 2,5 \cdot \sqrt{b_0} = 7,9$ mm

$$G = \text{gasket OD} - 2 \cdot b = 560 - 2 \cdot 7,9 = 544,19 \text{ mm}$$

$$h_G = \frac{C - G}{2} = \frac{635 - 544,19}{2} = 45,4 \text{ mm}$$

$$h_D = R + \frac{g_1}{2} = 38,2 + \frac{38}{2} = 57,2 \text{ mm}$$

$$h_T = \frac{R + g_1 + h_G}{2} = \frac{38,2 + 38 + 45,4}{2} = 60,8 \text{ mm}$$

$$H_p = 2 \cdot b \cdot 3,14 \cdot G \cdot m \cdot P = 2 \cdot 7,9 \cdot 3,14 \cdot 544,19 \cdot 2,75 \cdot 2,9837 = 221.649,21 \text{ N}$$

$$H = 0,785 \cdot G^2 \cdot P = 0,785 \cdot 544,19^2 \cdot 2,9837 = 693.619,96 \text{ N}$$

$$H_D = 0,785 \cdot B^2 \cdot P = 0,785 \cdot 482,6^2 \cdot 2,9837 = 545.498,35 \text{ N}$$

$$H_T = H - H_D = 693.619,96 - 545.498,35 = 148.121,61 \text{ N}$$

$$W_{m1} = H + H_p = 693.619,96 + 221.649,21 = \underline{915.269,16 \text{ N}}$$

$$W_{m2} = 3,14 \cdot b \cdot G \cdot y = 3,14 \cdot 7,9 \cdot 544,19 \cdot 25,5106 = \underline{344.568,11 \text{ N}}$$

Required bolt area, $A_m = \text{greater of } A_{m1}, A_{m2} = 53,2133 \text{ cm}^2$

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b} = \frac{915.269,16}{(100 \cdot 172)} = \underline{53,2133 \text{ cm}^2}$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a} = \frac{344.568,11}{(100 \cdot S_b)} = \underline{20,033 \text{ cm}^2}$$

Total area for 20 - M24 x 3 bolts, corroded, $A_b = 62,5496 \text{ cm}^2$

$$W = \frac{(A_m + A_b) \cdot S_a}{2} = \frac{(5.321,3316 + 6.254,96) \cdot 172}{2} = 995.561,21 \text{ N}$$

$$M_D = H_D \cdot h_D = 545.498,35 \cdot 0,0572 = 31.202,5 \text{ N-m}$$

$$M_T = H_T \cdot h_T = 148.121,61 \cdot 0,0608 = 9.006,1 \text{ N-m}$$

$$H_G = W_{ml} - H = 915.269,16 - 693.619,96 = 221.649,21 \text{ N}$$

$$M_G = H_G \cdot h_G = 221.649,21 \cdot 0,0454 = 10.063,9 \text{ N-m}$$

$$M_o = M_D + M_T + M_G = 31.202,5 + 9.006,1 + 10.063,9 = 50.272,5 \text{ N-m}$$

$$M_g = W \cdot h_G = 995.561,21 \cdot 0,0454 = 45.202,9 \text{ N-m}$$

Hub and Flange Factors

$$g_0 = \min(g_0, t_n) = \min(12,7, 12,7) = 12,7 \text{ mm}$$

$$h_0 = \sqrt{B \cdot g_0} = \sqrt{482,6 \cdot 11,11} = 73,23 \text{ mm}$$

$$\text{From FIG. 2-7.1, where } K = \frac{A}{B} = \frac{698,5}{482,6} = 1,4474$$

$$T = 1,7336 \quad Z = 2,8267 \quad Y = 5,4204 \quad U = 5,9565$$

$$\frac{h}{h_0} = 0,6145 \quad \frac{g_1}{g_0} = 2,9921$$

$$F = 0,7815 \quad V = 0,1319 \quad e = \frac{F}{h_0} = 0,1067$$

$$d = \left(\frac{U}{V}\right) \cdot h_0 \cdot g_0^2 = \left(\frac{5,9565}{0,1319}\right) \cdot 7,3232 \cdot 1,1113^2 = 408,458 \text{ cm}^3$$

Stresses at operating conditions - VIII-1 Appendix 2-7

$$f = 2,1503$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = \frac{5 \cdot 0,1067 + 1}{1,7336} + \frac{5^3}{408,458} = 1,1907$$

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = \frac{1e3 \cdot 2,1503 \cdot 50.272,5}{1,1907 \cdot 33,25^2 \cdot 482,6} = 170,168 \text{ MPa}$$

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = \frac{(1,33 \cdot 50 \cdot 0,1067 + 1) \cdot 1e3 \cdot 50.272,5}{1,1907 \cdot 50^2 \cdot 482,6} = 59,831 \text{ MPa}$$

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = \frac{1e3 \cdot 5,4204 \cdot 50.272,5}{50^2 \cdot 482,6} - 2,8267 \cdot 59,831 = 56,734 \text{ MPa}$$

Allowable stress $S_{fo} = 115 \text{ MPa}$

Allowable stress $S_{no} = 115 \text{ MPa}$

S_T does not exceed S_{fo}

S_H does not exceed $\min[1,5 \cdot S_{fo}, 2,5 \cdot S_{no}] = 172,5 \text{ MPa}$

S_R does not exceed S_{fo}

$$\frac{S_H + S_R}{2} = 115 \text{ MPa does not exceed } S_{fo}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = 113,451 \text{ MPa does not exceed } S_{fo}$$

Flange rigidity at operating per VIII-1 Appendix 2-14

$$J = 52,14 \cdot V \cdot \frac{M_o}{L \cdot E \cdot g_0^2 \cdot K_I \cdot h_0} = 52,14 \cdot 0,1319 \cdot \frac{50.272,5}{1,1907 \cdot 195,3E+03 \cdot 11,11^2 \cdot 0,3 \cdot 73,23} = \underline{0,5479}$$

The flange rigidity index J does not exceed 1; satisfactory.

Stresses at gasket seating - VIII-1 Appendix 2-7

$$S_H = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = \frac{1e3 \cdot 2,1503 \cdot 45.202,9}{1,1907 \cdot 33,25^2 \cdot 482,6} = \underline{153,008 \text{ MPa}}$$

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B} = \frac{(1,33 \cdot 50 \cdot 0,0107 + 1) \cdot 1e3 \cdot 45.202,9}{1,1907 \cdot 50^2 \cdot 482,6} = \underline{53,798 \text{ MPa}}$$

$$S_T = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = \frac{5,4204 \cdot 1e3 \cdot 45.202,9}{50^2 \cdot 482,6} - 2,8267 \cdot 53,798 = \underline{51,013 \text{ MPa}}$$

Allowable stress $S_{fa} = 115 \text{ MPa}$

Allowable stress $S_{na} = 115 \text{ MPa}$

S_T does not exceed S_{fa}

S_H does not exceed $\min [1,5 \cdot S_{fa}, 2,5 \cdot S_{na}] = 172,5 \text{ MPa}$

S_R does not exceed S_{fa}

$$\frac{S_H + S_R}{2} = \underline{103,403 \text{ MPa}} \text{ does not exceed } S_{fa}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = \underline{102,011 \text{ MPa}} \text{ does not exceed } S_{fa}$$

Flange rigidity at gasket seating per VIII-1 Appendix 2-14

$$J = 52,14 \cdot V \cdot \frac{M_g}{L \cdot E \cdot g_0^2 \cdot K_I \cdot h_0} = 52,14 \cdot 0,1319 \cdot \frac{45.202,9}{1,1907 \cdot 195,23E+03 \cdot 11,11^2 \cdot 0,3 \cdot 73,23} = \underline{0,4929}$$

The flange rigidity index J does not exceed 1; satisfactory.

Brida boca d'home - Flange hub

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric				
Component		Flange Hub		
Material		SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, In. 40)		
Pipe NPS and Schedule		NPS 20 Sch 80S (XS) DN 500		
Impact Tested	Normalized	Fine Grain Practice	PWHT	Maximize MDMT/ No MAWP
No	No	No	No	No
		Design Pressure (MPa)	Design Temperature (°C)	Design MDMT (°C)
Internal		0,4234	260	-10
Static Liquid Head				
Condition		P_s (MPa)	H_s (mm)	SG
Test vertical		0,004	411,87	1
Dimensions				
Outer Diameter		508 mm		
Length		77 mm		
Pipe Nominal Thickness		12,7 mm		
Pipe Minimum Thickness¹		11,11 mm		
Corrosion	Inner	0 mm		
	Outer	0 mm		
Weight and Capacity				
		Weight (kg)	Capacity (liters)	
New		19,87	14,08	
Corroded		19,87	14,08	
Radiography				
Longitudinal seam		Seamless No RT		
Bottom Circumferential seam		Full UW-11(a) Type 1		

¹Pipe minimum thickness = nominal thickness times pipe tolerance factor of 0,875.

Results Summary	
Governing condition	UG-16
Minimum thickness per UG-16	1,5 mm + 0 mm = 1,5 mm
Design thickness due to internal pressure (t)	1.43 mm
Maximum allowable working pressure (MAWP)	3.3531 MPa
Maximum allowable pressure (MAP)	5.1209 MPa
Rated MDMT	-196 °C

UHA-51 Material Toughness Requirements	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 254}{115 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,8163} =$	1,8 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{1,8 \cdot 1}{11,11 - 0} =$	0,1618
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,1618)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Design thickness, (at 260 °C) Appendix 1-1

$$t = \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,40 \cdot P} + \text{Corrosion} = \frac{0,4234 \cdot 254}{75,3 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot 0,4234} + 0 = \underline{1.43} \text{ mm}$$

Maximum allowable working pressure, (at 260 °C) Appendix 1-1

$$P = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,40 \cdot t} - P_s = \frac{75,3 \cdot 1,00 \cdot (12,7 \cdot 0,875)}{254 - 0,40 \cdot (12,7 \cdot 0,875)} - 0 = \underline{3,3531} \text{ MPa}$$

Maximum allowable pressure, (at 20 °C) Appendix 1-1

$$P = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,40 \cdot t} = \frac{115 \cdot 1,00 \cdot (12,7 \cdot 0,875)}{254 - 0,40 \cdot (12,7 \cdot 0,875)} = \underline{5,1209} \text{ MPa}$$

Tapa boca d'home

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric				
Component		Bolted Cover		
Material		SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, In. 40)		
Attached To		Brida boca d'home		
Impact Tested	Normalized	Fine Grain Practice	PWHT	Maximize MDMT/ No MAWP
No	No	No	No	No
		Design Pressure (MPa)	Design Temperature (°C)	Design MDMT (°C)
Internal		0,4234	260	-10
Static Liquid Head				
Condition		P_s (MPa)	H_s (mm)	SG
Test vertical		0,0029	300,33	1
Dimensions				
Outer Diameter		698,5 mm		
Bolt Circle, BC		635 mm		
Pipe Nominal Thickness		40 mm		
Pipe Minimum Thickness¹		35 mm		
Corrosion	Inner	0 mm		
	Outer	0 mm		
Weight and Capacity				
		Weight (kg)	Capacity (liters)	
New		123,04	0	
Corroded		123,04	0	
Radiography				
Category A joints		Seamless No RT		

¹Pipe minimum thickness = nominal thickness times pipe tolerance factor of 0,875.

Results Summary	
Governing condition	gasket seating
Minimum thickness per UG-16	1,5 mm + 0 mm = 1,5 mm
Design thickness due to internal pressure (t)	27.8 mm
Design thickness due to gasket seating	31.29 mm
Maximum allowable working pressure (MAWP)	0.8764 MPa
Maximum allowable pressure (MAP)	1.3384 MPa
Rated MDMT	-196°C

UHA-51 Material Toughness Requirements	
Stress ratio = $\frac{0,8163}{1,3384} =$	0,6099
Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Figure UG-34 Diameter

$$d = BC - 2 \cdot h_G = 635 - 2 \cdot 45,4 = 544,19 \text{ mm}$$

Design thickness, (at 260 °C) UG-34(c)(2), flange operating

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{C \cdot P}{S \cdot E} + \frac{1,9 \cdot W \cdot h_G}{S \cdot E \cdot d^3}} + \text{Corrosion}$$

$$= 544,19 \cdot \sqrt{\frac{0,3 \cdot 0,4234}{75,3 \cdot 1} + \frac{1,9 \cdot 129.882,49 \cdot 45,4}{75,3 \cdot 1 \cdot 544,19^3}} + 0$$

$$= 27,8 \text{ mm}$$

Design thickness, (at 20 °C) UG-34(c)(2), gasket seating

$$t = d \cdot \sqrt{1,9 \cdot W \cdot \frac{h_G}{S \cdot E \cdot d^3}} + \text{Corrosion}$$

$$= 544,19 \cdot \sqrt{1,9 \cdot 710.210,69 \cdot \frac{45,4}{115 \cdot 1 \cdot 544,19^3}} + 0$$

$$= 31,29 \text{ mm}$$

Maximum allowable working pressure, (at 260 °C)

$$P = \frac{S \cdot E}{C} \cdot \left(\left(\frac{t}{d} \right)^2 - \frac{1,9 \cdot W \cdot h_G}{S \cdot E \cdot d^3} \right) - P_s$$

$$= \frac{75,3 \cdot 1}{0,3} \cdot \left(\left(\frac{40}{544,19} \right)^2 - \frac{1,9 \cdot 268.842,56 \cdot 45,4}{75,3 \cdot 1 \cdot 544,19^3} \right) - 0$$

$$= 0,8764 \text{ MPa}$$

Maximum allowable pressure, (at 20 °C)

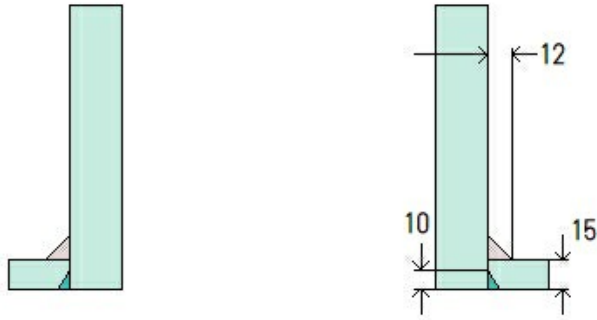
$$P = \frac{S \cdot E}{C} \cdot \left(\left(\frac{t}{d} \right)^2 - \frac{1,9 \cdot W \cdot h_G}{S \cdot E \cdot d^3} \right)$$

$$= \frac{115 \cdot 1}{0,3} \cdot \left(\left(\frac{40}{544,19} \right)^2 - \frac{1,9 \cdot 410.582,62 \cdot 45,4}{115 \cdot 1 \cdot 544,19^3} \right)$$

$$= 1,3384 \text{ MPa}$$

N7 (N7)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation	
Located on	FS
Orientation	0°
End of nozzle to datum line	2.540 mm
Calculated as hillside	No
Distance to head center, R	0 mm
Passes through a Category A joint	No
Nozzle	
Description	NPS 16 Sch 100 DN 400
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	354,03 mm
Pipe minimum wall thickness	26,19 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Projection available outside vessel, Lpr	32,11 mm
Projection available outside vessel to flange face, Lf	159,11 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa
Welds	
Inner fillet, Leg ₄₁	12 mm
Nozzle to vessel groove weld	10 mm
Radiography	
Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} =$	5,04 mm
$\text{Stress ratio} = \frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{5,04 \cdot 1}{15 - 1,6} =$	0,3758
Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
21.0064	38.3922	26.5974	10.7316	–	–	1.0632	9.07	26,19

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
-28.429	120.307	1.059.925	169.922	687.386

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	8.35	8,4	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	16.75	16,8	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	8.35	8,4	weld size is adequate

WRC 537												
Load Case	P (MPa)	P _r (N)	M ₁ (N-m)	V ₂ (N)	M ₂ (N-m)	V ₁ (N)	M _t (N-m)	Max Comb Stress (MPa)	Allow Comb Stress (MPa)	Max Local Primary Stress (MPa)	Allow Local Primary Stress (MPa)	Over stressed
Càrregues dinàmiques de l'agitador	0,8163	12.000	13.470	6.630	0	0	5.980	218.922	306	126.153	153	No
Càrregues dinàmiques de l'agitador (Hot Shut Down)	0	12.000	13.470	6.630	0	0	5.980	-137,833	306	-26,896	153	No

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [357,23, 178,61 + (26,19 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 357,23 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (26,19 - 1,6) + 0] \\
 &= 33,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 178,61}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 1,95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned}
 A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\
 &= (357,23 \cdot 5,68 \cdot 1 + 2 \cdot 24,59 \cdot 5,68 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
 &= \underline{21.0064} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{26.5974} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
 &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
 &= (357,23 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 24,59 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
 &= 26,5974 \text{ cm}^2 \\
 &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
 &= (2 \cdot (13,4 + 24,59) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 24,59 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
 &= 4,8735 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{10.7316} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\
 &= (2 \cdot (24,59 - 1,95) \cdot 0,7382 \cdot 32,11)/100 \\
 &= 10,7316 \text{ cm}^2 \\
 &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\
 &= (2 \cdot (24,59 - 1,95) \cdot 0,7382 \cdot 32,11)/100 \\
 &= 10,7316 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\
 &= (12^2 \cdot 0,7382)/100 \\
 &= \underline{1,0632} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 26,5974 + 10,7316 + 1,0632 \\
 &= \underline{38,3922} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 13,4 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{6} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 12 = 8,4 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 8,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 16,8 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{16,75}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 178,61}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\
 &= 3,55 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{aUG-22} = 3,97 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [3,55, 3,97] \\
 &= 3,97 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{bl} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,07, 3,1] \\
 &= 9,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{bl}] \\
 &= \min [9,93, 9,07] \\
 &= 9,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
&= \max [3,97, 9,07] \\
&= \underline{9,07} \text{ mm}
\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 26,19$ mm

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 406,4 \cdot 12 \cdot 36,897 = 282.648,01 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 381,81 \cdot 24,59 \cdot 52,71 = 777.276,99 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 406,4 \cdot 8,4 \cdot 75,48 = 404.738,45 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (2.100,6399 - 2.659,7366 + 2 \cdot 24,59 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68)) \cdot 102 \\
&= \underline{-28.428,64} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (1.073,1591 + 0 + 106,3224 + 0) \cdot 102 \\
&= \underline{120.307,13} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (1.073,1591 + 0 + 106,3224 + 0 + 2 \cdot 24,59 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{169.922,38} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = -28.428,64$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $282.648,01 + 777.276,99 = \underline{1.059.925}$ N

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = -28.428,64$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $282.648,01 + 404.738,45 = \underline{687.386,46}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

WRC 537 Càrregues dinàmiques de l'agitador

Applied Loads	
Radial load, P_r	12.000 N
Circumferential moment, M_1	13.470 N-m
Circumferential shear, V_2	6.630 N
Longitudinal moment, M_2	0 N-m
Longitudinal shear, V_1	0 N
Torsion moment, M_t	5.980 N-m
Internal pressure, P	0,8163 MPa
Mean dish radius, R_m	1.416,3 mm
Local head thickness, T	13,4 mm
Design factor	3

Maximum stresses due to the applied loads at the nozzle OD (includes pressure)

$$\gamma = \frac{r_m}{t} = \frac{190,91}{24,59} = 7,7644$$

$$\rho = \frac{T}{t} = \frac{13,4}{24,59} = 0,545$$

$$U = \frac{r_o}{\sqrt{R_m \cdot T}} = \frac{203,2}{\sqrt{1.416,3 \cdot 13,4}} = 1,475$$

WRC 537 Nondimensional Coefficients								
$Y = \frac{a + c \cdot U + e \cdot U^2 + g \cdot U^3 + i \cdot U^4}{1 + b \cdot U + d \cdot U^2 + f \cdot U^3 + h \cdot U^4 + j \cdot U^5}$								
$\gamma = 5$ $\rho = 0,25$	SP-1				SM-1			
	M_x	M_y	N_x	N_y	M_x	M_y	N_x	N_y
a	3,7231	1,9183	0,2132	0,2459	5,5747	3,4183	48,225	10,3039
b	186,7198	719,3115	4,205	200,0895	6,9409	30,765	3.880,8868	-589,9236
c	26,4368	74,3354	0,1092	48,4085	-23,5691	-68,1701	626,1306	-191,2477
d	1.419,4954	2.645,2748	5,4914	253,4566	31,0499	-855,2551	44.477,21	4.701,8017
e	648,0076	-45,7362	1,408	-25,0342	113,9108	390,7493	4.895,8788	838,6609
f	9.734,6418	913,8857	24,927	15,8664	221,0402	4.747,865	3.024,9996	-1.873,4948
g	-160,348	-5,3218	-0,244	5,4387	-26,0412	-102,347	-387,7985	-129,3938
h	0	-2.598,337	0	0	584,8641	5.154,7728	59.637,35	6.245,6511
i	0	5,7655	0	0	0	0	0	0
j	0	796,5845	0	0	0	0	0	0
Y	0,0271	0,0074	0,0268	0,0386	0,038	0,0112	0,0263	0,0346

WRC 537 Nondimensional Coefficients								
$Y = \frac{a + c \cdot U + e \cdot U^2 + g \cdot U^3 + i \cdot U^4}{1 + b \cdot U + d \cdot U^2 + f \cdot U^3 + h \cdot U^4 + j \cdot U^5}$								
$\gamma = 5$ $\rho = 1$	SP-2				SM-2			
	M_x	M_y	N_x	N_y	M_x	M_y	N_x	N_y
a	0,6211	0,3627	4,244	0,147	11,647	3,0505	2,3258	-0,0608
b	21,6273	44,9628	2.909,7533	-1,6443	44,8126	18,7157	7,2896	-4,1861
c	2,9619	3,7254	670,6484	0,1238	-215,542	-13,8221	-10,6212	0,3339
d	29,2309	98,0346	7.883,0399	29,843	-990,6785	-19,0976	46,1723	9,0989
e	2,1842	-0,2704	-1.025,2729	5,3816	1.206,7112	24,6135	23,7824	-0,3729
f	86,1406	137,5921	-15.335,94	6,1433	5.063,1144	-108,1759	-198,2298	-7,5883
g	-0,3873	0	482,899	-3,3272	-398,6713	-6,4014	18,2767	0,2136
h	0	0	6.934,936	1,2597	5.228,5657	373,4437	767,1196	2,6114
i	0	0	-34,8626	0,5351	0	0	0	-0,0422
j	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	0,0228	0,0073	0,0292	0,0437	0,0267	0,0111	0,0312	0,0403

WRC 537 Nondimensional Coefficients								
$Y = \frac{a + c \cdot U + e \cdot U^2 + g \cdot U^3 + i \cdot U^4}{1 + b \cdot U + d \cdot U^2 + f \cdot U^3 + h \cdot U^4 + j \cdot U^5}$								
$\gamma = 15$ $\rho = 1$	SP-5				SM-5			
	M_x	M_y	N_x	N_y	M_x	M_y	N_x	N_y
a	2,5313	0,2573	0,2148	0,2565	5,0495	2,3071	1,3095	-0,0934
b	473,1618	0,6261	75,2962	-4,0038	9,0562	10,326	7,1691	-5,4435
c	188,3279	-3,2878	11,984	-1,0345	-14,0471	-11,3673	-4,9409	0,5761
d	3.838,2426	-118,1855	347,0785	5,3696	47,3217	26,4081	25,6386	18,6046
e	276,3502	12,6432	-2,8446	0,6823	32,2135	28,751	30,6153	-0,5013
f	3.999,8712	597,9902	-59,4988	-7,5639	-73,3031	-148,3722	362,4322	-21,4549
g	-70,677	-5,5092	0	1,7989	-10,377	-3,0892	-19,9268	0,5988
h	0	-163,2562	0	21,8984	206,2954	706,8852	-74,8696	13,0083
i	0	0,5296	0	-0,7141	2,0028	0	4,1492	0
j	0	0	0	-7,0392	0	0	0	0
Y	0,0299	0,0087	0,0173	0,0705	0,0356	0,013	0,0186	0,0607

Note: ρ is outside the bounds. $\rho = 1$ used.

Pressure stress intensity factor, $I = 2,4637$ (derived from Division 2 Part 4.5)

$$\text{Local pressure stress} = \frac{I \cdot P \cdot R_i}{2 \cdot T} = 105,779 \text{ MPa}$$

Maximum combined stress ($P_L + P_b + Q$) = 218,92 MPa

Allowable combined stress ($P_L + P_b + Q$) = $\pm 3 \cdot S = \pm 306$ MPa

Note: The allowable combined stress ($P_L + P_b + Q$) is based on the strain hardening characteristics of this material.

The maximum combined stress ($P_L + P_b + Q$) is within allowable limits.

Maximum local primary membrane stress (P_L) = 126,15 MPa

Allowable local primary membrane stress (P_L) = $\pm 1,5 \cdot S = \pm 153$ MPa

The maximum local primary membrane stress (P_L) is within allowable limits.

Stresses at the nozzle OD per WRC Bulletin 537										
Figure	Y		A _u	A _l	B _u	B _l	C _u	C _l	D _u	D _l
SP-1 to 10*	$\frac{N_x \cdot T}{P}$	0,0248	-1,662	-1,662	-1,662	-1,662	-1,662	-1,662	-1,662	-1,662
SP-1 to 10	$\frac{M_x}{P}$	0,0267	-10,687	10,687	-10,687	10,687	-10,687	10,687	-10,687	10,687
SM-1 to 10*	$\frac{N_x \cdot T \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_1}$	0,0256	0	0	0	0	-13,934	-13,934	13,934	13,934
SM-1 to 10	$\frac{M_x \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_1}$	0,0341	0	0	0	0	-111,509	111,509	111,509	-111,509
SM-1 to 10*	$\frac{N_x \cdot T \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_2}$	0,0256	0	0	0	0	0	0	0	0
SM-1 to 10	$\frac{M_x \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_2}$	0,0341	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressure stress*			105,779	105,779	105,779	105,779	105,779	105,779	105,779	105,779
Total O_x stress			93,431	114,805	93,431	114,805	-32,012	212,379	218,874	17,23
Membrane O_x stress*			104,118	104,118	104,118	104,118	90,183	90,183	118,052	118,052
SP-1 to 10*	$\frac{N_y \cdot T}{P}$	0,0488	-3,261	-3,261	-3,261	-3,261	-3,261	-3,261	-3,261	-3,261
SP-1 to 10	$\frac{M_y}{P}$	0,0077	-3,096	3,096	-3,096	3,096	-3,096	3,096	-3,096	3,096
SM-1 to 10*	$\frac{N_y \cdot T \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_1}$	0,0434	0	0	0	0	-23,635	-23,635	23,635	23,635
SM-1 to 10	$\frac{M_y \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_1}$	0,0117	0	0	0	0	-38,169	38,169	38,169	-38,169
SM-1 to 10*	$\frac{N_y \cdot T \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_2}$	0,0434	0	0	0	0	0	0	0	0
SM-1 to 10	$\frac{M_y \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_2}$	0,0117	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressure stress*			105,779	105,779	105,779	105,779	105,779	105,779	105,779	105,779
Total O_y stress			99,422	105,614	99,422	105,614	37,618	120,148	161,227	91,08
Membrane O_y stress*			102,518	102,518	102,518	102,518	78,883	78,883	126,153	126,153
Shear from M_t			1,717	1,717	1,717	1,717	1,717	1,717	1,717	1,717
Shear from V₁			0	0	0	0	0	0	0	0
Shear from V₂			0,772	0,772	-0,772	-0,772	0	0	0	0
Total Shear stress			2,489	2,489	0,945	0,945	1,717	1,717	1,717	1,717
Combined stress (P_L+P_b+Q)			100,319	115,432	99,567	114,901	69,713	212,414	218,922	91,121
(1) * denotes primary stress. (2) The nozzle is analyzed as a hollow attachment.										

Longitudinal stress in the nozzle wall due to internal pressure + external loads

$$\sigma_{n(Pm)} = \frac{P \cdot R_i}{2 \cdot t_n} - \frac{P_r}{\pi \cdot (R_o^2 - R_i^2)} + \frac{M \cdot R_o}{I}$$

$$= \frac{0,8163 \cdot 178,61}{2 \cdot 24,59} - \frac{12,000}{\pi \cdot (203,2^2 - 178,61^2)} + \frac{1,347E+07 \cdot 203,2}{539,66E+06}$$

$$= 7,63 \text{ MPa}$$

The average primary stress P_m (see Division 2 5.6.a.1) across the nozzle wall due to internal pressure + external loads is acceptable ($\leq S = 75,3$ MPa)

Shear stress in the nozzle wall due to external loads

$$\sigma_{shear} = \frac{\sqrt{V_1^2 + V_2^2}}{\pi \cdot R_i \cdot t_n} = \frac{\sqrt{0^2 + 6.630^2}}{\pi \cdot 178,61 \cdot 24,59} = 0,481 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{torsion} = \frac{M_t}{2 \cdot \pi \cdot R_i^2 \cdot t_n} = \frac{5,980}{2 \cdot \pi \cdot 178,61^2 \cdot 24,59} = 1,213 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{total} = \sigma_{shear} + \sigma_{torsion} = 0,481 + 1,213 = 1,694 \text{ MPa}$$

UG-45: The total combined shear stress (1,694 MPa) \leq allowable ($0,7 \cdot S_n = 0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa)

Reinforcement Calculations for MAWP

Local stresses at the nozzle OD per WRC 537 govern the MAWP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,02 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
26,3158	33,2154	21,6574	10,4948	--	--	1,0632	9,93	26,19

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
70.803	117.892	1.059.925	167.507	687.386

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	8,35	8,4	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	16,75	16,8	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	8,35	8,4	weld size is adequate

WRC 537												
Load Case	P (MPa)	P _r (N)	M ₁ (N-m)	V ₂ (N)	M ₂ (N-m)	V ₁ (N)	M _t (N-m)	Max Comb Stress (MPa)	Allow Comb Stress (MPa)	Max Local Primary Stress (MPa)	Allow Local Primary Stress (MPa)	Over stressed
Càrregues dinàmiques de l'agitador	1,0234	12.000	13.470	6.630	0	0	5.980	245,764	306	152,995	153	No

Calculations for internal pressure 1,02 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [357,23, 178,61 + (26,19 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 357,23 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (26,19 - 1,6) + 0] \\
 &= 33,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,0234 \cdot 178,61}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,0234} \\
 &= 2,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,0234 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,0234 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 7,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,0234 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,0234 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,36 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned}
 A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\
 &= (357,23 \cdot 7,11 \cdot 1 + 2 \cdot 24,59 \cdot 7,11 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
 &= \underline{26.3158} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{21.6574} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
 &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
 &= (357,23 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,11) - 2 \cdot 24,59 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,11) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
 &= 21,6574 \text{ cm}^2 \\
 &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
 &= (2 \cdot (13,4 + 24,59) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,11) - 2 \cdot 24,59 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,11) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
 &= 3,9684 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{10.4948} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\
 &= (2 \cdot (24,59 - 2,45) \cdot 0,7382 \cdot 32,11)/100 \\
 &= 10,4948 \text{ cm}^2 \\
 &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\
 &= (2 \cdot (24,59 - 2,45) \cdot 0,7382 \cdot 32,11)/100 \\
 &= 10,4948 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\
 &= (12^2 \cdot 0,7382)/100 \\
 &= \underline{1,0632} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 21,6574 + 10,4948 + 1,0632 \\
 &= \underline{33,2154} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 13,4 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{6} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 12 = 8,4 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 8,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 16,8 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{16,75}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,0234 \cdot 178,61}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,0234} + 1,6 \\
 &= 4,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{aUG-22} = 4,24 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [4,05, 4,24] \\
 &= 4,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{bl} = 10,96 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [10,96, 3,1] \\
 &= 10,96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{bl}] \\
 &= \min [9,93, 10,96] \\
 &= 9,93 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
&= \max [4,24, 9,93] \\
&= \underline{9,93} \text{ mm}
\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 26,19$ mm

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 406,4 \cdot 12 \cdot 36,897 = 282.648,01 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 381,81 \cdot 24,59 \cdot 52,71 = 777.276,99 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 406,4 \cdot 8,4 \cdot 75,48 = 404.738,45 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (2.631,5812 - 2.165,7376 + 2 \cdot 24,59 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,11)) \cdot 102 \\
&= \underline{70.803,45} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (1.049,4818 + 0 + 106,3224 + 0) \cdot 102 \\
&= \underline{117.892,04} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (1.049,4818 + 0 + 106,3224 + 0 + 2 \cdot 24,59 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{167.507,29} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 70.803,45$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $282.648,01 + 777.276,99 = 1.059.925$ N

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 70.803,45$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $282.648,01 + 404.738,45 = 687.386,46$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

WRC 537 Càrregues dinàmiques de l'agitador

Applied Loads	
Radial load, P_r	12.000 N
Circumferential moment, M_1	13.470 N-m
Circumferential shear, V_2	6.630 N
Longitudinal moment, M_2	0 N-m
Longitudinal shear, V_1	0 N
Torsion moment, M_t	5.980 N-m
Internal pressure, P	1,0234 MPa
Mean dish radius, R_m	1.416,3 mm
Local head thickness, T	13,4 mm
Design factor	3

Maximum stresses due to the applied loads at the nozzle OD (includes pressure)

$$\gamma = \frac{r_m}{t} = \frac{190,91}{24,59} = 7,7644$$

$$\rho = \frac{T}{t} = \frac{13,4}{24,59} = 0,545$$

$$U = \frac{r_o}{\sqrt{R_m \cdot T}} = \frac{203,2}{\sqrt{1.416,3 \cdot 13,4}} = 1,475$$

WRC 537 Nondimensional Coefficients								
$Y = \frac{a + c \cdot U + e \cdot U^2 + g \cdot U^3 + i \cdot U^4}{1 + b \cdot U + d \cdot U^2 + f \cdot U^3 + h \cdot U^4 + j \cdot U^5}$								
$\gamma = 5$ $\rho = 0,25$	SP-1				SM-1			
	M_x	M_y	N_x	N_y	M_x	M_y	N_x	N_y
a	3,7231	1,9183	0,2132	0,2459	5,5747	3,4183	48,225	10,3039
b	186,7198	719,3115	4,205	200,0895	6,9409	30,765	3.880,8868	-589,9236
c	26,4368	74,3354	0,1092	48,4085	-23,5691	-68,1701	626,1306	-191,2477
d	1.419,4954	2.645,2748	5,4914	253,4566	31,0499	-855,2551	44.477,21	4.701,8017
e	648,0076	-45,7362	1,408	-25,0342	113,9108	390,7493	4.895,8788	838,6609
f	9.734,6418	913,8857	24,927	15,8664	221,0402	4.747,865	3.024,9996	-1.873,4948
g	-160,348	-5,3218	-0,244	5,4387	-26,0412	-102,347	-387,7985	-129,3938
h	0	-2.598,337	0	0	584,8641	5.154,7728	59.637,35	6.245,6511
i	0	5,7655	0	0	0	0	0	0
j	0	796,5845	0	0	0	0	0	0
Y	0,0271	0,0074	0,0268	0,0386	0,038	0,0112	0,0263	0,0346

WRC 537 Nondimensional Coefficients								
$Y = \frac{a + c \cdot U + e \cdot U^2 + g \cdot U^3 + i \cdot U^4}{1 + b \cdot U + d \cdot U^2 + f \cdot U^3 + h \cdot U^4 + j \cdot U^5}$								
$\gamma = 5$ $\rho = 1$	SP-2				SM-2			
	M_x	M_y	N_x	N_y	M_x	M_y	N_x	N_y
a	0,6211	0,3627	4,244	0,147	11,647	3,0505	2,3258	-0,0608
b	21,6273	44,9628	2.909,7533	-1,6443	44,8126	18,7157	7,2896	-4,1861
c	2,9619	3,7254	670,6484	0,1238	-215,542	-13,8221	-10,6212	0,3339
d	29,2309	98,0346	7.883,0399	29,843	-990,6785	-19,0976	46,1723	9,0989
e	2,1842	-0,2704	-1.025,2729	5,3816	1.206,7112	24,6135	23,7824	-0,3729
f	86,1406	137,5921	-15.335,94	6,1433	5.063,1144	-108,1759	-198,2298	-7,5883
g	-0,3873	0	482,899	-3,3272	-398,6713	-6,4014	18,2767	0,2136
h	0	0	6.934,936	1,2597	5.228,5657	373,4437	767,1196	2,6114
i	0	0	-34,8626	0,5351	0	0	0	-0,0422
j	0	0	0	0	0	0	0	0
Y	0,0228	0,0073	0,0292	0,0437	0,0267	0,0111	0,0312	0,0403

WRC 537 Nondimensional Coefficients								
$Y = \frac{a + c \cdot U + e \cdot U^2 + g \cdot U^3 + i \cdot U^4}{1 + b \cdot U + d \cdot U^2 + f \cdot U^3 + h \cdot U^4 + j \cdot U^5}$								
$\gamma = 15$ $\rho = 1$	SP-5				SM-5			
	M_x	M_y	N_x	N_y	M_x	M_y	N_x	N_y
a	2,5313	0,2573	0,2148	0,2565	5,0495	2,3071	1,3095	-0,0934
b	473,1618	0,6261	75,2962	-4,0038	9,0562	10,326	7,1691	-5,4435
c	188,3279	-3,2878	11,984	-1,0345	-14,0471	-11,3673	-4,9409	0,5761
d	3.838,2426	-118,1855	347,0785	5,3696	47,3217	26,4081	25,6386	18,6046
e	276,3502	12,6432	-2,8446	0,6823	32,2135	28,751	30,6153	-0,5013
f	3.999,8712	597,9902	-59,4988	-7,5639	-73,3031	-148,3722	362,4322	-21,4549
g	-70,677	-5,5092	0	1,7989	-10,377	-3,0892	-19,9268	0,5988
h	0	-163,2562	0	21,8984	206,2954	706,8852	-74,8696	13,0083
i	0	0,5296	0	-0,7141	2,0028	0	4,1492	0
j	0	0	0	-7,0392	0	0	0	0
Y	0,0299	0,0087	0,0173	0,0705	0,0356	0,013	0,0186	0,0607

Note: ρ is outside the bounds. $\rho = 1$ used.

Pressure stress intensity factor, $I = 2,4637$ (derived from Division 2 Part 4.5)

$$\text{Local pressure stress} = \frac{I \cdot P \cdot R_i}{2 \cdot T} = 132,621 \text{ MPa}$$

Maximum combined stress ($P_L + P_b + Q$) = 245,76 MPa

Allowable combined stress ($P_L + P_b + Q$) = $\pm 3 \cdot S = \pm 306$ MPa

Note: The allowable combined stress ($P_L + P_b + Q$) is based on the strain hardening characteristics of this material.

The maximum combined stress ($P_L + P_b + Q$) is within allowable limits.

Maximum local primary membrane stress (P_L) = 152,99 MPa

Allowable local primary membrane stress (P_L) = $\pm 1,5 \cdot S = \pm 153$ MPa

The maximum local primary membrane stress (P_L) is within allowable limits.

Stresses at the nozzle OD per WRC Bulletin 537										
Figure	Y		A _u	A _l	B _u	B _l	C _u	C _l	D _u	D _l
SP-1 to 10*	$\frac{N_x \cdot T}{P}$	0,0248	-1,662	-1,662	-1,662	-1,662	-1,662	-1,662	-1,662	-1,662
SP-1 to 10	$\frac{M_x}{P}$	0,0267	-10,687	10,687	-10,687	10,687	-10,687	10,687	-10,687	10,687
SM-1 to 10*	$\frac{N_x \cdot T \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_1}$	0,0256	0	0	0	0	-13,934	-13,934	13,934	13,934
SM-1 to 10	$\frac{M_x \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_1}$	0,0341	0	0	0	0	-111,509	111,509	111,509	-111,509
SM-1 to 10*	$\frac{N_x \cdot T \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_2}$	0,0256	0	0	0	0	0	0	0	0
SM-1 to 10	$\frac{M_x \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_2}$	0,0341	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressure stress*			132,621	132,621	132,621	132,621	132,621	132,621	132,621	132,621
Total O_x stress			120,272	141,646	120,272	141,646	-5,171	239,22	245,715	44,071
Membrane O_x stress*			130,959	130,959	130,959	130,959	117,025	117,025	144,893	144,893
SP-1 to 10*	$\frac{N_y \cdot T}{P}$	0,0488	-3,261	-3,261	-3,261	-3,261	-3,261	-3,261	-3,261	-3,261
SP-1 to 10	$\frac{M_y}{P}$	0,0077	-3,096	3,096	-3,096	3,096	-3,096	3,096	-3,096	3,096
SM-1 to 10*	$\frac{N_y \cdot T \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_1}$	0,0434	0	0	0	0	-23,635	-23,635	23,635	23,635
SM-1 to 10	$\frac{M_y \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_1}$	0,0117	0	0	0	0	-38,169	38,169	38,169	-38,169
SM-1 to 10*	$\frac{N_y \cdot T \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_2}$	0,0434	0	0	0	0	0	0	0	0
SM-1 to 10	$\frac{M_y \cdot \sqrt{R_m \cdot T}}{M_2}$	0,0117	0	0	0	0	0	0	0	0
Pressure stress*			132,621	132,621	132,621	132,621	132,621	132,621	132,621	132,621
Total O_y stress			126,264	132,455	126,264	132,455	64,459	146,989	188,068	117,921
Membrane O_y stress*			129,359	129,359	129,359	129,359	105,724	105,724	152,995	152,995
Shear from M_t			1,717	1,717	1,717	1,717	1,717	1,717	1,717	1,717
Shear from V₁			0	0	0	0	0	0	0	0
Shear from V₂			0,772	0,772	-0,772	-0,772	0	0	0	0
Total Shear stress			2,489	2,489	0,945	0,945	1,717	1,717	1,717	1,717
Combined stress (P_L+P_b+Q)			127,16	142,273	126,408	141,742	69,713	239,255	245,764	117,962
(1) * denotes primary stress. (2) The nozzle is analyzed as a hollow attachment.										

Longitudinal stress in the nozzle wall due to internal pressure + external loads

$$\sigma_{n(Pm)} = \frac{P \cdot R_i}{2 \cdot t_n} - \frac{P_r}{\pi \cdot (R_o^2 - R_i^2)} + \frac{M \cdot R_o}{I}$$

$$= \frac{1,0234 \cdot 178,61}{2 \cdot 24,59} - \frac{12,000}{\pi \cdot (203,2^2 - 178,61^2)} + \frac{1,347E+07 \cdot 203,2}{539,66E+06}$$

$$= 8,382 \text{ MPa}$$

The average primary stress P_m (see Division 2 5.6.a.1) across the nozzle wall due to internal pressure + external loads is acceptable ($\leq S = 75,3$ MPa)

Shear stress in the nozzle wall due to external loads

$$\sigma_{shear} = \frac{\sqrt{V_1^2 + V_2^2}}{\pi \cdot R_i \cdot t_n} = \frac{\sqrt{0^2 + 6.630^2}}{\pi \cdot 178,61 \cdot 24,59} = 0,481 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{torsion} = \frac{M_t}{2 \cdot \pi \cdot R_i^2 \cdot t_n} = \frac{5,980}{2 \cdot \pi \cdot 178,61^2 \cdot 24,59} = 1,213 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{total} = \sigma_{shear} + \sigma_{torsion} = 0,481 + 1,213 = 1,694 \text{ MPa}$$

UG-45: The total combined shear stress (1,694 MPa) \leq allowable ($0,7 \cdot S_n = 0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa)

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
24,4859	45,7586	28,618	15,7006	-	-	1,44	8,33	26,19

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
1,169	197,117	1,690,693	287,464	974,921

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [354,03, 177,01 + (26,19 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 354,03 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (26,19 - 0) + 0] \\
 &= 37,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 177,01}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 1,74 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (354,03 \cdot 6,92 \cdot 1 + 2 \cdot 26,19 \cdot 6,92 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{24,4859} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{28,618} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (354,03 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 26,19 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 28,618 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 26,19) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 26,19 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 6,6587 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{15,7006} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\ &= (2 \cdot (26,19 - 1,74) \cdot 1 \cdot 32,11)/100 \\ &= 15,7006 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\ &= (2 \cdot (26,19 - 1,74) \cdot 1 \cdot 32,11)/100 \\ &= 15,7006 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= L e g^2 \cdot f_{r2} \\ &= (12^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{1,44} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 28,618 + 15,7006 + 1,44 \\ &= \underline{45,7586} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 177,01}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 1,74 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{aUG-22} = 1,82 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [1,74, 1,82] \\
 &= 1,82 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,11, 1,5] \\
 &= 9,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [8,33, 9,11] \\
 &= 8,33 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [1,82, 8,33] \\
 &= \underline{8,33} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 26,19 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 406,4 \cdot 12 \cdot 56,35 = 431.666,95 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 380,21 \cdot 26,19 \cdot 80,5 = 1.259.026 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 406,4 \cdot 10 \cdot 85,1 = 543.254,32 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (2.448,587 - 2.861,8007 + 2 \cdot 26,19 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92)) \cdot 115 \\
&= \underline{1.168,65} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (1.570,0614 + 0 + 143,9997 + 0) \cdot 115 \\
&= \underline{197.117.05} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (1.570,0614 + 0 + 143,9997 + 0 + 2 \cdot 26,19 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
&= \underline{287.463.59} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 1.168,65 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $431.666,95 + 1.259.026 = \underline{1.690.692,95} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 1.168,65 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $431.666,95 + 543.254,32 = \underline{974.921,27} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,6 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
34,88	34,8832	18,2238	15,2193	-	-	1,44	8,33	26,19

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
222.550	191.582	1.690.693	281.929	974.921

Calculations for internal pressure 1,6 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [354,03, 177,01 + (26,19 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 354,03 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (26,19 - 0) + 0] \\
 &= 37,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,6013 \cdot 177,01}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,6013} \\
 &= 2,49 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,6013 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,6013 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,6013 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,6013 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,97 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (354,03 \cdot 9,85 \cdot 1 + 2 \cdot 26,19 \cdot 9,85 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{34,88} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{18,2238} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (354,03 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,85) - 2 \cdot 26,19 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,85) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 18,2238 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 26,19) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,85) - 2 \cdot 26,19 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,85) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 4,2406 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{15,2193} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\ &= (2 \cdot (26,19 - 2,49) \cdot 1 \cdot 32,11)/100 \\ &= 15,2193 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot L_{pr} \\ &= (2 \cdot (26,19 - 2,49) \cdot 1 \cdot 32,11)/100 \\ &= 15,2193 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (12^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{1,44} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 18,2238 + 15,2193 + 1,44 \\ &= \underline{34,8832} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,6013 \cdot 177,01}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,6013} + 0 \\ &= 2,49 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{aUG-22} = 2,23 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [2,49, 2,23] \\ &= 2,49 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 12,97 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,97, 1,5] \\ &= 12,97 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [8,33, 12,97] \\ &= 8,33 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [2,49, 8,33] \\ &= 8,33 \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 26,19 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 406,4 \cdot 12 \cdot 56,35 = 431.666,95 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 380,21 \cdot 26,19 \cdot 80,5 = 1.259.026 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 406,4 \cdot 10 \cdot 85,1 = 543.254,32 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (3.488 - 1.822,3835 + 2 \cdot 26,19 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,85)) \cdot 115 \\
&= \underline{222.550,42} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (1.521,9324 + 0 + 143,9997 + 0) \cdot 115 \\
&= \underline{191.582,22} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (1.521,9324 + 0 + 143,9997 + 0 + 2 \cdot 26,19 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
&= \underline{281.928,76} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 191.582,22$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $431.666,95 + 1.259.026 = \underline{1.690.692,95}$ N

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 222.550,42$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $431.666,95 + 543.254,32 = \underline{974.921,27}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Brida agitador

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric , Appendix 2 Flange Calculations				
Flange Type		Weld neck integral		
Attachment Type		Figure 2-4 sketch (6a)		
Flange Material		SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)		
Attached To		N7 (N7)		
Impact Tested	Normalized	Fine Grain Practice	PWHT	Maximize MDMT/ No MAWP
No	No	No	No	No
		Design Pressure (MPa)	Design Temperature (°C)	Design MDMT (°C)
Internal		0,4234	260	-10
Static Liquid Head				
Condition		P_s (MPa)		
Operating		0		
Dimensions				
Flange OD, A	596,9 mm	<p>The diagram shows a cross-section of a weld neck flange. Dimension A is the outer diameter of the flange. Dimension B is the inner diameter of the flange. Dimension C is the diameter of the bolt circle. Gasket OD and Gasket ID are the outer and inner diameters of the gasket. t is the flange thickness. h is the hub length. e is the length of the neck. g1 is the hub thickness. k-g0 is the neck thickness.</p>		
Flange ID, B	381 mm			
Bolt Circle, C	539,75 mm			
Gasket OD	490 mm			
Gasket ID	450 mm			
Flange Thickness, t	35 mm			
Hub Thickness, g₁	40 mm			
Hub Thickness, g₀	12,7 mm			
Hub Length, h	50 mm			
Length, e	127 mm			
Corrosion Bore	0 mm			
Corrosion Flange	0 mm			
Bolting				
Material	SA-193 B7 Bolt ≤ 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)			
Description	16 - M27 x 3			
Corrosion on root	0 mm			
Gasket				
Type	Kammprofile			
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite			
Factor, m	2,75			
Seating Stress, y	25,511 MPa			
Thickness, T	4,45 mm			
Weight (kg)				
New	65,63 kg			
Corroded	65,63 kg			
Radiography				
Longitudinal seam	Seamless No RT			
Left Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1			

Results Summary	
Flange design thickness:	30,07 mm
Maximum allowable working pressure, MAWP:	1,6998 MPa @ 260 °C
Maximum allowable pressure, MAP:	2,596 MPa @ 20 °C
Rated MDMT	-48 °C

Note: this flange is calculated as an integral type.

UHA-51 Material Toughness Requirements	
Stress ratio = $\frac{0,8163}{2,596} =$	0,3144
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,3144)	
Rated MDMT =	-196°C
Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) =	-48°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Stress Summary										
			P (MPa)	S _H (MPa)	Allow (MPa)	S _R (MPa)	S _T (MPa)	(S _H + S _R) / 2 (MPa)	(S _H + S _T) / 2 (MPa)	Allow (MPa)
MAWP	Weight Only	Oper	1,6998	77.062	112,95	73.537	28.463	75.3	52.762	75,3
		Seating		92.848	172,5	88.602	34.293	90.725	63.571	115
MAP	Weight Only	Oper	2,596	117.691	172,5	112.309	43.469	115	80.58	115
		Seating		105.808	172,5	100.968	39.08	103.388	72.444	115

Bolt Summary						
			P (MPa)	W (N)	A _m (cm ²)	A _b (cm ²)
MAWP	Weight Only	Oper	1,6998	410.077.17	23.84	66,22
		Seating		300.245.87	17.46	
MAP	Weight Only	Oper	2,596	626.282.67	36.41	66,22
		Seating		300.245.87	17.46	

Rigidity Summary					
			P (MPa)	J	Allow
MAWP	Weight Only	Oper	1,6998	0.2712	1
		Seating		0.2985	1
MAP	Weight Only	Oper	2,596	0.3783	1
		Seating		0.3402	1

Flange calculations for MAWP

Gasket details from facing sketch 1(a) or (b), Column II

Gasket width N = 20 mm

$$b_0 = \frac{N}{2} = 10 \text{ mm}$$

Effective gasket seating width, $b = 2,5 \cdot \sqrt{b_0} = 7,9 \text{ mm}$

$$G = \text{gasket OD} - 2 \cdot b = 490 - 2 \cdot 7,9 = 474,19 \text{ mm}$$

$$h_G = \frac{C - G}{2} = \frac{539,75 - 474,19}{2} = 32,78 \text{ mm}$$

$$h_D = R + \frac{g_1}{2} = 39,38 + \frac{40}{2} = 59,38 \text{ mm}$$

$$h_T = \frac{R + g_1 + h_G}{2} = \frac{39,38 + 40 + 32,78}{2} = 56,08 \text{ mm}$$

$$H_p = 2 \cdot b \cdot 3,14 \cdot G \cdot m \cdot P = 2 \cdot 7,9 \cdot 3,14 \cdot 474,19 \cdot 2,75 \cdot 1,6998 = 110.033,9 \text{ N}$$

$$H = 0,785 \cdot G^2 \cdot P = 0,785 \cdot 474,19^2 \cdot 1,6998 = 300.043,27 \text{ N}$$

$$H_D = 0,785 \cdot B^2 \cdot P = 0,785 \cdot 381^2 \cdot 1,6998 = 193.698,9 \text{ N}$$

$$H_T = H - H_D = 300.043,27 - 193.698,9 = 106.344,37 \text{ N}$$

$$W_{m1} = H + H_p = 300.043,27 + 110.033,9 = \underline{410.077,17 \text{ N}}$$

$$W_{m2} = 3,14 \cdot b \cdot G \cdot y = 3,14 \cdot 7,9 \cdot 474,19 \cdot 25,5106 = \underline{300.245,87 \text{ N}}$$

Required bolt area, A_m = greater of A_{m1} , $A_{m2} = 23,8417 \text{ cm}^2$

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b} = \frac{410.077,17}{(100 \cdot 172)} = \underline{23,8417 \text{ cm}^2}$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a} = \frac{300.245,87}{(100 \cdot S_b)} = \underline{17,4562 \text{ cm}^2}$$

Total area for 16 - M27 x 3 bolts, corroded, $A_b = 66,2163 \text{ cm}^2$

$$W = \frac{(A_m + A_b) \cdot S_a}{2} = \frac{(2.384,1693 + 6.621,632) \cdot 172}{2} = 774.499,01 \text{ N}$$

$$M_D = H_D \cdot h_D = 193.698,9 \cdot 0,0594 = 11.500,9 \text{ N-m}$$

$$M_T = H_T \cdot h_T = 106.344,37 \cdot 0,0561 = 5.963,5 \text{ N-m}$$

$$H_G = W_{m1} - H = 410.077,17 - 300.043,27 = 110.033,9 \text{ N}$$

$$M_G = H_G \cdot h_G = 110.033,9 \cdot 0,0328 = 3.606,9 \text{ N-m}$$

$$M_o = M_D + M_T + M_G = 11.500,9 + 5.963,5 + 3.606,9 = 21.071,2 \text{ N-m}$$

$$M_g = W \cdot h_G = 774.499,01 \cdot 0,0328 = 25.387,7 \text{ N-m}$$

Hub and Flange Factors

$$g_0 = \min(g_0, t_n) = \min(12,7, 24,59) = 12,7 \text{ mm}$$

$$h_0 = \sqrt{B \cdot g_0} = \sqrt{381 \cdot 11,11} = 65,07 \text{ mm}$$

$$\text{From FIG. 2-7.1, where } K = \frac{A}{B} = \frac{596,9}{381} = 1,5667$$

$$T = 1,6818 \quad Z = 2,3751 \quad Y = 4,4991 \quad U = 4,9441$$

$$\frac{h}{h_0} = 0,7684 \quad \frac{g_1}{g_0} = 3,1496$$

$$F = 0,7381 \quad V = 0,0996 \quad e = \frac{F}{h_0} = 0,1134$$

$$d = \left(\frac{U}{V}\right) \cdot h_0 \cdot g_0^2 = \left(\frac{4,9441}{0,0996}\right) \cdot 6,5068 \cdot 1,1113^2 = 398,9925 \text{ cm}^3$$

Stresses at operating conditions - VIII-1 Appendix 2-7

$$f = 1,6012$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = \frac{3,5 \cdot 0,1134 + 1}{1,6818} + \frac{3,5^3}{398,9925} = 0,9381$$

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = \frac{1e3 \cdot 1,6012 \cdot 21.071,2}{0,9381 \cdot 35^2 \cdot 381} = 77.062 \text{ MPa}$$

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = \frac{(1,33 \cdot 35 \cdot 0,1134 + 1) \cdot 1e3 \cdot 21.071,2}{0,9381 \cdot 35^2 \cdot 381} = 73.537 \text{ MPa}$$

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = \frac{1e3 \cdot 4,4991 \cdot 21.071,2}{35^2 \cdot 381} - 2,3751 \cdot 73,537 = 28,463 \text{ MPa}$$

Allowable stress $S_{fo} = 75,3 \text{ MPa}$

Allowable stress $S_{no} = 75,3 \text{ MPa}$

S_T does not exceed S_{fo}

S_H does not exceed $\min [1,5 \cdot S_{fo}, 2,5 \cdot S_{no}] = 112,95 \text{ MPa}$

S_R does not exceed S_{fo}

$$\frac{S_H + S_R}{2} = 75.3 \text{ MPa does not exceed } S_{fo}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = 52.762 \text{ MPa does not exceed } S_{fo}$$

Flange rigidity at operating per VIII-1 Appendix 2-14

$$J = 52,14 \cdot V \cdot \frac{M_o}{L \cdot E \cdot g_0^2 \cdot K_f \cdot h_0} = 52,14 \cdot 0,0996 \cdot \frac{21.071,2}{0,9381 \cdot 178,4E+03 \cdot 11,11^2 \cdot 0,3 \cdot 65,07} = 0,2712$$

The flange rigidity index J does not exceed 1; satisfactory.

Stresses at gasket seating - VIII-1 Appendix 2-7

$$S_H = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = \frac{1e3 \cdot 1,6012 \cdot 25.387,7}{0,9381 \cdot 35^2 \cdot 381} = 92.848 \text{ MPa}$$

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B} = \frac{(1,33 \cdot 35 \cdot 0,1134 + 1) \cdot 1e3 \cdot 25.387,7}{0,9381 \cdot 35^2 \cdot 381} = 88.602 \text{ MPa}$$

$$S_T = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = \frac{4,4991 \cdot 1e3 \cdot 25.387,7}{35^2 \cdot 381} - 2,3751 \cdot 88,602 = 34,293 \text{ MPa}$$

Allowable stress $S_{fa} = 115 \text{ MPa}$

Allowable stress $S_{na} = 115 \text{ MPa}$

S_T does not exceed S_{fa}

S_H does not exceed $\min [1,5 \cdot S_{fa}, 2,5 \cdot S_{na}] = 172,5$ MPa

S_R does not exceed S_{fa}

$$\frac{S_H + S_R}{2} = \underline{90,725} \text{ MPa does not exceed } S_{fa}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = \underline{63,571} \text{ MPa does not exceed } S_{fa}$$

Flange rigidity at gasket seating per VIII-1 Appendix 2-14

$$J = 52,14 \cdot V \cdot \frac{M_g}{L \cdot E \cdot g_0^2 \cdot K_T \cdot h_0} = 52,14 \cdot 0,0996 \cdot \frac{25.387,7}{0,9381 \cdot 195,23E+03 \cdot 11,11^2 \cdot 0,3 \cdot 65,07} = \underline{0,2985}$$

The flange rigidity index J does not exceed 1; satisfactory.

Flange calculations for MAP

Gasket details from facing sketch 1(a) or (b), Column II

Gasket width $N = 20$ mm

$$b_0 = \frac{N}{2} = 10 \text{ mm}$$

Effective gasket seating width, $b = 2,5 \cdot \sqrt{b_0} = 7,9$ mm

$$G = \text{gasket OD} - 2 \cdot b = 490 - 2 \cdot 7,9 = 474,19 \text{ mm}$$

$$h_G = \frac{C - G}{2} = \frac{539,75 - 474,19}{2} = 32,78 \text{ mm}$$

$$h_D = R + \frac{g_1}{2} = 39,38 + \frac{40}{2} = 59,38 \text{ mm}$$

$$h_T = \frac{R + g_1 + h_G}{2} = \frac{39,38 + 40 + 32,78}{2} = 56,08 \text{ mm}$$

$$H_p = 2 \cdot b \cdot 3,14 \cdot G \cdot m \cdot P = 2 \cdot 7,9 \cdot 3,14 \cdot 474,19 \cdot 2,75 \cdot 2,596 = 168.047,22 \text{ N}$$

$$H = 0,785 \cdot G^2 \cdot P = 0,785 \cdot 474,19^2 \cdot 2,596 = 458.235,45 \text{ N}$$

$$H_D = 0,785 \cdot B^2 \cdot P = 0,785 \cdot 381^2 \cdot 2,596 = 295.823,01 \text{ N}$$

$$H_T = H - H_D = 458.235,45 - 295.823,01 = 162.412,44 \text{ N}$$

$$W_{m1} = H + H_p = 458.235,45 + 168.047,22 = \underline{626.282,67 \text{ N}}$$

$$W_{m2} = 3,14 \cdot b \cdot G \cdot y = 3,14 \cdot 7,9 \cdot 474,19 \cdot 25,5106 = \underline{300.245,87 \text{ N}}$$

Required bolt area, $A_m = \text{greater of } A_{m1}, A_{m2} = 36,4118 \text{ cm}^2$

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_b} = \frac{626.282,67}{(100 \cdot 172)} = \underline{36,4118 \text{ cm}^2}$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_a} = \frac{300.245,87}{(100 \cdot S_b)} = \underline{17,4562 \text{ cm}^2}$$

Total area for 16 - M27 x 3 bolts, corroded, $A_b = 66,2163 \text{ cm}^2$

$$W = \frac{(A_m + A_b) \cdot S_a}{2} = \frac{(3.641,1778 + 6.621,632) \cdot 172}{2} = 882.601,76 \text{ N}$$

$$M_D = H_D \cdot h_D = 295.823,01 \cdot 0,0594 = 17.564,5 \text{ N-m}$$

$$M_T = H_T \cdot h_T = 162.412,44 \cdot 0,0561 = 9.107,6 \text{ N-m}$$

$$H_G = W_{ml} - H = 626.282,67 - 458.235,45 = 168.047,22 \text{ N}$$

$$M_G = H_G \cdot h_G = 168.047,22 \cdot 0,0328 = 5.508,5 \text{ N-m}$$

$$M_o = M_D + M_T + M_G = 17.564,5 + 9.107,6 + 5.508,5 = 32.180,6 \text{ N-m}$$

$$M_g = W \cdot h_G = 882.601,76 \cdot 0,0328 = 28.931,2 \text{ N-m}$$

Hub and Flange Factors

$$g_0 = \min(g_0, t_n) = \min(12,7, 26,19) = 12,7 \text{ mm}$$

$$h_0 = \sqrt{B \cdot g_0} = \sqrt{381 \cdot 11,11} = 65,07 \text{ mm}$$

$$\text{From FIG. 2-7.1, where } K = \frac{A}{B} = \frac{596,9}{381} = 1,5667$$

$$T = 1,6818 \quad Z = 2,3751 \quad Y = 4,4991 \quad U = 4,9441$$

$$\frac{h}{h_0} = 0,7684 \quad \frac{g_1}{g_0} = 3,1496$$

$$F = 0,7381 \quad V = 0,0996 \quad e = \frac{F}{h_0} = 0,1134$$

$$d = \left(\frac{U}{V}\right) \cdot h_0 \cdot g_0^2 = \left(\frac{4,9441}{0,0996}\right) \cdot 6,5068 \cdot 1,1113^2 = 398,9925 \text{ cm}^3$$

Stresses at operating conditions - VIII-1 Appendix 2-7

$$f = 1,6012$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d} = \frac{3,5 \cdot 0,1134 + 1}{1,6818} + \frac{3,5^3}{398,9925} = 0,9381$$

$$S_H = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = \frac{1e3 \cdot 1,6012 \cdot 32.180,6}{0,9381 \cdot 35^2 \cdot 381} = \underline{117.691 \text{ MPa}}$$

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{L \cdot t^2 \cdot B} = \frac{(1,33 \cdot 35 \cdot 0,1134 + 1) \cdot 1e3 \cdot 32.180,6}{0,9381 \cdot 35^2 \cdot 381} = \underline{112.309 \text{ MPa}}$$

$$S_T = \frac{Y \cdot M_o}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = \frac{1e3 \cdot 4,4991 \cdot 32.180,6}{35^2 \cdot 381} - 2,3751 \cdot 112,309 = \underline{43.469 \text{ MPa}}$$

Allowable stress $S_{fo} = 115 \text{ MPa}$

Allowable stress $S_{no} = 115 \text{ MPa}$

S_T does not exceed S_{fo}

S_H does not exceed $\min[1,5 \cdot S_{fo}, 2,5 \cdot S_{no}] = 172,5 \text{ MPa}$

S_R does not exceed S_{fo}

$$\frac{S_H + S_R}{2} = \underline{115 \text{ MPa}} \text{ does not exceed } S_{fo}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = \underline{80,58 \text{ MPa}} \text{ does not exceed } S_{fo}$$

Flange rigidity at operating per VIII-1 Appendix 2-14

$$J = 52,14 \cdot V \cdot \frac{M_o}{L \cdot E \cdot g_0^2 \cdot K_I \cdot h_0} = 52,14 \cdot 0,0996 \cdot \frac{32.180,6}{0,9381 \cdot 195,3E+03 \cdot 11,11^2 \cdot 0,3 \cdot 65,07} = \underline{0.3783}$$

The flange rigidity index J does not exceed 1; satisfactory.

Stresses at gasket seating - VIII-1 Appendix 2-7

$$S_H = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B} = \frac{1e3 \cdot 1,6012 \cdot 28.931,2}{0,9381 \cdot 35^2 \cdot 381} = \underline{105.808 \text{ MPa}}$$

$$S_R = \frac{(1,33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B} = \frac{(1,33 \cdot 35 \cdot 0,0113 + 1) \cdot 1e3 \cdot 28.931,2}{0,9381 \cdot 35^2 \cdot 381} = \underline{100.968 \text{ MPa}}$$

$$S_T = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot S_R = \frac{4,4991 \cdot 1e3 \cdot 28.931,2}{35^2 \cdot 381} - 2,3751 \cdot 100,968 = \underline{39.08 \text{ MPa}}$$

Allowable stress $S_{fa} = 115 \text{ MPa}$

Allowable stress $S_{na} = 115 \text{ MPa}$

S_T does not exceed S_{fa}

S_H does not exceed $\min [1,5 \cdot S_{fa}, 2,5 \cdot S_{na}] = 172,5 \text{ MPa}$

S_R does not exceed S_{fa}

$$\frac{S_H + S_R}{2} = \underline{103.388 \text{ MPa}} \text{ does not exceed } S_{fa}$$

$$\frac{S_H + S_T}{2} = \underline{72.444 \text{ MPa}} \text{ does not exceed } S_{fa}$$

Flange rigidity at gasket seating per VIII-1 Appendix 2-14

$$J = 52,14 \cdot V \cdot \frac{M_g}{L \cdot E \cdot g_0^2 \cdot K_I \cdot h_0} = 52,14 \cdot 0,0996 \cdot \frac{28.931,2}{0,9381 \cdot 195,23E+03 \cdot 11,11^2 \cdot 0,3 \cdot 65,07} = \underline{0.3402}$$

The flange rigidity index J does not exceed 1; satisfactory.

Brida agitador - Flange hub

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric				
Component		Flange Hub		
Material		SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, In. 40)		
Pipe NPS and Schedule		NPS 16 Sch 80S (XS) DN 400		
Impact Tested	Normalized	Fine Grain Practice	PWHT	Maximize MDMT/ No MAWP
No	No	No	No	No
		Design Pressure (MPa)	Design Temperature (°C)	Design MDMT (°C)
Internal		0,4234	260	-10
Static Liquid Head				
Condition		P_s (MPa)	H_s (mm)	SG
Test vertical		0,0014	144,52	1
Dimensions				
Outer Diameter		406,4 mm		
Length		92 mm		
Pipe Nominal Thickness		12,7 mm		
Pipe Minimum Thickness¹		11,11 mm		
Corrosion	Inner	0 mm		
	Outer	0 mm		
Weight and Capacity				
		Weight (kg)	Capacity (liters)	
New		19,06	10,49	
Corroded		19,06	10,49	
Radiography				
Longitudinal seam		Seamless No RT		
Bottom Circumferential seam		Full UW-11(a) Type 1		

¹Pipe minimum thickness = nominal thickness times pipe tolerance factor of 0,875.

Results Summary	
Governing condition	UG-16
Minimum thickness per UG-16	1,5 mm + 0 mm = 1,5 mm
Design thickness due to internal pressure (t)	1,14 mm
Maximum allowable working pressure (MAWP)	4,2101 MPa
Maximum allowable pressure (MAP)	6,4297 MPa
Rated MDMT	-196 °C

UHA-51 Material Toughness Requirements	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 203,2}{115 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,8163} =$	1,44 mm
$\text{Stress ratio} = \frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{1,44 \cdot 1}{11,11 - 0} =$	0,1294
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,1294)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Design thickness, (at 260 °C) Appendix 1-1

$$t = \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,40 \cdot P} + \text{Corrosion} = \frac{0,4234 \cdot 203,2}{75,3 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot 0,4234} + 0 = \underline{1,14} \text{ mm}$$

Maximum allowable working pressure, (at 260 °C) Appendix 1-1

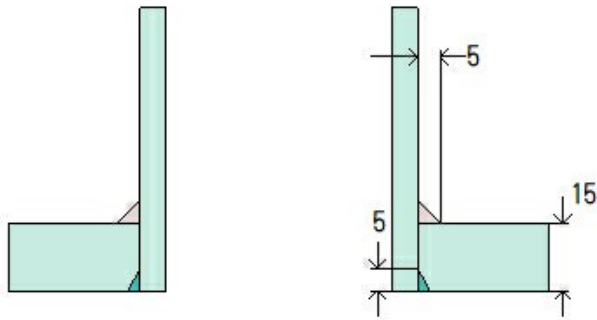
$$P = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,40 \cdot t} - P_s = \frac{75,3 \cdot 1,00 \cdot (12,7 \cdot 0,875)}{203,2 - 0,40 \cdot (12,7 \cdot 0,875)} - 0 = \underline{4,2101} \text{ MPa}$$

Maximum allowable pressure, (at 20 °C) Appendix 1-1

$$P = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,40 \cdot t} = \frac{115 \cdot 1,00 \cdot (12,7 \cdot 0,875)}{203,2 - 0,40 \cdot (12,7 \cdot 0,875)} = \underline{6,4297} \text{ MPa}$$

N1 (N1)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	215°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	425 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	49,25 mm
Pipe minimum wall thickness	5,54 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	55 mm
Projection available outside vessel, L _{pr}	96,9 mm
Projection available outside vessel to flange face, L _f	160,4 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	5 mm
Nozzle to vessel groove weld	5 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Spot UW-11(a)(5)(b) only Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 2 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Spot UW-11(a)(5)(b) only Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	69,9 mm
Outer Diameter	88,9 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 26,23}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,19 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,19 \cdot 1}{5,54 - 1,6} =$	0,0475
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0475)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
3,2388	4,8039	4,089	0,5303	–	–	0,1845	5,02	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
-4,093	7,291	35,863	15,236	41,798

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,76	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,92	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,76	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [55, 27,5 + (5,54 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 55 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (5,54 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,29 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

Opening N14 is too close per UG-36(c)(3)(d) to allow an exemption per UG-36(c)(3)(a). Reinforcement calculations performed.

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (55 \cdot 5,68 \cdot 1 + 2 \cdot 3,94 \cdot 5,68 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{3,2388} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{4,089} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (55 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 3,94 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 4,089 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 3,94) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 3,94 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 2,5187 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{0,5303} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (3,94 - 0,29) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\ &= 1,8052 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (3,94 - 0,29) \cdot 0,7382 \cdot 3,94)/100 \\ &= 0,5303 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= L e g^2 \cdot f_{r2} \\ &= (5^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{0,1845} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Area} &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 4,089 + 0,5303 + 0,1845 \\
 &= \underline{4,8039} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,94 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{2,76} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{4,92}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\
 &= 1,89 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [1,89, 0] \\
 &= 1,89 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,07, 3,1] \\
 &= 9,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [5,02, 9,07] \\
 &= 5,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [1,89, 5,02] \\
 &= \underline{5,02} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 5 \cdot 36,897 = 17.481,49 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 56,39 \cdot 3,94 \cdot 52,71 = 18.381,7 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 3,4 \cdot 75,48 = 24.316,58 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (323,8811 - 408,9024 + 2 \cdot 3,94 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68)) \cdot 102 \\ &= \underline{-4.092,55 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (53,0322 + 0 + 18,4516 + 0) \cdot 102 \\ &= \underline{7.291,34 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (53,0322 + 0 + 18,4516 + 0 + 2 \cdot 3,94 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\ &= \underline{15.236,27 \text{ N}} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = -4.092,55$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $17.481,49 + 18.381,7 = \underline{35.863,18}$ N

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = -4.092,55$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $17.481,49 + 24.316,58 = \underline{41.798,07}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAWP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAWP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,02 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
4,0451	4,0458	3,3413	0,52	-	-	0,1845	5,02	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
10,921	7,186	35,863	15,131	41,798

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,76	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,92	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,76	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,02 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [55, 27,5 + (5,54 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 55 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (5,54 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,0203 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,0203} \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,0203 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,0203 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 7,09 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,0203 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,0203 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,33 \text{ mm}$$

Opening N14 is too close per UG-36(c)(3)(d) to allow an exemption per UG-36(c)(3)(a). Reinforcement calculations performed.

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned}
 A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\
 &= (55 \cdot 7,09 \cdot 1 + 2 \cdot 3,94 \cdot 7,09 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
 &= 4,0451 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

A_1 = larger of the following = 3,3413 cm²

$$\begin{aligned}
 &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
 &= (55 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,09) - 2 \cdot 3,94 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,09) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
 &= 3,3413 \text{ cm}^2 \\
 &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
 &= (2 \cdot (13,4 + 3,94) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,09) - 2 \cdot 3,94 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,09) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
 &= 2,0581 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

A_2 = smaller of the following = 0,52 cm²

$$\begin{aligned}
 &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\
 &= (5 \cdot (3,94 - 0,36) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\
 &= 1,7703 \text{ cm}^2 \\
 &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\
 &= (5 \cdot (3,94 - 0,36) \cdot 0,7382 \cdot 3,94)/100 \\
 &= 0,52 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\
 &= (5^2 \cdot 0,7382)/100 \\
 &= \underline{0,1845} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 3,3413 + 0,52 + 0,1845 \\
 &= \underline{4,0458} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,94 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{2,76} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{4,92}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,0203 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,0203} + 1,6 \\
 &= 1,96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [1,96, 0] \\
 &= 1,96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 10,93 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [10,93, 3,1] \\
 &= 10,93 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [5,02, 10,93] \\
 &= 5,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
&= \max [1,96, 5,02] \\
&= \underline{5,02} \text{ mm}
\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 5 \cdot 36,897 = 17.481,49 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 56,39 \cdot 3,94 \cdot 52,71 = 18.381,7 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 3,4 \cdot 75,48 = 24.316,58 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (404,5108 - 334,1284 + 2 \cdot 3,94 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,09)) \cdot 102 \\
&= \underline{10.920,84} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (51,9999 + 0 + 18,4516 + 0) \cdot 102 \\
&= \underline{7.186,05} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (51,9999 + 0 + 18,4516 + 0 + 2 \cdot 3,94 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{15.130,98} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 7.186,05 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $17.481,49 + 18.381,7 = \underline{35.863,18} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 10.920,84 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $17.481,49 + 24.316,58 = \underline{41.798,07} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,12 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
3,5722	5,8916	4,1748	1,4664	–	–	0,2503	3,42	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
3,365	19,743	65,059	38,846	67,018

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [51,65, 25,82 + (5,54 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 51,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (5,54 - 0) + 0] \\
 &= 13,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

Opening N14 is too close per UG-36(c)(3)(d) to allow an exemption per UG-36(c)(3)(a). Reinforcement calculations performed.

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (51,65 \cdot 6,92 \cdot 1 + 2 \cdot 5,54 \cdot 6,92 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{3,5722} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{4,1748} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (51,65 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 5,54 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 4,1748 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 5,54) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 5,54 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 3,32 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{1,4664} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (5,54 - 0,24) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 3,9716 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (5,54 - 0,24) \cdot 1 \cdot 5,54)/100 \\ &= 1,4664 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (5^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,2503} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 4,1748 + 1,4664 + 0,2503 \\ &= \underline{5,8916} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,24, 0] \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{bl} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,11, 1,5] \\
 &= 9,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{bl}] \\
 &= \min [3,42, 9,11] \\
 &= 3,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,24, 3,42] \\
 &= \underline{3,42} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 5 \cdot 56,35 = 26.698,15 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 54,79 \cdot 5,54 \cdot 80,5 = 38.361 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 5 \cdot 85,1 = 40.319,66 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
 W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
 &= (357,2218 - 417,483 + 2 \cdot 5,54 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92)) \cdot 115 \\
 &= \underline{3.364,84} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
 &= (146,6449 + 0 + 25,0322 + 0) \cdot 115 \\
 &= \underline{19.742,87} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
 &= (146,6449 + 0 + 25,0322 + 0 + 2 \cdot 5,54 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
 &= \underline{38.846,21} \text{ N}
 \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 3.364,84 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $26.698,15 + 38.361 = \underline{65.059,15} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 3.364,84 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $26.698,15 + 40.319,66 = \underline{67.017,81} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,59 MPa @ 20 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							3,42	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,59 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [51,65, 25,82 + (5,54 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 51,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (5,54 - 0) + 0] \\
 &= 13,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} \\
 &= 0,34 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,88 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,59 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} + 0 \\ &= 0,34 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,34, 0] \\ &= 0,34 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 12,88 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,88, 1,5] \\ &= 12,88 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [3,42, 12,88] \\ &= 3,42 \text{ mm}\end{aligned}$$

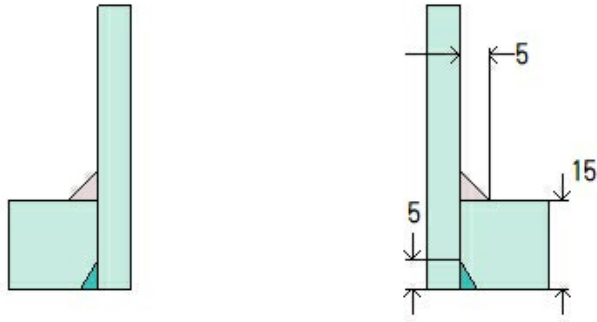
$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,34, 3,42] \\ &= \underline{3,42} \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

N2 (N2)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	115°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	675 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	49,25 mm
Pipe minimum wall thickness	5,54 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	59,72 mm
Projection available outside vessel, Lpr	195,52 mm
Projection available outside vessel to flange face, Lf	259,02 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	5 mm
Nozzle to vessel groove weld	5 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Spot UW-11(a)(5)(b) only Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 2 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Spot UW-11(a)(5)(b) only Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	69,9 mm
Outer Diameter	88,9 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 26,23}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,19 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,19 \cdot 1}{5,54 - 1,6} =$	0,0475
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0475)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							5,02	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,76	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,92	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,76	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [59,72, 29,86 + (5,54 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 59,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (5,54 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,29 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,94 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = 2,76 \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = 4,92$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{0,8163 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\ &= 1,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [1,89, 0] \\ &= 1,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [9,07, 3,1] \\ &= 9,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [5,02, 9,07] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,89, 5,02] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAWP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAWP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,04 MPa @ 260 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						5,02	5,54	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	<u>2,76</u>	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	<u>4,92</u>	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	<u>2,76</u>	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,04 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [59,72, 29,86 + (5,54 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 59,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (5,54 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} \\
 &= 0,37 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 7,23 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,51 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,94 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = 2,76 \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = 4,92$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,04 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} + 1,6 \\ &= 1,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [1,97, 0] \\ &= 1,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [11,11, 3,1] \\ &= 11,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [5,02, 11,11] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,97, 5,02] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							3,42	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [56,08, 28,04 + (5,54 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 56,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (5,54 - 0) + 0] \\
 &= 13,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,24, 0] \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,11, 1,5] \\
 &= 9,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [3,42, 9,11] \\
 &= 3,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,24, 3,42] \\
 &= \underline{3,42} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,59 MPa @ 20 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						3,42	5,54	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,59 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [56,08, 28,04 + (5,54 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 56,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (5,54 - 0) + 0] \\
 &= 13,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} \\
 &= 0,34 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,88 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,59 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} + 0 \\ &= 0,34 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,34, 0] \\ &= 0,34 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 12,88 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,88, 1,5] \\ &= 12,88 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [3,42, 12,88] \\ &= 3,42 \text{ mm}\end{aligned}$$

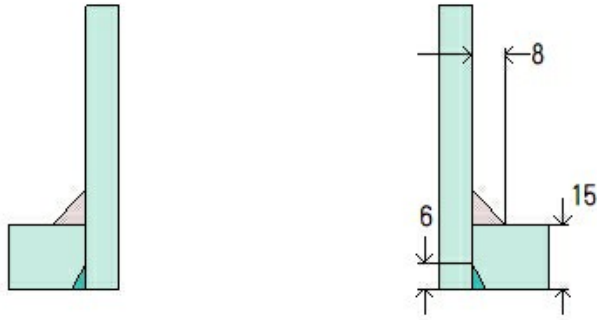
$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,34, 3,42] \\ &= \underline{3,42} \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

N4 (N4)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	355°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	425 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, In. 40)
Inside diameter, new	73,66 mm
Pipe minimum wall thickness	7,62 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	80,6 mm
Projection available outside vessel, Lpr	86,5 mm
Projection available outside vessel to flange face, Lf	156,35 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	8 mm
Nozzle to vessel groove weld	6 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	Yes
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	98,3 mm
Outer Diameter	123,7 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 38,43}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,27 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,27 \cdot 1}{7,62 - 1,6} =$	0,0455
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0455)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
4,7536	7,6987	5,9819	1,2445	–	–	0,4723	6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
-5,526	17,511	82,530	29,659	87,595

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	4,21	5,6	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	7,53	10	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,21	4,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [80,6, 40,3 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 80,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 0] \\
 &= 15,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (80,6 \cdot 5,68 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot 5,68 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{4,7536} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{5,9819} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (80,6 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 5,9819 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 6,02) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 2,7568 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{1,2445} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (6,02 - 0,42) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\ &= 2,7703 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (6,02 - 0,42) \cdot 0,7382 \cdot 6,02)/100 \\ &= 1,2445 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= L e g^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{0,4723} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 5,9819 + 1,2445 + 0,4723 \\
 &= \underline{7,6987} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,02 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{4,21} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 4,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 10 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{7,53}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\
 &= 2,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,02, 0] \\
 &= 2,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,07, 3,1] \\
 &= 9,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [6,4, 9,07] \\
 &= 6,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,02, 6,4] \\
 &= \underline{6,4} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 36,897 = 41.219,5 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 82,88 \cdot 6,02 \cdot 52,71 = 41.310,38 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 4,4 \cdot 75,48 = 46.375,28 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (475,363 - 598,1924 + 2 \cdot 6,02 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68)) \cdot 102 \\ &= \underline{-5.526,34 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (124,4514 + 0 + 47,2257 + 0) \cdot 102 \\ &= \underline{17.511,06 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (124,4514 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\ &= \underline{29.658,9 \text{ N}} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = -5.526,34$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $41.219,5 + 41.310,38 = \underline{82.529,88}$ N

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = -5.526,34$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $41.219,5 + 46.375,28 = \underline{87.594,78}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAWP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAWP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,04 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
6,0511	6,4729	4,7819	1,2187	–	–	0,4723	6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
18.543	17.248	82.530	29.396	87.595

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	4,21	5,6	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	7,53	10	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,21	4,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,04 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [80,6, 40,3 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 80,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 0] \\
 &= 15,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} \\
 &= 0,54 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
&= \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1 - 0,2)} \\
&= 7,23 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,51 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned}
A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (80,6 \cdot 7,23 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot 7,23 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 6,0511 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = 4,7819 \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
&= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (80,6 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 4,7819 \text{ cm}^2 \\
&= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (2 \cdot (13,4 + 6,02) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 2,2039 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = 1,2187 \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
&= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\
&= (5 \cdot (6,02 - 0,54) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\
&= 2,7123 \text{ cm}^2 \\
&= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\
&= (5 \cdot (6,02 - 0,54) \cdot 0,7382 \cdot 6,02)/100 \\
&= 1,2187 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\
 &= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\
 &= \underline{0,4723} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 4,7819 + 1,2187 + 0,4723 \\
 &= \underline{6,4729} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,02 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{4,21} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 4,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 10 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{7,53}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} + 1,6 \\
 &= 2,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,14, 0] \\
 &= 2,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [11,11, 3,1] \\
 &= 11,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [6,4, 11,11] \\
 &= 6,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,14, 6,4] \\
 &= \underline{6,4} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 36,897 = 41.219,5 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 82,88 \cdot 6,02 \cdot 52,71 = 41.310,38 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 4,4 \cdot 75,48 = 46.375,28 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
 W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
 &= (605,106 - 478,1926 + 2 \cdot 6,02 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23)) \cdot 102 \\
 &= \underline{18.543,03} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
 &= (121,8707 + 0 + 47,2257 + 0) \cdot 102 \\
 &= \underline{17.247,84} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
 &= (121,8707 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
 &= \underline{29.395,68} \text{ N}
 \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 17.247,84 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $41.219,5 + 41.310,38 = \underline{82.529,88} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 18.543,03 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $41.219,5 + 46.375,28 = \underline{87.594,78} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
5,3429	9,6503	6,2445	2,7658	–	–	0,64	4,8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
3,798	39,167	141,268	65,456	134,254

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [77,25, 38,62 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 77,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 0] \\
 &= 19,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot 6,92 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 6,92 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{5,3429} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{6,2445} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 6,2445 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 3,6568 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{2,7658} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,36) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,4445 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,36) \cdot 1 \cdot 7,62)/100 \\ &= 2,7658 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= L e g^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 6,2445 + 2,7658 + 0,64 \\ &= \underline{9,6503} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,36, 0] \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,11, 1,5] \\
 &= 9,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [4,8, 9,11] \\
 &= 4,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,36, 4,8] \\
 &= 4,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 6 \cdot 85,1 = 71.302,13 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (534,2867 - 624,4504 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92)) \cdot 115 \\
&= \underline{3.798,46} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (276,5801 + 0 + 63,9999 + 0) \cdot 115 \\
&= \underline{39.166,7} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (276,5801 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
&= \underline{65.455,7} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 3.798,46 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $62.951,43 + 78.316,72 = \underline{141.268,15} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 65.455,7 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $62.951,43 + 71.302,13 = \underline{134.253,56} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,57 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
7.468	7.469	4.1193	2.7097	-	-	0.64	4.8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
47.856	38.521	141.268	64.810	134.254

Calculations for internal pressure 1,57 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [77,25, 38,62 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 77,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 0] \\
 &= 19,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,5711 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,5711} \\
 &= 0,51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,5711 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,5711 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,5711 \cdot 1.423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,5711 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,73 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot 9,67 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 9,67 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{7,468} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{4,1193} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 4,1193 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 2,4123 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{2,7097} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,51) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,3342 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,51) \cdot 1 \cdot 7,62)/100 \\ &= 2,7097 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 4,1193 + 2,7097 + 0,64 \\ &= \underline{7,469} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,5711 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,5711} + 0 \\ &= 0,51 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,51, 0] \\ &= 0,51 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 12,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,73, 1,5] \\ &= 12,73 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [4,8, 12,73] \\ &= 4,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,51, 4,8] \\ &= 4,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 6 \cdot 85,1 = 71.302,13 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (746,8044 - 411,9347 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67)) \cdot 115 \\
&= \underline{47.855,78} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (270,9672 + 0 + 63,9999 + 0) \cdot 115 \\
&= \underline{38.521,22} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (270,9672 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
&= \underline{64.810,22} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 38.521,22$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $62.951,43 + 78.316,72 = \underline{141.268,15}$ N

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

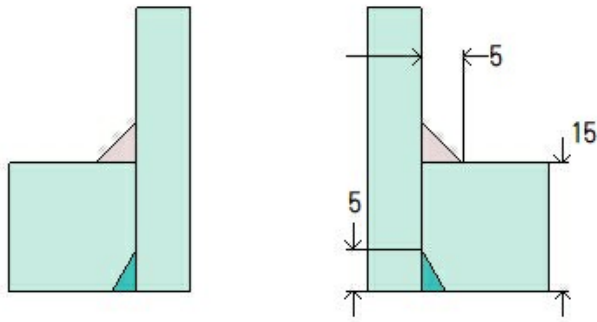
Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 47.855,78$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $62.951,43 + 71.302,13 = \underline{134.253,56}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

N5 (N5)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	140°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	425 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 1 Sch 160 DN 25
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, In. 40)
Inside diameter, new	20,7 mm
Pipe minimum wall thickness	6,35 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	25,06 mm
Projection available outside vessel, L _{pr}	108,73 mm
Projection available outside vessel to flange face, L _f	164,36 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	5 mm
Nozzle to vessel groove weld	5 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 1 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	36,6 mm
Outer Diameter	47,5 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 11,95}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,0852 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,0852 \cdot 1}{6,35 - 1,6} =$	0,0179
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0179)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							4,56	6,35

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	3,33	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	5,94	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	3,33	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [25,06, 12,53 + (6,35 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 30,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (6,35 - 1,6) + 0] \\
 &= 11,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 11,95}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 4,75 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{3,33} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{5,94}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{0,8163 \cdot 11,95}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\ &= 1,73 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [1,73, 0] \\ &= 1,73 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [9,07, 3,1] \\ &= 9,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [4,56, 9,07] \\ &= 4,56 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,73, 4,56] \\ &= \underline{4,56} \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 6,35 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAWP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAWP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,04 MPa @ 260 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						4,56	6,35	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	3,33	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	5,94	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	3,33	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,04 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [25,06, 12,53 + (6,35 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 30,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (6,35 - 1,6) + 0] \\
 &= 11,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 11,95}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} \\
 &= 0,17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 7,23 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,51 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 4,75 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = 3,33 \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = 5,94$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,04 \cdot 11,95}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} + 1,6 \\ &= 1,77 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [1,77, 0] \\ &= 1,77 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [11,11, 3,1] \\ &= 11,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [4,56, 11,11] \\ &= 4,56 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,77, 4,56] \\ &= 4,56 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 6,35 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							2,96	6,35

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [21,71, 10,85 + (6,35 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 32,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (6,35 - 0) + 0] \\
 &= 15,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 10,35}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1.423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
&= \frac{1,1223 \cdot 10,35}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
&= 0,1 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
&= \max [0,1, 0] \\
&= 0,1 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
&= \max [9,11, 1,5] \\
&= 9,11 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
&= \min [2,96, 9,11] \\
&= 2,96 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
&= \max [0,1, 2,96] \\
&= \underline{2,96} \text{ mm}
\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 6,35 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,59 MPa @ 20 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						2,96	6,35	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,59 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [21,71, 10,85 + (6,35 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 32,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (6,35 - 0) + 0] \\
 &= 15,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 10,35}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} \\
 &= 0,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,88 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,59 \cdot 10,35}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} + 0 \\ &= 0,14 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,14, 0] \\ &= 0,14 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 12,88 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,88, 1,5] \\ &= 12,88 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [2,96, 12,88] \\ &= 2,96 \text{ mm}\end{aligned}$$

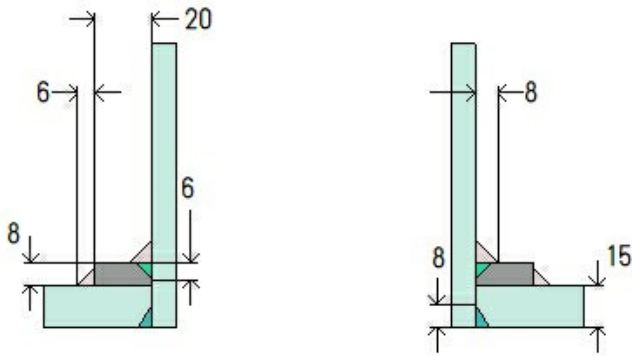
$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,14, 2,96] \\ &= \underline{2,96} \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 6,35 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

N6 (N6)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation	
Located on	FS
Orientation	165°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	675 mm
Passes through a Category A joint	No
Nozzle	
Description	NPS 4 Sch 80S (XS) DN 100
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	97,18 mm
Pipe minimum wall thickness	8,56 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	114,28 mm
Projection available outside vessel, L _{pr}	169,45 mm
Projection available outside vessel to flange face, L _f	245,65 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa
Reinforcing Pad	
Material specification	SA-240 316L (II-D Metric p. 72, ln. 34)
Diameter, D _p	169,88 mm
Thickness, t _e	8 mm
Is split	No
Welds	
Inner fillet, Leg ₄₁	8 mm
Outer fillet, Leg ₄₂	6 mm
Nozzle to vessel groove weld	8 mm
Pad groove weld	6 mm
Radiography	
Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 4 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	123,7 mm
Outer Diameter	153,9 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 50,19}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,36 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,36 \cdot 1}{8,56 - 1,6} =$	0,0514
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0514)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

UHA-51 Material Toughness Requirements Pad	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} =$	6,63 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{6,63 \cdot 1}{15 - 1,6} =$	0,495
Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
8,8133	12,9922	6,5561	2,4039	–	3,2	0,8323	6,87	8,56

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
29.234	65.648	141.875	43.381	221.037	79.693	166.749

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to pad fillet (Leg ₄₁)	4,87	5,6	weld size is adequate
Pad to shell fillet (Leg ₄₂)	4	4,2	weld size is adequate
Nozzle to pad groove (Upper)	4,87	6	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,87	6,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [114,28, 57,14 + (8,56 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 114,28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (8,56 - 1,6) + 8] \\
 &= 25,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 50,19}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,55 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: S_n = 75,3, S_v = 102, S_p = 102 MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (114,28 \cdot 7,47 \cdot 1 + 2 \cdot 6,96 \cdot 7,47 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{8,8133} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{6,5561} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (114,28 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47) - 2 \cdot 6,96 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 6,5561 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 6,96) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47) - 2 \cdot 6,96 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 2,1974 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{2,4039} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (6,96 - 0,55) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\ &= 3,171 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot (2,5 \cdot t_n + t_e) \cdot f_{r2} \\ &= (2 \cdot (6,96 - 0,55) \cdot (2,5 \cdot 6,96 + 8) \cdot 0,7382)/100 \\ &= 2,4039 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r3} \\ &= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{0,4723} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (6^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,36} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\
&= ((169,88 - 129,88) \cdot 8 \cdot 1) / 100 \\
&= \underline{3,2} \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
&= 6,5561 + 2,4039 + 0,4723 + 0,36 + 3,2 \\
&= \underline{12,9922} \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$\begin{aligned}
\text{Inner fillet: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_n, t_e] = 6,96 \text{ mm} \\
t_{c(\min)} &= \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{4,87} \text{ mm} \\
t_{c(\text{actual})} &= 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Outer fillet: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_e, t] = 8 \text{ mm} \\
t_{w(\min)} &= 0,5 \cdot t_{\min} = \underline{4} \text{ mm} \\
t_{w(\text{actual})} &= 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Upper groove: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_n, t_e] = 6,96 \text{ mm} \\
t_{w(\min)} &= 0,7 \cdot t_{\min} = \underline{4,87} \text{ mm} \\
t_{w(\text{actual})} &= 6 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Lower groove: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,96 \text{ mm} \\
t_{w(\min)} &= 0,7 \cdot t_{\min} = \underline{4,87} \text{ mm} \\
t_{w(\text{actual})} &= 6,4 \text{ mm}
\end{aligned}$$

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
&= \frac{0,8163 \cdot 50,19}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\
&= 2,15 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
&= \max [2,15, 0] \\
&= 2,15 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
&= \max [9,07, 3,1] \\
&= 9,07 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
&= \min [6,87, 9,07] \\
&= 6,87 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
&= \max [2,15, 6,87] \\
&= \underline{6,87} \text{ mm}
\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 8,56 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension:	$0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$
Nozzle wall in shear:	$0,7 \cdot 75,3 = 52,71 \text{ MPa}$
Inner fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 75,3 = 36,897 \text{ MPa}$
Outer fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 102 = 49,98 \text{ MPa}$
Upper groove weld in tension:	$0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 114,3 \cdot 8 \cdot 36,897 = 52.996,5 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 169,88 \cdot 6 \cdot 49,98 = 80.020,21 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 107,34 \cdot 6,96 \cdot 52,71 = 61.854,61 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 114,3 \cdot 6,4 \cdot 75,48 = 86.729,02 \text{ N}$$

(6) Upper groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 114,3 \cdot 6 \cdot 75,48 = 81.311 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (881,3269 - 655,6116 + 2 \cdot 6,96 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47)) \cdot 102 \\
&= \underline{29.234,09} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (240,3866 + 320 + 47,2257 + 35,9999) \cdot 102 \\
&= \underline{65.648,46} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (240,3866 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,96 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{43.380,74} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (240,3866 + 0 + 320 + 47,2257 + 35,9999 + 0 + 2 \cdot 6,96 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{79.692,73} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 29.234,09 \text{ N}$

Path 1-1 through (2) & (3) = $80.020,21 + 61.854,61 = \underline{141.874,82} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 29.234,09 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4), (6) = $52.996,5 + 86.729,02 + 81.311 = \underline{221.036,53} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 29.234,09 \text{ N}$

Path 3-3 through (2), (4) = $80.020,21 + 86.729,02 = \underline{166.749,23} \text{ N}$

Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAWP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAWP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,01 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
10,9441	10,9445	4,5574	2,3548	–	3,2	0,8323	6,87	8,56

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
69,462	65,148	141,875	42,881	221,037	79,193	166,749

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to pad fillet (Leg ₄₁)	4,87	5,6	weld size is adequate
Pad to shell fillet (Leg ₄₂)	4	4,2	weld size is adequate
Nozzle to pad groove (Upper)	4,87	6	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,87	6,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,01 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [114,28, 57,14 + (8,56 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 114,28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (8,56 - 1,6) + 8] \\
 &= 25,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,0147 \cdot 50,19}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,0147} \\
 &= 0,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,0147 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,0147 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,28 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$, $S_p = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (114,28 \cdot 9,28 \cdot 1 + 2 \cdot 6,96 \cdot 9,28 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{10,9441} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{4,5574} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (114,28 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 9,28) - 2 \cdot 6,96 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 9,28) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 4,5574 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 6,96) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 9,28) - 2 \cdot 6,96 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 9,28) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 1,5271 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{2,3548} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (6,96 - 0,68) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\ &= 3,1058 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot (2,5 \cdot t_n + t_e) \cdot f_{r2} \\ &= (2 \cdot (6,96 - 0,68) \cdot (2,5 \cdot 6,96 + 8) \cdot 0,7382)/100 \\ &= 2,3548 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= L e g^2 \cdot f_{r3} \\ &= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{0,4723} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\
 &= (6^2 \cdot 1)/100 \\
 &= \underline{0,36} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\
 &= ((169,88 - 129,88) \cdot 8 \cdot 1)/100 \\
 &= \underline{3,2} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
 &= 4,5574 + 2,3548 + 0,4723 + 0,36 + 3,2 \\
 &= \underline{10,9445} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$\begin{aligned}
 \text{Inner fillet: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_n, t_e] = 6,96 \text{ mm} \\
 t_{c(\min)} &= \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{4,87} \text{ mm} \\
 t_{c(\text{actual})} &= 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Outer fillet: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_e, t] = 8 \text{ mm} \\
 t_{w(\min)} &= 0,5 \cdot t_{\min} = \underline{4} \text{ mm} \\
 t_{w(\text{actual})} &= 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Upper groove: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_n, t_e] = 6,96 \text{ mm} \\
 t_{w(\min)} &= 0,7 \cdot t_{\min} = \underline{4,87} \text{ mm} \\
 t_{w(\text{actual})} &= 6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lower groove: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,96 \text{ mm} \\
 t_{w(\min)} &= 0,7 \cdot t_{\min} = \underline{4,87} \text{ mm} \\
 t_{w(\text{actual})} &= 6,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,0147 \cdot 50,19}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,0147} + 1,6 \\
 &= 2,28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,28, 0] \\
 &= 2,28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{bl} = 10,88 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [10,88, 3,1] \\
 &= 10,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{bl}] \\
 &= \min [6,87, 10,88] \\
 &= 6,87 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,28, 6,87] \\
 &= \underline{6.87} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 8,56 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension:	$0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$
Nozzle wall in shear:	$0,7 \cdot 75,3 = 52,71 \text{ MPa}$
Inner fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 75,3 = 36,897 \text{ MPa}$
Outer fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 102 = 49,98 \text{ MPa}$
Upper groove weld in tension:	$0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 114,3 \cdot 8 \cdot 36,897 = 52.996,5 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 169,88 \cdot 6 \cdot 49,98 = 80.020,21 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 107,34 \cdot 6,96 \cdot 52,71 = 61.854,61 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 114,3 \cdot 6,4 \cdot 75,48 = 86.729,02 \text{ N}$$

(6) Upper groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 114,3 \cdot 6 \cdot 75,48 = 81.311 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (1,094,41 - 455,741 + 2 \cdot 6,96 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 9,28)) \cdot 102 \\
&= \underline{69.461,51} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (235,4834 + 320 + 47,2257 + 35,9999) \cdot 102 \\
&= \underline{65.148,33} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (235,4834 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,96 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{42.880,61} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (235,4834 + 0 + 320 + 47,2257 + 35,9999 + 0 + 2 \cdot 6,96 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{79.192,61} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 65.148,33$ N

Path 1-1 through (2) & (3) = $80.020,21 + 61.854,61 = \underline{141.874,82}$ N

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 42.880,61$ N

Path 2-2 through (1), (4), (6) = $52.996,5 + 86.729,02 + 81.311 = \underline{221.036,53}$ N

Path 2-2 is stronger than W_{2-2} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 69.461,51$ N

Path 3-3 through (2), (4) = $80.020,21 + 86.729,02 = \underline{166.749,23}$ N

Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
10,0852	15,4651	6,5129	4,7522	–	3,2	1	5,27	8,56

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
52.669	102.951	204.670	91.542	294.844	132.482	212.451

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [110,65, 55,33 + (8,56 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 110,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (8,56 - 0) + 8] \\
 &= 29,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 48,59}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,48 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: S_n = 115, S_v = 115, S_p = 115 MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (110,65 \cdot 9,11 \cdot 1 + 2 \cdot 8,56 \cdot 9,11 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{10,0852} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{6,5129} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (110,65 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11) - 2 \cdot 8,56 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 6,5129 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 8,56) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11) - 2 \cdot 8,56 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 2,7735 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{4,7522} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (8,56 - 0,48) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 6,0619 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot (2,5 \cdot t_n + t_e) \cdot f_{r2} \\ &= (2 \cdot (8,56 - 0,48) \cdot (2,5 \cdot 8,56 + 8) \cdot 1)/100 \\ &= 4,7522 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r3} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (6^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,36} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\ &= ((169,88 - 129,88) \cdot 8 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{3,2} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
 &= 6,5129 + 4,7522 + 0,64 + 0,36 + 3,2 \\
 &= \underline{15,4651} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 48,59}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 0,48 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,48, 0] \\
 &= 0,48 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{bl} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,11, 1,5] \\
 &= 9,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{bl}] \\
 &= \min [5,27, 9,11] \\
 &= 5,27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,48, 5,27] \\
 &= \underline{5,27} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 8,56 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension:	$0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$
Nozzle wall in shear:	$0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$
Inner fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$
Outer fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$
Upper groove weld in tension:	$0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 114,3 \cdot 8 \cdot 56,35 = 80.937,55 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 169,88 \cdot 6 \cdot 56,35 = 90.218,86 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 105,74 \cdot 8,56 \cdot 80,5 = 114.450,99 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 114,3 \cdot 8 \cdot 85,1 = 122.232,22 \text{ N}$$

(6) Upper groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 114,3 \cdot 6 \cdot 85,1 = 91.674,17 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (1.008,5186 - 651,289 + 2 \cdot 8,56 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11)) \cdot 115 \\ &= \underline{52.668,94} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (475,2249 + 320 + 63,9999 + 35,9999) \cdot 115 \\ &= \underline{102.950,85} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (475,2249 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 8,56 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{91.542,17} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (475,2249 + 0 + 320 + 63,9999 + 35,9999 + 0 + 2 \cdot 8,56 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{132.482,16} \text{ N} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 52.668,94 \text{ N}$

Path 1-1 through (2) & (3) = $90.218,86 + 114.450,99 = \underline{204.669,85} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 52.668,94 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4), (6) = $80.937,55 + 122.232,22 + 91.674,17 = \underline{294.843,94} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 52.668,94 \text{ N}$

Path 3-3 through (2), (4) = $90.218,86 + 122.232,22 = \underline{212.451,09} \text{ N}$

Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,42 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}	
12,7375	12,738	3,8606	4,6774	-	3,2	1	5,27	8,56	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
108.953	102.090	204.670	90.682	294.844	131.622	212.451

Calculations for internal pressure 1,42 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [110,65, 55,33 + (8,56 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 110,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (8,56 - 0) + 8] \\
 &= 29,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,4195 \cdot 48,59}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,4195} \\
 &= 0,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,4195 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,4195 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 11,51 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: S_n = 115, S_v = 115, S_p = 115 MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (110,65 \cdot 11,51 \cdot 1 + 2 \cdot 8,56 \cdot 11,51 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{12.7375} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{3.8606} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (110,65 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,51) - 2 \cdot 8,56 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,51) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 3,8606 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 8,56) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,51) - 2 \cdot 8,56 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,51) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 1,6439 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{4.6774} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (8,56 - 0,6) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,9664 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot (2,5 \cdot t_n + t_e) \cdot f_{r2} \\ &= (2 \cdot (8,56 - 0,6) \cdot (2,5 \cdot 8,56 + 8) \cdot 1)/100 \\ &= 4,6774 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r3} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0.64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (6^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0.36} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\ &= ((169,88 - 129,88) \cdot 8 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{3.2} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
 &= 3,8606 + 4,6774 + 0,64 + 0,36 + 3,2 \\
 &= 12,738 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,4195 \cdot 48,59}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,4195} + 0 \\
 &= 0,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,6, 0] \\
 &= 0,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,51 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [11,51, 1,5] \\
 &= 11,51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [5,27, 11,51] \\
 &= 5,27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,6, 5,27] \\
 &= 5,27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 8,56 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension:	$0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$
Nozzle wall in shear:	$0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$
Inner fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$
Outer fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$
Upper groove weld in tension:	$0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 114,3 \cdot 8 \cdot 56,35 = 80.937,55 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 169,88 \cdot 6 \cdot 56,35 = 90.218,86 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 105,74 \cdot 8,56 \cdot 80,5 = 114.450,99 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 114,3 \cdot 8 \cdot 85,1 = 122.232,22 \text{ N}$$

(6) Upper groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 114,3 \cdot 6 \cdot 85,1 = 91.674,17 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (1.273,7526 - 386,0637 + 2 \cdot 8,56 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,51)) \cdot 115 \\ &= \underline{108.952,66} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (467,741 + 320 + 63,9999 + 35,9999) \cdot 115 \\ &= \underline{102.090,21} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (467,741 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 8,56 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{90.681,52} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (467,741 + 0 + 320 + 63,9999 + 35,9999 + 0 + 2 \cdot 8,56 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{131.621,52} \text{ N} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 102.090,21 \text{ N}$

Path 1-1 through (2) & (3) = $90.218,86 + 114.450,99 = \underline{204.669,85} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 90.681,52 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4), (6) = $80.937,55 + 122.232,22 + 91.674,17 = \underline{294.843,94} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W_{2-2} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

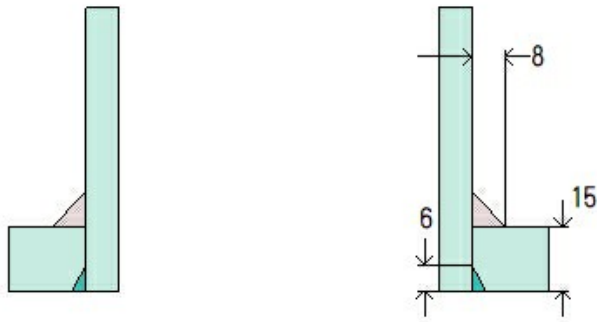
Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 108.952,66 \text{ N}$

Path 3-3 through (2), (4) = $90.218,86 + 122.232,22 = \underline{212.451,09} \text{ N}$

Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

N9 (N9)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	82°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	425 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	73,66 mm
Pipe minimum wall thickness	7,62 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	80,6 mm
Projection available outside vessel, Lpr	86,5 mm
Projection available outside vessel to flange face, Lf	156,35 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	8 mm
Nozzle to vessel groove weld	6 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	98,3 mm
Outer Diameter	123,7 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 38,43}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,27 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,27 \cdot 1}{7,62 - 1,6} =$	0,0455
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0455)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
4,7536	7,6987	5,9819	1,2445	–	–	0,4723	6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
-5,526	17,511	82,530	29,659	87,595

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	4,21	5,6	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	7,53	10	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,21	4,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [80,6, 40,3 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 80,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 0] \\
 &= 15,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (80,6 \cdot 5,68 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot 5,68 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{4,7536} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{5,9819} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (80,6 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 5,9819 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 6,02) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 2,7568 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{1,2445} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (6,02 - 0,42) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\ &= 2,7703 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (6,02 - 0,42) \cdot 0,7382 \cdot 6,02)/100 \\ &= 1,2445 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= L e g^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{0,4723} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 5,9819 + 1,2445 + 0,4723 \\
 &= \underline{7,6987} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,02 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{4,21} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 4,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 10 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{7,53}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\
 &= 2,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,02, 0] \\
 &= 2,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,07, 3,1] \\
 &= 9,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [6,4, 9,07] \\
 &= 6,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,02, 6,4] \\
 &= \underline{6,4} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 36,897 = 41.219,5 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 82,88 \cdot 6,02 \cdot 52,71 = 41.310,38 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 4,4 \cdot 75,48 = 46.375,28 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (475,363 - 598,1924 + 2 \cdot 6,02 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68)) \cdot 102 \\ &= \underline{-5.526,34 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (124,4514 + 0 + 47,2257 + 0) \cdot 102 \\ &= \underline{17.511,06 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (124,4514 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\ &= \underline{29.658,9 \text{ N}} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = -5.526,34$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $41.219,5 + 41.310,38 = \underline{82.529,88}$ N

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = -5.526,34$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $41.219,5 + 46.375,28 = \underline{87.594,78}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAWP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAWP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,04 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
6,0511	6,4729	4,7819	1,2187	–	–	0,4723	6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
18.543	17.248	82.530	29.396	87.595

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	4,21	5,6	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	7,53	10	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,21	4,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,04 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [80,6, 40,3 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 80,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 0] \\
 &= 15,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} \\
 &= 0,54 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
&= \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1 - 0,2)} \\
&= 7,23 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,51 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned}
A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (80,6 \cdot 7,23 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot 7,23 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 6,0511 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = 4,7819 \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
&= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (80,6 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 4,7819 \text{ cm}^2 \\
&= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (2 \cdot (13,4 + 6,02) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 2,2039 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = 1,2187 \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
&= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\
&= (5 \cdot (6,02 - 0,54) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\
&= 2,7123 \text{ cm}^2 \\
&= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\
&= (5 \cdot (6,02 - 0,54) \cdot 0,7382 \cdot 6,02)/100 \\
&= 1,2187 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\
 &= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\
 &= \underline{0,4723} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 4,7819 + 1,2187 + 0,4723 \\
 &= \underline{6,4729} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,02 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{4,21} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 4,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 10 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{7,53}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} + 1,6 \\
 &= 2,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,14, 0] \\
 &= 2,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [11,11, 3,1] \\
 &= 11,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [6,4, 11,11] \\
 &= 6,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,14, 6,4] \\
 &= \underline{6,4} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$
 Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71 \text{ MPa}$
 Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 36,897 = 41.219,5 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 82,88 \cdot 6,02 \cdot 52,71 = 41.310,38 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 4,4 \cdot 75,48 = 46.375,28 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
 W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
 &= (605,106 - 478,1926 + 2 \cdot 6,02 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23)) \cdot 102 \\
 &= \underline{18.543,03} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
 &= (121,8707 + 0 + 47,2257 + 0) \cdot 102 \\
 &= \underline{17.247,84} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
 &= (121,8707 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
 &= \underline{29.395,68} \text{ N}
 \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 17.247,84 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $41.219,5 + 41.310,38 = \underline{82.529,88} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 18.543,03 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $41.219,5 + 46.375,28 = \underline{87.594,78} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
5,3429	9,6503	6,2445	2,7658	–	–	0,64	4,8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
3,798	39,167	141,268	65,456	134,254

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [77,25, 38,62 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 77,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 0] \\
 &= 19,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot 6,92 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 6,92 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{5,3429} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{6,2445} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 6,2445 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 3,6568 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{2,7658} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,36) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,4445 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,36) \cdot 1 \cdot 7,62)/100 \\ &= 2,7658 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 6,2445 + 2,7658 + 0,64 \\ &= \underline{9,6503} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,36, 0] \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,11, 1,5] \\
 &= 9,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [4,8, 9,11] \\
 &= 4,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,36, 4,8] \\
 &= 4,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 6 \cdot 85,1 = 71.302,13 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
 W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
 &= (534,2867 - 624,4504 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92)) \cdot 115 \\
 &= \underline{3.798,46} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
 &= (276,5801 + 0 + 63,9999 + 0) \cdot 115 \\
 &= \underline{39.166,7} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
 &= (276,5801 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
 &= \underline{65.455,7} \text{ N}
 \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 3.798,46 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $62.951,43 + 78.316,72 = \underline{141.268,15} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 65.455,7 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $62.951,43 + 71.302,13 = \underline{134.253,56} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,57 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
7.468	7.469	4.1193	2.7097	-	-	0.64	4.8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
47.856	38.521	141.268	64.810	134.254

Calculations for internal pressure 1,57 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [77,25, 38,62 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 77,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 0] \\
 &= 19,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,5711 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,5711} \\
 &= 0,51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,5711 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,5711 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,5711 \cdot 1.423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,5711 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,73 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot 9,67 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 9,67 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{7,468} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{4,1193} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 4,1193 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 2,4123 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{2,7097} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,51) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,3342 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,51) \cdot 1 \cdot 7,62)/100 \\ &= 2,7097 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 4,1193 + 2,7097 + 0,64 \\ &= \underline{7,469} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,5711 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,5711} + 0 \\ &= 0,51 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,51, 0] \\ &= 0,51 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{bl} = 12,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,73, 1,5] \\ &= 12,73 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{i8}, t_{bl}] \\ &= \min [4,8, 12,73] \\ &= 4,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,51, 4,8] \\ &= 4,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 6 \cdot 85,1 = 71.302,13 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
 W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
 &= (746,8044 - 411,9347 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67)) \cdot 115 \\
 &= \underline{47.855,78} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
 &= (270,9672 + 0 + 63,9999 + 0) \cdot 115 \\
 &= \underline{38.521,22} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
 &= (270,9672 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
 &= \underline{64.810,22} \text{ N}
 \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 38.521,22$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $62.951,43 + 78.316,72 = \underline{141.268,15}$ N

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

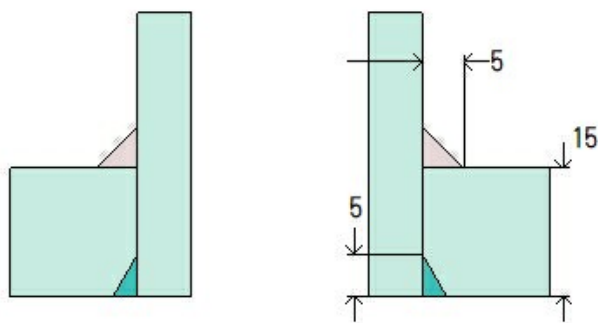
Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 64.810,22$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $62.951,43 + 71.302,13 = \underline{134.253,56}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

N10 (N10)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	140°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	675 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 1 Sch 160 DN 25
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	20,7 mm
Pipe minimum wall thickness	6,35 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	27,21 mm
Projection available outside vessel, L _{pr}	210,32 mm
Projection available outside vessel to flange face, L _f	265,95 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	5 mm
Nozzle to vessel groove weld	5 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 1 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	36,6 mm
Outer Diameter	47,5 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 11,95}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,0852 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,0852 \cdot 1}{6,35 - 1,6} =$	0,0179
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0179)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							4,56	6,35

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	3,33	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	5,94	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	3,33	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [27,21, 13,6 + (6,35 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 31,75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (6,35 - 1,6) + 0] \\
 &= 11,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 11,95}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 4,75 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{3,33} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{5,94}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$t_{aUG-27} = \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion}$$

$$= \frac{0,8163 \cdot 11,95}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6$$

$$= 1,73 \text{ mm}$$

$$t_a = \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}]$$

$$= \max [1,73, 0]$$

$$= 1,73 \text{ mm}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$t_{b1} = \max [t_{b1}, t_{bUG16}]$$

$$= \max [9,07, 3,1]$$

$$= 9,07 \text{ mm}$$

$$t_b = \min [t_{b3}, t_{b1}]$$

$$= \min [4,56, 9,07]$$

$$= 4,56 \text{ mm}$$

$$t_{UG-45} = \max [t_a, t_b]$$

$$= \max [1,73, 4,56]$$

$$= \underline{4,56} \text{ mm}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 6,35 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAWP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAWP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,04 MPa @ 260 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						4,56	6,35	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	3,33	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	5,94	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	3,33	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,04 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [27,21, 13,6 + (6,35 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 31,75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (6,35 - 1,6) + 0] \\
 &= 11,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 11,95}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} \\
 &= 0,17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 7,23 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,51 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 4,75 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = 3,33 \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = 5,94$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,04 \cdot 11,95}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} + 1,6 \\ &= 1,77 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [1,77, 0] \\ &= 1,77 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [11,11, 3,1] \\ &= 11,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [4,56, 11,11] \\ &= 4,56 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,77, 4,56] \\ &= 4,56 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 6,35 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							2,96	6,35

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [23,57, 11,79 + (6,35 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 33,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (6,35 - 0) + 0] \\
 &= 15,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 10,35}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 10,35}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 0,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,1, 0] \\
 &= 0,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,11, 1,5] \\
 &= 9,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [2,96, 9,11] \\
 &= 2,96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,1, 2,96] \\
 &= \underline{2,96} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 6,35 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,59 MPa @ 20 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						2,96	6,35	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,59 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [23,57, 11,79 + (6,35 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 33,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (6,35 - 0) + 0] \\
 &= 15,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 10,35}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} \\
 &= 0,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,88 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,59 \cdot 10,35}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} + 0 \\ &= 0,14 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,14, 0] \\ &= 0,14 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 12,88 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,88, 1,5] \\ &= 12,88 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [2,96, 12,88] \\ &= 2,96 \text{ mm}\end{aligned}$$

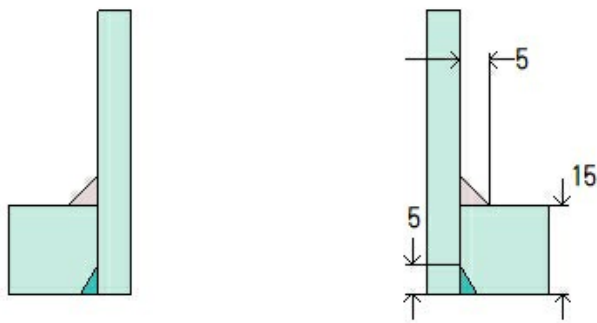
$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,14, 2,96] \\ &= \underline{2,96} \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 6,35 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

N11 (N11)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	322°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	675 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	49,25 mm
Pipe minimum wall thickness	5,54 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	59,72 mm
Projection available outside vessel, Lpr	195,52 mm
Projection available outside vessel to flange face, Lf	259,02 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	5 mm
Nozzle to vessel groove weld	5 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 2 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	69,9 mm
Outer Diameter	88,9 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 26,23}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,19 mm
$\text{Stress ratio} = \frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,19 \cdot 1}{5,54 - 1,6} =$	0,0475
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0475)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							5,02	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,76	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,92	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,76	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [59,72, 29,86 + (5,54 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 59,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (5,54 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,29 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,94 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = 2,76 \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = 4,92$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{0,8163 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\ &= 1,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [1,89, 0] \\ &= 1,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [9,07, 3,1] \\ &= 9,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [5,02, 9,07] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,89, 5,02] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAWP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAWP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,04 MPa @ 260 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						5,02	5,54	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	<u>2,76</u>	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	<u>4,92</u>	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	<u>2,76</u>	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,04 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [59,72, 29,86 + (5,54 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 59,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (5,54 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} \\
 &= 0,37 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 7,23 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,51 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,94 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = 2,76 \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = 4,92$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,04 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} + 1,6 \\ &= 1,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [1,97, 0] \\ &= 1,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [11,11, 3,1] \\ &= 11,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [5,02, 11,11] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,97, 5,02] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							3,42	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [56,08, 28,04 + (5,54 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 56,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (5,54 - 0) + 0] \\
 &= 13,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
&= \frac{1,1223 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
&= 0,24 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
&= \max [0,24, 0] \\
&= 0,24 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
&= \max [9,11, 1,5] \\
&= 9,11 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
&= \min [3,42, 9,11] \\
&= 3,42 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
&= \max [0,24, 3,42] \\
&= \underline{3,42} \text{ mm}
\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,59 MPa @ 20 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						3,42	5,54	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,59 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [56,08, 28,04 + (5,54 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 56,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (5,54 - 0) + 0] \\
 &= 13,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} \\
 &= 0,34 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,88 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,59 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} + 0 \\ &= 0,34 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,34, 0] \\ &= 0,34 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 12,88 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,88, 1,5] \\ &= 12,88 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [3,42, 12,88] \\ &= 3,42 \text{ mm}\end{aligned}$$

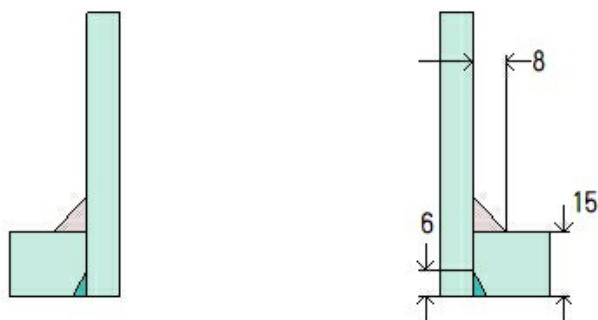
$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,34, 3,42] \\ &= \underline{3,42} \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

N13 (N13)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	50°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	425 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	73,66 mm
Pipe minimum wall thickness	7,62 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	80,6 mm
Projection available outside vessel, Lpr	86,5 mm
Projection available outside vessel to flange face, Lf	156,35 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	8 mm
Nozzle to vessel groove weld	6 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 38,43}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,27 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,27 \cdot 1}{7,62 - 1,6} =$	0,0455
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0455)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
4,7536	7,6987	5,9819	1,2445	–	–	0,4723	6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
-5,526	17,511	82,530	29,659	87,595

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	4,21	5,6	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	7,53	10	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,21	4,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [80,6, 40,3 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 80,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 0] \\
 &= 15,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (80,6 \cdot 5,68 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot 5,68 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{4,7536} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{5,9819} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (80,6 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 5,9819 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 6,02) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 2,7568 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{1,2445} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (6,02 - 0,42) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\ &= 2,7703 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (6,02 - 0,42) \cdot 0,7382 \cdot 6,02)/100 \\ &= 1,2445 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= L e g^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{0,4723} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 5,9819 + 1,2445 + 0,4723 \\
 &= \underline{7,6987} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,02 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{4,21} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 4,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 10 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{7,53}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\
 &= 2,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,02, 0] \\
 &= 2,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,07, 3,1] \\
 &= 9,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [6,4, 9,07] \\
 &= 6,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,02, 6,4] \\
 &= \underline{6,4} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 36,897 = 41.219,5 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 82,88 \cdot 6,02 \cdot 52,71 = 41.310,38 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 4,4 \cdot 75,48 = 46.375,28 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (475,363 - 598,1924 + 2 \cdot 6,02 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68)) \cdot 102 \\ &= \underline{-5.526,34 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (124,4514 + 0 + 47,2257 + 0) \cdot 102 \\ &= \underline{17.511,06 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (124,4514 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\ &= \underline{29.658,9 \text{ N}} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = -5.526,34$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $41.219,5 + 41.310,38 = \underline{82.529,88}$ N

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = -5.526,34$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $41.219,5 + 46.375,28 = \underline{87.594,78}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAWP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAWP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,04 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
6,0511	6,4729	4,7819	1,2187	–	–	0,4723	6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
18.543	17.248	82.530	29.396	87.595

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	4,21	5,6	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	7,53	10	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,21	4,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,04 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [80,6, 40,3 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 80,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 0] \\
 &= 15,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} \\
 &= 0,54 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
&= \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1 - 0,2)} \\
&= 7,23 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,51 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned}
A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (80,6 \cdot 7,23 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot 7,23 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 6,0511 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = 4,7819 \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
&= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (80,6 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 4,7819 \text{ cm}^2 \\
&= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (2 \cdot (13,4 + 6,02) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 2,2039 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = 1,2187 \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
&= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\
&= (5 \cdot (6,02 - 0,54) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\
&= 2,7123 \text{ cm}^2 \\
&= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\
&= (5 \cdot (6,02 - 0,54) \cdot 0,7382 \cdot 6,02)/100 \\
&= 1,2187 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\
&= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\
&= \underline{0,4723} \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
&= 4,7819 + 1,2187 + 0,4723 \\
&= \underline{6,4729} \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,02 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{4,21} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 4,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 10 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{7,53}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
&= \frac{1,04 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} + 1,6 \\
&= 2,14 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
&= \max [2,14, 0] \\
&= 2,14 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
&= \max [11,11, 3,1] \\
&= 11,11 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
&= \min [6,4, 11,11] \\
&= 6,4 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
&= \max [2,14, 6,4] \\
&= \underline{6,4} \text{ mm}
\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 36,897 = 41.219,5 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 82,88 \cdot 6,02 \cdot 52,71 = 41.310,38 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 4,4 \cdot 75,48 = 46.375,28 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (605,106 - 478,1926 + 2 \cdot 6,02 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23)) \cdot 102 \\
&= \underline{18.543,03} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (121,8707 + 0 + 47,2257 + 0) \cdot 102 \\
&= \underline{17.247,84} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (121,8707 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{29.395,68} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 17.247,84 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $41.219,5 + 41.310,38 = \underline{82.529,88} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 18.543,03 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $41.219,5 + 46.375,28 = \underline{87.594,78} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
5,3429	9,6503	6,2445	2,7658	–	–	0,64	4,8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
3,798	39,167	141,268	65,456	134,254

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [77,25, 38,62 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 77,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 0] \\
 &= 19,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot 6,92 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 6,92 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{5,3429} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{6,2445} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 6,2445 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 3,6568 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{2,7658} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,36) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,4445 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,36) \cdot 1 \cdot 7,62)/100 \\ &= 2,7658 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 6,2445 + 2,7658 + 0,64 \\ &= \underline{9,6503} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,36, 0] \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,11, 1,5] \\
 &= 9,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [4,8, 9,11] \\
 &= 4,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,36, 4,8] \\
 &= 4,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 6 \cdot 85,1 = 71.302,13 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (534,2867 - 624,4504 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92)) \cdot 115 \\
&= \underline{3.798,46} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (276,5801 + 0 + 63,9999 + 0) \cdot 115 \\
&= \underline{39.166,7} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (276,5801 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
&= \underline{65.455,7} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 3.798,46 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $62.951,43 + 78.316,72 = \underline{141.268,15} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 65.455,7 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $62.951,43 + 71.302,13 = \underline{134.253,56} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,57 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
7.468	7.469	4.1193	2.7097	-	-	0.64	4.8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
47.856	38.521	141.268	64.810	134.254

Calculations for internal pressure 1,57 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [77,25, 38,62 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 77,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 0] \\
 &= 19,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,5711 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,5711} \\
 &= 0,51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,5711 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,5711 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,5711 \cdot 1.423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,5711 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,73 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot 9,67 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 9,67 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{7,468} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{4,1193} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 4,1193 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 2,4123 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{2,7097} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,51) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,3342 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,51) \cdot 1 \cdot 7,62)/100 \\ &= 2,7097 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 4,1193 + 2,7097 + 0,64 \\ &= \underline{7,469} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,5711 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,5711} + 0 \\ &= 0,51 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,51, 0] \\ &= 0,51 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{bl} = 12,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,73, 1,5] \\ &= 12,73 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{i8}, t_{bl}] \\ &= \min [4,8, 12,73] \\ &= 4,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,51, 4,8] \\ &= 4,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 6 \cdot 85,1 = 71.302,13 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (746,8044 - 411,9347 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67)) \cdot 115 \\
&= \underline{47.855,78} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (270,9672 + 0 + 63,9999 + 0) \cdot 115 \\
&= \underline{38.521,22} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (270,9672 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
&= \underline{64.810,22} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 38.521,22$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $62.951,43 + 78.316,72 = \underline{141.268,15}$ N

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

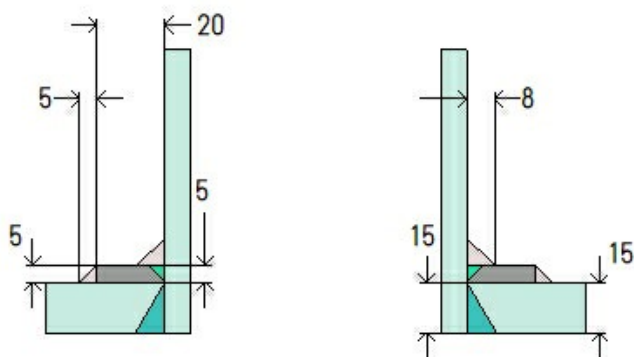
Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 47.855,78$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $62.951,43 + 71.302,13 = \underline{134.253,56}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

N14 (N14)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	205°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	675 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	73,66 mm
Pipe minimum wall thickness	7,62 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	87,5 mm
Projection available outside vessel, L _{pr}	182 mm
Projection available outside vessel to flange face, L _f	251,85 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Reinforcing Pad

Material specification	SA-240 316L (II-D Metric p. 72, ln. 34)
Diameter, D _p	141 mm
Thickness, t _e	5 mm
Is split	No

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	8 mm
Outer fillet, Leg ₄₂	5 mm
Nozzle to vessel groove weld	15 mm
Pad groove weld	5 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	98,3 mm
Outer Diameter	123,7 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 38,43}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,27 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,27 \cdot 1}{7,62 - 1,6} =$	0,0455
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0455)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

UHA-51 Material Toughness Requirements Pad	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} =$	6,63 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{6,63 \cdot 1}{15 - 1,6} =$	0,495
Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to pad fillet (Leg ₄₁)	3,5	5,6	weld size is adequate
Pad to shell fillet (Leg ₄₂)	2,5	3,5	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [87,5, 43,75 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 87,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 5] \\
 &= 20,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(c)(2) Weld Check

$$\begin{aligned}
 \text{Inner fillet: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_n, t_e] = 5 \text{ mm} \\
 t_{c(\min)} &= \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = 3,5 \text{ mm} \\
 t_{c(\text{actual})} &= 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Outer fillet: } t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_e, t] = 5 \text{ mm}$$

$$t_{w(\min)} = 0,5 \cdot t_{\min} = 2,5 \text{ mm}$$

$$t_{w(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{a\text{UG-27}} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\ &= 2,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{a\text{UG-27}}, t_{a\text{UG-22}}] \\ &= \max [2,02, 0] \\ &= 2,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{b\text{UG16}}] \\ &= \max [9,07, 3,1] \\ &= 9,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{i3}, t_{b1}] \\ &= \min [6,4, 9,07] \\ &= 6,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{UG-45}} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [2,02, 6,4] \\ &= 6,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAWP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAWP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,04 MPa @ 260 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to pad fillet (Leg ₄₁)	3,5	5,6	weld size is adequate
Pad to shell fillet (Leg ₄₂)	2,5	3,5	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,04 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [87,5, 43,75 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 87,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 5] \\
 &= 20,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} \\
 &= 0,54 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,51 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(c)(2) Weld Check

$$\begin{aligned} \text{Inner fillet: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_n, t_e] = 5 \text{ mm} \\ t_{c(\min)} &= \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = \mathbf{3,5 \text{ mm}} \\ t_{c(\text{actual})} &= 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Outer fillet: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_e, t] = 5 \text{ mm} \\ t_{w(\min)} &= 0,5 \cdot t_{\min} = \mathbf{2,5 \text{ mm}} \\ t_{w(\text{actual})} &= 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,04 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} + 1,6 \\ &= 2,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [2,14, 0] \\ &= 2,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [11,11, 3,1] \\ &= 11,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [6,4, 11,11] \\ &= 6,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [2,14, 6,4] \\ &= \mathbf{6,4 \text{ mm}} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							4,8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [83,86, 41,93 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 83,86 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 5] \\
 &= 24,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,36, 0] \\ &= 0,36 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{bl} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{blUG16}] \\ &= \max [9,11, 1,5] \\ &= 9,11 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{bl}] \\ &= \min [4,8, 9,11] \\ &= 4,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,36, 4,8] \\ &= 4.8 \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,39 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
9.459	9.46	3.1206	3.449	-	2	0.8903	4.8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
79.413	72.902	140.721	73.313	300.625	99.191	240.659

Calculations for internal pressure 1,39 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [83,86, 41,93 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 83,86 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 5] \\
 &= 24,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,3906 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,3906} \\
 &= 0,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,3906 \cdot 1.423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,3906 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 11,28 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: S_n = 115, S_v = 115, S_p = 115 MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (83,86 \cdot 11,28 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 11,28 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{9,459} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{3,1206} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (83,86 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,28) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,28) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 3,1206 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,28) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,28) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 1,6832 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{3,449} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,45) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,3781 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot (2,5 \cdot t_n + t_e) \cdot f_{r2} \\ &= (2 \cdot (7,62 - 0,45) \cdot (2,5 \cdot 7,62 + 5) \cdot 1)/100 \\ &= 3,449 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r3} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (5^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,2503} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\ &= ((141 - 101) \cdot 5 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{2} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
 &= 3,1206 + 3,449 + 0,64 + 0,2503 + 2 \\
 &= \underline{9,46} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,3906 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,3906} + 0 \\
 &= 0,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,45, 0] \\
 &= 0,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,28 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [11,28, 1,5] \\
 &= 11,28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [4,8, 11,28] \\
 &= 4,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,45, 4,8] \\
 &= \underline{4,8} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension:	$0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$
Nozzle wall in shear:	$0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$
Inner fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$
Outer fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$
Upper groove weld in tension:	$0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 141 \cdot 5 \cdot 56,35 = 62.403,8 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 15 \cdot 85,1 = 178.255,32 \text{ N}$$

(6) Upper groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 5 \cdot 85,1 = 59.418,44 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (945,9032 - 312,0639 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,28)) \cdot 115 \\ &= \underline{79.412,74} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (344,9025 + 200 + 63,9999 + 25,0322) \cdot 115 \\ &= \underline{72.902,49} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (344,9025 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{73.312,79} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (344,9025 + 0 + 200 + 63,9999 + 25,0322 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{99.191,49} \text{ N} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 72.902,49 \text{ N}$

Path 1-1 through (2) & (3) = $62.403,8 + 78.316,72 = \underline{140.720,52} \text{ N}$
Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 73.312,79 \text{ N}$

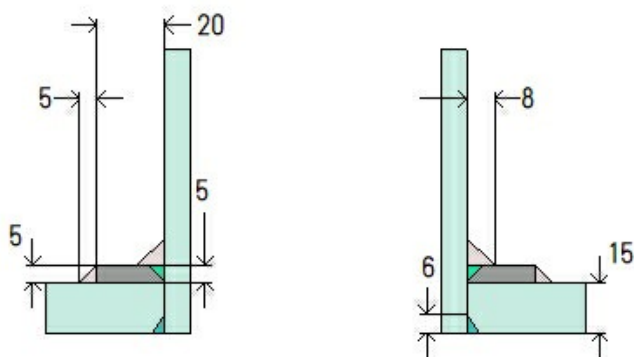
Path 2-2 through (1), (4), (6) = $62.951,43 + 178.255,32 + 59.418,44 = \underline{300.625,2} \text{ N}$
Path 2-2 is stronger than W_{2-2} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 79.412,74 \text{ N}$

Path 3-3 through (2), (4) = $62.403,8 + 178.255,32 = \underline{240.659,12} \text{ N}$
Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

N16 (N16)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation	
Located on	FS
Orientation	355°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	675 mm
Passes through a Category A joint	No
Nozzle	
Description	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	73,66 mm
Pipe minimum wall thickness	7,62 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	87,5 mm
Projection available outside vessel, L _{pr}	182 mm
Projection available outside vessel to flange face, L _f	251,85 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa
Reinforcing Pad	
Material specification	SA-240 316L (II-D Metric p. 72, ln. 34)
Diameter, D _p	141 mm
Thickness, t _e	5 mm
Is split	No
Welds	
Inner fillet, Leg ₄₁	8 mm
Outer fillet, Leg ₄₂	5 mm
Nozzle to vessel groove weld	6 mm
Pad groove weld	5 mm
Radiography	
Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	Yes
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	98,3 mm
Outer Diameter	123,7 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 38,43}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,27 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,27 \cdot 1}{7,62 - 1,6} =$	0,0455
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0455)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

UHA-51 Material Toughness Requirements Pad	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} =$	6,63 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{6,63 \cdot 1}{15 - 1,6} =$	0,495
Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
6,7747	9,3787	4,9981	1,6581	–	2	0,7226	6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
23.494	44.683	96.660	33.877	140.296	56.830	101.725

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to pad fillet (Leg ₄₁)	3,5	5,6	weld size is adequate
Pad to shell fillet (Leg ₄₂)	2,5	3,5	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,21	4,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [87,5, 43,75 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 87,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 5] \\
 &= 20,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

Opening N4 is too close per UG-36(c)(3)(d) to allow an exemption per UG-36(c)(3)(a). Reinforcement calculations performed.

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$, $S_p = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (87,5 \cdot 7,47 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot 7,47 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382)) / 100 \\ &= \underline{6,7747} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{4,9981} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (87,5 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47) \cdot (1 - 0,7382)) / 100 \\ &= 4,9981 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 6,02) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47) \cdot (1 - 0,7382)) / 100 \\ &= 2,1148 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{1,6581} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (6,02 - 0,42) \cdot 0,7382 \cdot 13,4) / 100 \\ &= 2,7703 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot (2,5 \cdot t_n + t_e) \cdot f_{r2} \\ &= (2 \cdot (6,02 - 0,42) \cdot (2,5 \cdot 6,02 + 5) \cdot 0,7382) / 100 \\ &= 1,6581 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r3} \\ &= (8^2 \cdot 0,7382) / 100 \\ &= \underline{0,4723} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (5^2 \cdot 1) / 100 \\ &= \underline{0,2503} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\
 &= ((141 - 101) \cdot 5 \cdot 1) / 100 \\
 &= \underline{2} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
 &= 4,9981 + 1,6581 + 0,4723 + 0,2503 + 2 \\
 &= \underline{9,3787} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$\begin{aligned}
 \text{Inner fillet: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_n, t_e] = 5 \text{ mm} \\
 t_{c(\min)} &= \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{3,5} \text{ mm} \\
 t_{c(\text{actual})} &= 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Outer fillet: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_e, t] = 5 \text{ mm} \\
 t_{w(\min)} &= 0,5 \cdot t_{\min} = \underline{2,5} \text{ mm} \\
 t_{w(\text{actual})} &= 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lower groove: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,02 \text{ mm} \\
 t_{w(\min)} &= 0,7 \cdot t_{\min} = \underline{4,21} \text{ mm} \\
 t_{w(\text{actual})} &= 4,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\
 &= 2,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,02, 0] \\
 &= 2,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{bl} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,07, 3,1] \\
 &= 9,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [6,4, 9,07] \\
 &= 6,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,02, 6,4] \\
 &= \underline{6,4} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension:	$0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$
Nozzle wall in shear:	$0,7 \cdot 75,3 = 52,71 \text{ MPa}$
Inner fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 75,3 = 36,897 \text{ MPa}$
Outer fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 102 = 49,98 \text{ MPa}$
Upper groove weld in tension:	$0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 36,897 = 41.219,5 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 141 \cdot 5 \cdot 49,98 = 55.349,46 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 82,88 \cdot 6,02 \cdot 52,71 = 41.310,38 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 4,4 \cdot 75,48 = 46.375,28 \text{ N}$$

(6) Upper groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 5 \cdot 75,48 = 52.701,57 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
 W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
 &= (677,4715 - 499,8055 + 2 \cdot 6,02 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,47)) \cdot 102 \\
 &= \underline{23.494,36} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
 &= (165,8061 + 200 + 47,2257 + 25,0322) \cdot 102 \\
 &= \underline{44.682,54} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
 &= (165,8061 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
 &= \underline{33.877,09} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (165,8061 + 0 + 200 + 47,2257 + 25,0322 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{56.830,38} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 23.494,36 \text{ N}$

Path 1-1 through (2) & (3) = $55.349,46 + 41.310,38 = \underline{96.659,84} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 23.494,36 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4), (6) = $41.219,5 + 46.375,28 + 52.701,57 = \underline{140.296,35} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 23.494,36 \text{ N}$

Path 3-3 through (2), (4) = $55.349,46 + 46.375,28 = \underline{101.724,74} \text{ N}$

Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAWP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAWP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,98 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
8,1104	8,111	3,7555	1,6329	–	2	0,7226	6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
48.456	44.426	96.660	33.620	140.296	56.574	101.725

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to pad fillet (Leg ₄₁)	3,5	5,6	weld size is adequate
Pad to shell fillet (Leg ₄₂)	2,5	3,5	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,21	4,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,98 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [87,5, 43,75 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 87,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 5] \\
 &= 20,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,9781 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,9781} \\
 &= 0,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,9781 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,9781 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 8,95 \text{ mm}$$

Opening N4 is too close per UG-36(c)(3)(d) to allow an exemption per UG-36(c)(3)(a). Reinforcement calculations performed.

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$, $S_p = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (87,5 \cdot 8,95 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot 8,95 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{8,1104} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{3,7555} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (87,5 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 8,95) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 8,95) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{3,7555} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 6,02) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 8,95) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 8,95) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{1,589} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{1,6329} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (6,02 - 0,5) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\ &= \underline{2,7284} \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot (2,5 \cdot t_n + t_e) \cdot f_{r2} \\ &= (2 \cdot (6,02 - 0,5) \cdot (2,5 \cdot 6,02 + 5) \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{1,6329} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r3} \\ &= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{0,4723} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\
 &= (5^2 \cdot 1)/100 \\
 &= \underline{0,2503} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\
 &= ((141 - 101) \cdot 5 \cdot 1)/100 \\
 &= \underline{2} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
 &= 3,7555 + 1,6329 + 0,4723 + 0,2503 + 2 \\
 &= \underline{8,111} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$\begin{aligned}
 \text{Inner fillet: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_n, t_e] = 5 \text{ mm} \\
 t_{c(\min)} &= \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{3,5} \text{ mm} \\
 t_{c(\text{actual})} &= 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Outer fillet: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_e, t] = 5 \text{ mm} \\
 t_{w(\min)} &= 0,5 \cdot t_{\min} = \underline{2,5} \text{ mm} \\
 t_{w(\text{actual})} &= 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lower groove: } t_{\min} &= \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,02 \text{ mm} \\
 t_{w(\min)} &= 0,7 \cdot t_{\min} = \underline{4,21} \text{ mm} \\
 t_{w(\text{actual})} &= 4,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,9781 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,9781} + 1,6 \\
 &= 2,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,1, 0] \\
 &= 2,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{bl} = 10,55 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [10,55, 3,1] \\
 &= 10,55 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [6,4, 10,55] \\
 &= 6,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,1, 6,4] \\
 &= \underline{6,4} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension:	$0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$
Nozzle wall in shear:	$0,7 \cdot 75,3 = 52,71 \text{ MPa}$
Inner fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 75,3 = 36,897 \text{ MPa}$
Outer fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 102 = 49,98 \text{ MPa}$
Upper groove weld in tension:	$0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 36,897 = 41.219,5 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 141 \cdot 5 \cdot 49,98 = 55.349,46 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 82,88 \cdot 6,02 \cdot 52,71 = 41.310,38 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 4,4 \cdot 75,48 = 46.375,28 \text{ N}$$

(6) Upper groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 5 \cdot 75,48 = 52.701,57 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
 W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
 &= (811,0364 - 375,5476 + 2 \cdot 6,02 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 8,95)) \cdot 102 \\
 &= \underline{48.456,49} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (163,29 + 200 + 47,2257 + 25,0322) \cdot 102 \\
&= \underline{44.425,89} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (163,29 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{33.620,45} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (163,29 + 0 + 200 + 47,2257 + 25,0322 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
&= \underline{56.573,73} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 44.425,89 \text{ N}$

Path 1-1 through (2) & (3) = $55.349,46 + 41.310,38 = \underline{96.659,84} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 33.620,45 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4), (6) = $41.219,5 + 46.375,28 + 52.701,57 = \underline{140.296,35} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W_{2-2} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 48.456,49 \text{ N}$

Path 3-3 through (2), (4) = $55.349,46 + 46.375,28 = \underline{101.724,74} \text{ N}$

Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
7,6435	11,318	4,9361	3,4916	–	2	0,8903	4,8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
41.451	73.392	140.721	73.802	193.672	99.681	133.706

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [83,86, 41,93 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 83,86 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 5] \\
 &= 24,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

Opening N4 is too close per UG-36(c)(3)(d) to allow an exemption per UG-36(c)(3)(a). Reinforcement calculations performed.

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: S_n = 115, S_v = 115, S_p = 115 MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (83,86 \cdot 9,11 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 9,11 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{7,6435} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{4,9361} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (83,86 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 4,9361 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 2,6626 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{3,4916} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,36) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,4445 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot (2,5 \cdot t_n + t_e) \cdot f_{r2} \\ &= (2 \cdot (7,62 - 0,36) \cdot (2,5 \cdot 7,62 + 5) \cdot 1)/100 \\ &= 3,4916 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r3} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (5^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,2503} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\ &= ((141 - 101) \cdot 5 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{2} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
 &= 4,9361 + 3,4916 + 0,64 + 0,2503 + 2 \\
 &= 11,318 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,36, 0] \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,11, 1,5] \\
 &= 9,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [4,8, 9,11] \\
 &= 4,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,36, 4,8] \\
 &= 4,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension:	$0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$
Nozzle wall in shear:	$0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$
Inner fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$
Outer fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$
Upper groove weld in tension:	$0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 141 \cdot 5 \cdot 56,35 = 62.403,8 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 6 \cdot 85,1 = 71.302,13 \text{ N}$$

(6) Upper groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 5 \cdot 85,1 = 59.418,44 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (764,3527 - 493,6119 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,11)) \cdot 115 \\ &= \underline{41.450,5 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (349,1606 + 200 + 63,9999 + 25,0322) \cdot 115 \\ &= \underline{73.392,17 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (349,1606 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{73.802,46 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (349,1606 + 0 + 200 + 63,9999 + 25,0322 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{99.681,17 \text{ N}} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 41.450,5 \text{ N}$

Path 1-1 through (2) & (3) = $62.403,8 + 78.316,72 = \underline{140.720,52 \text{ N}}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 41.450,5 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4), (6) = $62.951,43 + 71.302,13 + 59.418,44 = \underline{193.672 \text{ N}}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 41.450,5 \text{ N}$

Path 3-3 through (2), (4) = $62.403,8 + 71.302,13 = \underline{133.705,93 \text{ N}}$

Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,39 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}	
9,459	9,46	3,1206	3,449	-	2	0,8903	4,8	7,62	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)						
All failure paths are stronger than the applicable weld loads						
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength	Weld load W ₃₋₃	Path 3-3 strength
79.413	72.902	140.721	73.313	193.672	99.191	133.706

Calculations for internal pressure 1,39 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [83,86, 41,93 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 83,86 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 5] \\
 &= 24,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,3906 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,3906} \\
 &= 0,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,3906 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,3906 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 11,28 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: S_n = 115, S_v = 115, S_p = 115 MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r3} = \text{lesser of } f_{r2} \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (83,86 \cdot 11,28 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 11,28 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{9,459} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{3,1206} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (83,86 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,28) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,28) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 3,1206 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,28) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,28) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 1,6832 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{3,449} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,45) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,3781 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot (2,5 \cdot t_n + t_e) \cdot f_{r2} \\ &= (2 \cdot (7,62 - 0,45) \cdot (2,5 \cdot 7,62 + 5) \cdot 1)/100 \\ &= 3,449 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r3} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (5^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,2503} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - d - 2 \cdot t_n) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\ &= ((141 - 101) \cdot 5 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{2} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} + A_{42} + A_5 \\
 &= 3,1206 + 3,449 + 0,64 + 0,2503 + 2 \\
 &= \underline{9,46} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,3906 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,3906} + 0 \\
 &= 0,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,45, 0] \\
 &= 0,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,28 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [11,28, 1,5] \\
 &= 11,28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [4,8, 11,28] \\
 &= 4,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,45, 4,8] \\
 &= \underline{4,8} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension:	$0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$
Nozzle wall in shear:	$0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$
Inner fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$
Outer fillet weld in shear:	$0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$
Upper groove weld in tension:	$0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(2) Outer fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Pad OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_o = \frac{\pi}{2} \cdot 141 \cdot 5 \cdot 56,35 = 62.403,8 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 6 \cdot 85,1 = 71.302,13 \text{ N}$$

(6) Upper groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 5 \cdot 85,1 = 59.418,44 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (945,9032 - 312,0639 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 11,28)) \cdot 115 \\ &= \underline{79.412,74 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (344,9025 + 200 + 63,9999 + 25,0322) \cdot 115 \\ &= \underline{72.902,49 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (344,9025 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{73.312,79 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (344,9025 + 0 + 200 + 63,9999 + 25,0322 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\ &= \underline{99.191,49 \text{ N}} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 72.902,49 \text{ N}$

Path 1-1 through (2) & (3) = $62.403,8 + 78.316,72 = \underline{140.720,52 \text{ N}}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 73.312,79 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4), (6) = $62.951,43 + 71.302,13 + 59.418,44 = \underline{193.672 \text{ N}}$

Path 2-2 is stronger than W_{2-2} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

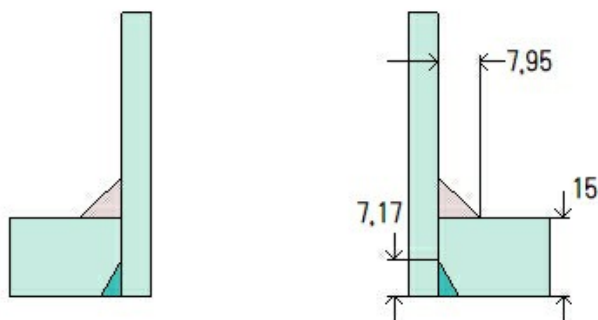
Load for path 3-3 lesser of W or $W_{3-3} = 79.412,74 \text{ N}$

Path 3-3 through (2), (4) = $62.403,8 + 71.302,13 = \underline{133.705,93 \text{ N}}$

Path 3-3 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

N17 (N17)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	82°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	675 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, In. 40)
Inside diameter, new	49,25 mm
Pipe minimum wall thickness	5,54 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	59,72 mm
Projection available outside vessel, L _{pr}	195,52 mm
Projection available outside vessel to flange face, L _f	259,02 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	7,95 mm
Nozzle to vessel groove weld	7,17 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 2 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	69,9 mm
Outer Diameter	88,9 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 26,23}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,19 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,19 \cdot 1}{5,54 - 1,6} =$	0,0475
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0475)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							5,02	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,76	5,57	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,92	11,13	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,76	5,57	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [59,72, 29,86 + (5,54 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 59,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (5,54 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,29 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,94 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = 2,76 \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 7,95 = 5,57 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 5,57 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 11,13 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = 4,92$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{0,8163 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\ &= 1,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [1,89, 0] \\ &= 1,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [9,07, 3,1] \\ &= 9,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [5,02, 9,07] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,89, 5,02] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAWP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAWP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,04 MPa @ 260 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							5,02	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,76	5,57	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,92	11,13	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,76	5,57	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,04 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [59,72, 29,86 + (5,54 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 59,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (5,54 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} \\
 &= 0,37 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 7,23 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,51 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,94 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = 2,76 \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 7,95 = 5,57 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 5,57 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 11,13 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = 4,92$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,04 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} + 1,6 \\ &= 1,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [1,97, 0] \\ &= 1,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [11,11, 3,1] \\ &= 11,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [5,02, 11,11] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,97, 5,02] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							3,42	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [56,08, 28,04 + (5,54 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 56,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (5,54 - 0) + 0] \\
 &= 13,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,24, 0] \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,11, 1,5] \\
 &= 9,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [3,42, 9,11] \\
 &= 3,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,24, 3,42] \\
 &= \underline{3,42} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,59 MPa @ 20 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						3,42	5,54	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,59 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [56,08, 28,04 + (5,54 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 56,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (5,54 - 0) + 0] \\
 &= 13,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} \\
 &= 0,34 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,88 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,59 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} + 0 \\ &= 0,34 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,34, 0] \\ &= 0,34 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 12,88 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,88, 1,5] \\ &= 12,88 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [3,42, 12,88] \\ &= 3,42 \text{ mm}\end{aligned}$$

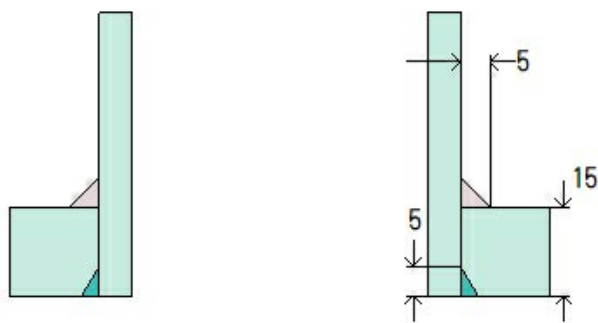
$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,34, 3,42] \\ &= \underline{3,42} \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

N18 (N18)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	50°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	675 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	49,25 mm
Pipe minimum wall thickness	5,54 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	59,72 mm
Projection available outside vessel, Lpr	195,52 mm
Projection available outside vessel to flange face, Lf	259,02 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	5 mm
Nozzle to vessel groove weld	5 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 2 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	69,9 mm
Outer Diameter	88,9 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 26,23}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,19 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,19 \cdot 1}{5,54 - 1,6} =$	0,0475
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0475)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							5,02	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,76	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,92	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,76	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [59,72, 29,86 + (5,54 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 59,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (5,54 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,29 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,94 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = 2,76 \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = 4,92$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{0,8163 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\ &= 1,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [1,89, 0] \\ &= 1,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [9,07, 3,1] \\ &= 9,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [5,02, 9,07] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,89, 5,02] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAWP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAWP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,04 MPa @ 260 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						5,02	5,54	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	<u>2,76</u>	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	<u>4,92</u>	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	<u>2,76</u>	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,04 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [59,72, 29,86 + (5,54 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 59,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (5,54 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} \\
 &= 0,37 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 7,23 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,51 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,94 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = 2,76 \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = 4,92$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,04 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} + 1,6 \\ &= 1,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [1,97, 0] \\ &= 1,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [11,11, 3,1] \\ &= 11,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [5,02, 11,11] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,97, 5,02] \\ &= 5,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							3,42	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [56,08, 28,04 + (5,54 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 56,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (5,54 - 0) + 0] \\
 &= 13,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,24, 0] \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,11, 1,5] \\
 &= 9,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [3,42, 9,11] \\
 &= 3,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,24, 3,42] \\
 &= \underline{3,42} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,59 MPa @ 20 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						3,42	5,54	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,59 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [56,08, 28,04 + (5,54 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 56,08 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (5,54 - 0) + 0] \\
 &= 13,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} \\
 &= 0,34 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,59 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,59 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,88 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,59 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,59} + 0 \\ &= 0,34 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,34, 0] \\ &= 0,34 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 12,88 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,88, 1,5] \\ &= 12,88 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [3,42, 12,88] \\ &= 3,42 \text{ mm}\end{aligned}$$

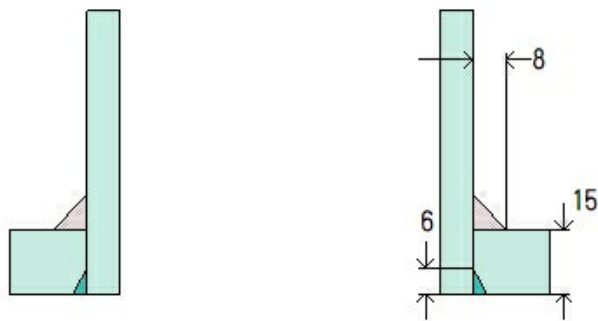
$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,34, 3,42] \\ &= \underline{3,42} \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

N19 (N19)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	20°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	550 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	73,66 mm
Pipe minimum wall thickness	7,62 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	83,45 mm
Projection available outside vessel, L _{pr}	127,51 mm
Projection available outside vessel to flange face, L _f	197,36 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	8 mm
Nozzle to vessel groove weld	6 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	98,3 mm
Outer Diameter	123,7 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 38,43}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,27 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,27 \cdot 1}{7,62 - 1,6} =$	0,0455
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0455)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
4,9155	7,9193	6,2026	1,2445	–	–	0,4723	6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
-6,126	17,511	82,530	29,659	87,595

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	4,21	5,6	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	7,53	10	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,21	4,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [83,45, 41,73 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 83,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 0] \\
 &= 15,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

Opening N4 is too close per UG-36(c)(3)(d) to allow an exemption per UG-36(c)(3)(a). Reinforcement calculations performed.

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (83,45 \cdot 5,68 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot 5,68 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 4,9155 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 =$ larger of the following = 6,2026 cm²

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (83,45 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 6,2026 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 6,02) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 2,7568 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 =$ smaller of the following = 1,2445 cm²

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (6,02 - 0,42) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\ &= 2,7703 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (6,02 - 0,42) \cdot 0,7382 \cdot 6,02)/100 \\ &= 1,2445 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= L e g^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= 0,4723 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 6,2026 + 1,2445 + 0,4723 \\
 &= \underline{7,9193} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,02 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{4,21} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 4,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 10 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{7,53}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\
 &= 2,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,02, 0] \\
 &= 2,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,07, 3,1] \\
 &= 9,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [6,4, 9,07] \\
 &= 6,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,02, 6,4] \\
 &= \underline{6,4} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 36,897 = 41.219,5 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 82,88 \cdot 6,02 \cdot 52,71 = 41.310,38 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 4,4 \cdot 75,48 = 46.375,28 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (491,553 - 620,2568 + 2 \cdot 6,02 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68)) \cdot 102 \\ &= \underline{-6.125.53 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (124,4514 + 0 + 47,2257 + 0) \cdot 102 \\ &= \underline{17.511.06 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (124,4514 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\ &= \underline{29.658.9 \text{ N}} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = -6.125,53$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $41.219,5 + 41.310,38 = \underline{82.529.88}$ N

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = -6.125,53$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $41.219,5 + 46.375,28 = \underline{87.594.78}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAWP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAWP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,04 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
6,2571	6,649	4,9581	1,2187	–	–	0,4723	6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
18.849	17.248	82.530	29.396	87.595

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	4,21	5,6	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	7,53	10	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,21	4,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,04 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [83,45, 41,73 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 83,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 0] \\
 &= 15,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} \\
 &= 0,54 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
&= \frac{1,04 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1 - 0,2)} \\
&= 7,23 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,04 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,51 \text{ mm}$$

Opening N4 is too close per UG-36(c)(3)(d) to allow an exemption per UG-36(c)(3)(a). Reinforcement calculations performed.

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned}
A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (83,45 \cdot 7,23 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot 7,23 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= \underline{6,2571} \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{4,9581} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
&= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (83,45 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 4,9581 \text{ cm}^2 \\
&= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (2 \cdot (13,4 + 6,02) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 2,2039 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{1,2187} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
&= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\
&= (5 \cdot (6,02 - 0,54) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\
&= 2,7123 \text{ cm}^2 \\
&= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\
&= (5 \cdot (6,02 - 0,54) \cdot 0,7382 \cdot 6,02)/100 \\
&= 1,2187 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\
&= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\
&= \underline{0,4723} \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
&= 4,9581 + 1,2187 + 0,4723 \\
&= \underline{6,649} \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,02 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{4,21} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 4,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 10 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{7,53}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
&= \frac{1,04 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} + 1,6 \\
&= 2,14 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
&= \max [2,14, 0] \\
&= 2,14 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
&= \max [11,11, 3,1] \\
&= 11,11 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
&= \min [6,4, 11,11] \\
&= 6,4 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,14, 6,4] \\
 &= \underline{6,4} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 36,897 = 41.219,5 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 82,88 \cdot 6,02 \cdot 52,71 = 41.310,38 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 4,4 \cdot 75,48 = 46.375,28 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
 W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
 &= (625,7149 - 495,8055 + 2 \cdot 6,02 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23)) \cdot 102 \\
 &= \underline{18.848,61} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
 &= (121,8707 + 0 + 47,2257 + 0) \cdot 102 \\
 &= \underline{17.247,84} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
 &= (121,8707 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
 &= \underline{29.395,68} \text{ N}
 \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 17.247,84 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $41.219,5 + 41.310,38 = \underline{82.529,88} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 18.848,61 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $41.219,5 + 46.375,28 = \underline{87.594,78} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
5,5322	9,8716	6,4658	2,7658	-	-	0,64	4,8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
3,431	39,167	141,268	65,456	134,254

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [79,99, 39,99 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 79,99 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 0] \\
 &= 19,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

Opening N4 is too close per UG-36(c)(3)(d) to allow an exemption per UG-36(c)(3)(a). Reinforcement calculations performed.

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (79,99 \cdot 6,92 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 6,92 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{5,5322} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{6,4658} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (79,99 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 6,4658 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 3,6568 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{2,7658} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,36) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,4445 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,36) \cdot 1 \cdot 7,62)/100 \\ &= 2,7658 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 6,4658 + 2,7658 + 0,64 \\ &= \underline{9,8716} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\ &= 0,36 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,36, 0] \\ &= 0,36 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [9,11, 1,5] \\ &= 9,11 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [4,8, 9,11] \\ &= 4,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,36, 4,8] \\ &= \underline{4,8} \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 6 \cdot 85,1 = 71.302,13 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (553,2247 - 646,5794 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92)) \cdot 115 \\
&= \underline{3.431,49} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (276,5801 + 0 + 63,9999 + 0) \cdot 115 \\
&= \underline{39.166,7} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (276,5801 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
&= \underline{65.455,7} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 3.431,49 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $62.951,43 + 78.316,72 = \underline{141.268,15} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 3.431,49 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $62.951,43 + 71.302,13 = \underline{134.253,56} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,56 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
7,6744	7,6755	4,3239	2,7116	-	-	0,64	4,8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
48.005	38.543	141.268	64.832	134.254

Calculations for internal pressure 1,56 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [79,99, 39,99 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 79,99 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 0] \\
 &= 19,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,5592 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,5592} \\
 &= 0,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,5592 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,5592 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,59 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,5592 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,5592 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,64 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (79,99 \cdot 9,59 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 9,59 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{7,6744} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{4,3239} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (79,99 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,59) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,59) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 4,3239 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,59) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,59) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 2,4452 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{2,7116} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,5) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,3381 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,5) \cdot 1 \cdot 7,62)/100 \\ &= 2,7116 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 4,3239 + 2,7116 + 0,64 \\ &= \underline{7,6755} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,5592 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,5592} + 0 \\ &= 0,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,5, 0] \\ &= 0,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{bl} = 12,64 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,64, 1,5] \\ &= 12,64 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{bl}] \\ &= \min [4,8, 12,64] \\ &= 4,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,5, 4,8] \\ &= \underline{4,8} \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 6 \cdot 85,1 = 71.302,13 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
 W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
 &= (767,4443 - 432,3862 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,59)) \cdot 115 \\
 &= \underline{48.005,19} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
 &= (271,1607 + 0 + 63,9999 + 0) \cdot 115 \\
 &= \underline{38.543,48} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
 &= (271,1607 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
 &= \underline{64.832,48} \text{ N}
 \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 38.543,48 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $62.951,43 + 78.316,72 = \underline{141.268,15} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

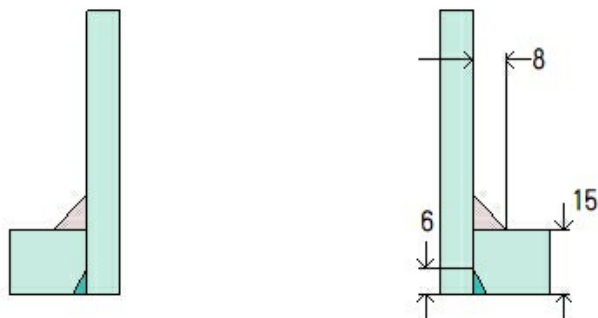
Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 48.005,19 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $62.951,43 + 71.302,13 = \underline{134.253,56} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

N20 (N20)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	175°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	425 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 3 Sch 80S (XS) DN 80
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, In. 40)
Inside diameter, new	73,66 mm
Pipe minimum wall thickness	7,62 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	80,6 mm
Projection available outside vessel, Lpr	86,5 mm
Projection available outside vessel to flange face, Lf	156,35 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	8 mm
Nozzle to vessel groove weld	6 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	Yes
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	98,3 mm
Outer Diameter	123,7 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 38,43}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,27 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,27 \cdot 1}{7,62 - 1,6} =$	0,0455
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0455)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
4,7536	7,6987	5,9819	1,2445	–	–	0,4723	6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
-5,526	17,511	82,530	29,659	87,595

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	4,21	5,6	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	7,53	10	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,21	4,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [80,6, 40,3 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 80,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 0] \\
 &= 15,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (80,6 \cdot 5,68 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot 5,68 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{4,7536} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{5,9819} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (80,6 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 5,9819 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 6,02) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 2,7568 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{1,2445} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (6,02 - 0,42) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\ &= 2,7703 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (6,02 - 0,42) \cdot 0,7382 \cdot 6,02)/100 \\ &= 1,2445 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= L e g^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{0,4723} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 5,9819 + 1,2445 + 0,4723 \\
 &= \underline{7,6987} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,02 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{4,21} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 4,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 10 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{7,53}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\
 &= 2,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,02, 0] \\
 &= 2,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,07, 3,1] \\
 &= 9,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [6,4, 9,07] \\
 &= 6,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,02, 6,4] \\
 &= \underline{6,4} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 36,897 = 41.219,5 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 82,88 \cdot 6,02 \cdot 52,71 = 41.310,38 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 4,4 \cdot 75,48 = 46.375,28 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (475,363 - 598,1924 + 2 \cdot 6,02 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68)) \cdot 102 \\ &= \underline{-5.526,34 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (124,4514 + 0 + 47,2257 + 0) \cdot 102 \\ &= \underline{17.511,06 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (124,4514 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\ &= \underline{29.658,9 \text{ N}} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = -5.526,34$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $41.219,5 + 41.310,38 = \underline{82.529,88}$ N

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = -5.526,34$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $41.219,5 + 46.375,28 = \underline{87.594,78}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAWP

The attached ASME B16.5 flange limits the nozzle MAWP.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,04 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
6,0511	6,4729	4,7819	1,2187	–	–	0,4723	6,4	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
18.543	17.248	82.530	29.396	87.595

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	4,21	5,6	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	7,53	10	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	4,21	4,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,04 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [80,6, 40,3 + (7,62 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 80,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (7,62 - 1,6) + 0] \\
 &= 15,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,04 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} \\
 &= 0,54 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
&= \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1 - 0,2)} \\
&= 7,23 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,04 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,04 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,51 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned}
A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (80,6 \cdot 7,23 \cdot 1 + 2 \cdot 6,02 \cdot 7,23 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 6,0511 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = 4,7819 \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
&= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (80,6 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 4,7819 \text{ cm}^2 \\
&= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (2 \cdot (13,4 + 6,02) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) - 2 \cdot 6,02 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 2,2039 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = 1,2187 \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
&= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\
&= (5 \cdot (6,02 - 0,54) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\
&= 2,7123 \text{ cm}^2 \\
&= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\
&= (5 \cdot (6,02 - 0,54) \cdot 0,7382 \cdot 6,02)/100 \\
&= 1,2187 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\
&= (8^2 \cdot 0,7382)/100 \\
&= \underline{0,4723} \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
&= 4,7819 + 1,2187 + 0,4723 \\
&= \underline{6,4729} \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 6,02 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{4,21} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 4,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 10 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{7,53}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
&= \frac{1,04 \cdot 38,43}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,04} + 1,6 \\
&= 2,14 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
&= \max [2,14, 0] \\
&= 2,14 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
&= \max [11,11, 3,1] \\
&= 11,11 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
&= \min [6,4, 11,11] \\
&= 6,4 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [2,14, 6,4] \\
 &= \mathbf{6,4} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62$ mm

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 36,897 = 41.219,5 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 82,88 \cdot 6,02 \cdot 52,71 = 41.310,38 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 4,4 \cdot 75,48 = 46.375,28 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
 W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
 &= (605,106 - 478,1926 + 2 \cdot 6,02 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,23)) \cdot 102 \\
 &= \mathbf{18.543,03} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
 &= (121,8707 + 0 + 47,2257 + 0) \cdot 102 \\
 &= \mathbf{17.247,84} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
 &= (121,8707 + 0 + 47,2257 + 0 + 2 \cdot 6,02 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
 &= \mathbf{29.395,68} \text{ N}
 \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 17.247,84$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $41.219,5 + 41.310,38 = \mathbf{82.529,88}$ N

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 18.543,03$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $41.219,5 + 46.375,28 = \mathbf{87.594,78}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
5,3429	9,6503	6,2445	2,7658	-	-	0,64	4,8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
3,798	39,167	141,268	65,456	134,254

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [77,25, 38,62 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 77,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 0] \\
 &= 19,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot 6,92 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 6,92 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{5,3429} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{6,2445} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 6,2445 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 3,6568 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{2,7658} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,36) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,4445 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,36) \cdot 1 \cdot 7,62)/100 \\ &= 2,7658 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 6,2445 + 2,7658 + 0,64 \\ &= \underline{9,6503} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
&= \frac{1,1223 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
&= 0,36 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
&= \max [0,36, 0] \\
&= 0,36 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
&= \max [9,11, 1,5] \\
&= 9,11 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
&= \min [4,8, 9,11] \\
&= 4,8 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
&= \max [0,36, 4,8] \\
&= 4,8 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 6 \cdot 85,1 = 71.302,13 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (534,2867 - 624,4504 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92)) \cdot 115 \\
&= \underline{3.798,46} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (276,5801 + 0 + 63,9999 + 0) \cdot 115 \\
&= \underline{39.166,7} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (276,5801 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
&= \underline{65.455,7} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 3.798,46 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $62.951,43 + 78.316,72 = \underline{141.268,15} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 65.455,7 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $62.951,43 + 71.302,13 = \underline{134.253,56} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,57 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
7.468	7.469	4.1193	2.7097	-	-	0.64	4.8	7,62

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
47.856	38.521	141.268	64.810	134.254

Calculations for internal pressure 1,57 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [77,25, 38,62 + (7,62 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 77,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (7,62 - 0) + 0] \\
 &= 19,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,5711 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,5711} \\
 &= 0,51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,5711 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,5711 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,5711 \cdot 1.423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,5711 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,73 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot 9,67 \cdot 1 + 2 \cdot 7,62 \cdot 9,67 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{7,468} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{4,1193} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (77,25 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 4,1193 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 7,62) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) - 2 \cdot 7,62 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 2,4123 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{2,7097} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,51) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 5,3342 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (7,62 - 0,51) \cdot 1 \cdot 7,62)/100 \\ &= 2,7097 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (8^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,64} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 4,1193 + 2,7097 + 0,64 \\ &= \underline{7,469} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,5711 \cdot 36,83}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,5711} + 0 \\ &= 0,51 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,51, 0] \\ &= 0,51 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 12,73 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,73, 1,5] \\ &= 12,73 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [4,8, 12,73] \\ &= 4,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,51, 4,8] \\ &= 4,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 7,62 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 8 \cdot 56,35 = 62.951,43 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 81,28 \cdot 7,62 \cdot 80,5 = 78.316,72 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 88,9 \cdot 6 \cdot 85,1 = 71.302,13 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (746,8044 - 411,9347 + 2 \cdot 7,62 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,67)) \cdot 115 \\
&= \underline{47.855,78} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (270,9672 + 0 + 63,9999 + 0) \cdot 115 \\
&= \underline{38.521,22} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (270,9672 + 0 + 63,9999 + 0 + 2 \cdot 7,62 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
&= \underline{64.810,22} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 38.521,22$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $62.951,43 + 78.316,72 = \underline{141.268,15}$ N

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

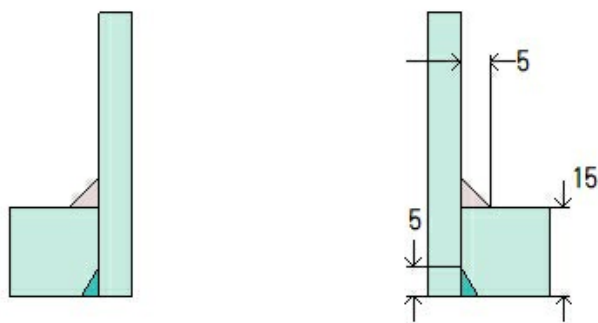
Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 47.855,78$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $62.951,43 + 71.302,13 = \underline{134.253,56}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

N22 (N22)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	FS
Orientation	315°
End of nozzle to datum line	2.500 mm
Calculated as hillside	Yes
Distance to head center, R	425 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 2 Sch 80S (XS) DN 50
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Inside diameter, new	49,25 mm
Pipe minimum wall thickness	5,54 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	55 mm
Projection available outside vessel, Lpr	96,9 mm
Projection available outside vessel to flange face, Lf	160,4 mm
Local vessel minimum thickness	15 mm
Liquid static head included	0 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	5 mm
Nozzle to vessel groove weld	5 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 2 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	Yes
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	69,9 mm
Outer Diameter	88,9 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8163 \cdot 26,23}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} =$	0,19 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,19 \cdot 1}{5,54 - 1,6} =$	0,0475
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0475)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,82 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
3,2388	4,8039	4,089	0,5303	–	–	0,1845	5,02	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
-4,093	7,291	35,863	15,236	41,798

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,76	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,92	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,76	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,82 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [55, 27,5 + (5,54 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 55 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (5,54 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} \\
 &= 0,29 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8163 \cdot 1,423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8163 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 7,47 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (55 \cdot 5,68 \cdot 1 + 2 \cdot 3,94 \cdot 5,68 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= \underline{3,2388} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{4,089} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (55 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 3,94 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 4,089 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (13,4 + 3,94) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) - 2 \cdot 3,94 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 2,5187 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{0,5303} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (3,94 - 0,29) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\ &= 1,8052 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (3,94 - 0,29) \cdot 0,7382 \cdot 3,94)/100 \\ &= 0,5303 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= L e g^2 \cdot f_{r2} \\ &= (5^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{0,1845} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 4,089 + 0,5303 + 0,1845 \\
 &= \underline{4.8039} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,94 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{2.76} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{4.92}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,8163 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8163} + 1,6 \\
 &= 1,89 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [1,89, 0] \\
 &= 1,89 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,07 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [9,07, 3,1] \\
 &= 9,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [5,02, 9,07] \\
 &= 5,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [1,89, 5,02] \\
 &= \underline{5.02} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 5 \cdot 36,897 = 17.481,49 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 56,39 \cdot 3,94 \cdot 52,71 = 18.381,7 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 3,4 \cdot 75,48 = 24.316,58 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (323,8811 - 408,9024 + 2 \cdot 3,94 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 5,68)) \cdot 102 \\ &= \underline{-4.092,55 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (53,0322 + 0 + 18,4516 + 0) \cdot 102 \\ &= \underline{7.291,34 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (53,0322 + 0 + 18,4516 + 0 + 2 \cdot 3,94 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\ &= \underline{15.236,27 \text{ N}} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = -4.092,55$ N

Path 1-1 through (1) & (3) = $17.481,49 + 18.381,7 = \underline{35.863,18}$ N

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = -4.092,55$ N

Path 2-2 through (1), (4) = $17.481,49 + 24.316,58 = \underline{41.798,07}$ N

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAWP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAWP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,02 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
4,0451	4,0458	3,3413	0,52	-	-	0,1845	5,02	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
10,921	7,186	35,863	15,131	41,798

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,76	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,92	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,76	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,02 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [55, 27,5 + (5,54 - 1,6) + (15 - 1,6)] \\
 &= 55 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 1,6), 2,5 \cdot (5,54 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,0203 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,0203} \\
 &= 0,36 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
&= \frac{1,0203 \cdot 1.423 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,0203 \cdot (1 - 0,2)} \\
&= 7,09 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,0203 \cdot 1.423 \cdot 1,3185}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,0203 \cdot (1,3185 - 0,2)} = 9,33 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned}
A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (55 \cdot 7,09 \cdot 1 + 2 \cdot 3,94 \cdot 7,09 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 4,0451 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = 3,3413 \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
&= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (55 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,09) - 2 \cdot 3,94 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,09) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 3,3413 \text{ cm}^2 \\
&= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\
&= (2 \cdot (13,4 + 3,94) \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,09) - 2 \cdot 3,94 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,09) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\
&= 2,0581 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = 0,52 \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned}
&= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\
&= (5 \cdot (3,94 - 0,36) \cdot 0,7382 \cdot 13,4)/100 \\
&= 1,7703 \text{ cm}^2 \\
&= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\
&= (5 \cdot (3,94 - 0,36) \cdot 0,7382 \cdot 3,94)/100 \\
&= 0,52 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\
 &= (5^2 \cdot 0,7382)/100 \\
 &= \underline{0,1845} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\
 &= 3,3413 + 0,52 + 0,1845 \\
 &= \underline{4,0458} \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

As Area >= A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,94 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{2,76} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{4,92}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,0203 \cdot 26,23}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,0203} + 1,6 \\
 &= 1,96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [1,96, 0] \\
 &= 1,96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 10,93 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [10,93, 3,1] \\
 &= 10,93 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
 &= \min [5,02, 10,93] \\
 &= 5,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [1,96, 5,02] \\
 &= \underline{5,02} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 5 \cdot 36,897 = 17.481,49 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 56,39 \cdot 3,94 \cdot 52,71 = 18.381,7 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 3,4 \cdot 75,48 = 24.316,58 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
 W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
 &= (404,5108 - 334,1284 + 2 \cdot 3,94 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 13,4 - 1 \cdot 7,09)) \cdot 102 \\
 &= \underline{10.920,84} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
 &= (51,9999 + 0 + 18,4516 + 0) \cdot 102 \\
 &= \underline{7.186,05} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
 &= (51,9999 + 0 + 18,4516 + 0 + 2 \cdot 3,94 \cdot 13,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\
 &= \underline{15.130,98} \text{ N}
 \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 7.186,05 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $17.481,49 + 18.381,7 = \underline{35.863,18} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 10.920,84 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $17.481,49 + 24.316,58 = \underline{41.798,07} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,12 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
3,5722	5,8916	4,1748	1,4664	–	–	0,2503	3,42	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
3,365	19,743	65,059	38,846	67,018

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [51,65, 25,82 + (5,54 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 51,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (5,54 - 0) + 0] \\
 &= 13,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,11 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (51,65 \cdot 6,92 \cdot 1 + 2 \cdot 5,54 \cdot 6,92 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{3,5722} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

A_1 = larger of the following = 4,1748 cm²

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (51,65 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 5,54 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 4,1748 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 5,54) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) - 2 \cdot 5,54 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 3,32 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

A_2 = smaller of the following = 1,4664 cm²

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (5,54 - 0,24) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 3,9716 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (5,54 - 0,24) \cdot 1 \cdot 5,54)/100 \\ &= 1,4664 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (5^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,2503} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 4,1748 + 1,4664 + 0,2503 \\ &= \underline{5,8916} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
&= \frac{1,1223 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
&= 0,24 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
&= \max [0,24, 0] \\
&= 0,24 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
&= \max [9,11, 1,5] \\
&= 9,11 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
&= \min [3,42, 9,11] \\
&= 3,42 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
&= \max [0,24, 3,42] \\
&= \underline{3,42} \text{ mm}
\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 5 \cdot 56,35 = 26.698,15 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 54,79 \cdot 5,54 \cdot 80,5 = 38.361 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 5 \cdot 85,1 = 40.319,66 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (357,2218 - 417,483 + 2 \cdot 5,54 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 6,92)) \cdot 115 \\
&= \underline{3.364,84} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (146,6449 + 0 + 25,0322 + 0) \cdot 115 \\
&= \underline{19.742,87} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (146,6449 + 0 + 25,0322 + 0 + 2 \cdot 5,54 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
&= \underline{38.846,21} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 3.364,84 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $26.698,15 + 38.361 = \underline{65.059,15} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 3.364,84 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $26.698,15 + 40.319,66 = \underline{67.017,81} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,49 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
4,7209	4,7213	3,0264	1,4445	--	--	0,2503	3,42	5,54

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
26.949	19.491	65.059	38.594	67.018

Calculations for internal pressure 1,49 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [51,65, 25,82 + (5,54 - 0) + (15 - 0)] \\
 &= 51,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (15 - 0), 2,5 \cdot (5,54 - 0) + 0] \\
 &= 13,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,485 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,485} \\
 &= 0,32 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,485 \cdot 1,423 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,485 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 9,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,485 \cdot 1,423 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,485 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 12,04 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 115$, $S_v = 115$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (51,65 \cdot 9,14 \cdot 1 + 2 \cdot 5,54 \cdot 9,14 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 \\ &= \underline{4,7209} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{3,0264} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (51,65 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,14) - 2 \cdot 5,54 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,14) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 3,0264 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (15 + 5,54) \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,14) - 2 \cdot 5,54 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,14) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 2,4071 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$A_2 = \text{smaller of the following} = \underline{1,4445} \text{ cm}^2$

$$\begin{aligned} &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t \\ &= (5 \cdot (5,54 - 0,32) \cdot 1 \cdot 15)/100 \\ &= 3,9129 \text{ cm}^2 \\ &= 5 \cdot (t_n - t_{rn}) \cdot f_{r2} \cdot t_n \\ &= (5 \cdot (5,54 - 0,32) \cdot 1 \cdot 5,54)/100 \\ &= 1,4445 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{41} &= Leg^2 \cdot f_{r2} \\ &= (5^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0,2503} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_2 + A_{41} \\ &= 3,0264 + 1,4445 + 0,2503 \\ &= \underline{4,7213} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,485 \cdot 24,63}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,485} + 0 \\ &= 0,32 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,32, 0] \\ &= 0,32 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$t_{bl} = 12,04 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{bUG16}] \\ &= \max [12,04, 1,5] \\ &= 12,04 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{bl}] \\ &= \min [3,42, 12,04] \\ &= 3,42 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,32, 3,42] \\ &= \underline{3,42} \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,54 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 5 \cdot 56,35 = 26.698,15 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 54,79 \cdot 5,54 \cdot 80,5 = 38.361 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 60,33 \cdot 5 \cdot 85,1 = 40.319,66 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
&= (472,0889 - 302,6446 + 2 \cdot 5,54 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 15 - 1 \cdot 9,14)) \cdot 115 \\
&= \underline{26.948,58} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
&= (144,4513 + 0 + 25,0322 + 0) \cdot 115 \\
&= \underline{19.490,61} \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (144,4513 + 0 + 25,0322 + 0 + 2 \cdot 5,54 \cdot 15 \cdot 1) \cdot 115 \\
&= \underline{38.593,95} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 19.490,61 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $26.698,15 + 38.361 = \underline{65.059,15} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 26.948,58 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $26.698,15 + 40.319,66 = \underline{67.017,81} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Envolvent

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric				
Component		Cylinder		
Material		SA-240 316L (II-D Metric p. 72, ln. 34)		
Impact Tested	Normalized	Fine Grain Practice	PWHT	Maximize MDMT/ No MAWP
No	No	No	No	No
		Design Pressure (MPa)	Design Temperature (°C)	Design MDMT (°C)
Internal		0,4234	260	-10
Static Liquid Head				
Condition		P_s (MPa)	H_s (mm)	SG
Operating		0,0192	2.001,95	0,98
Test vertical		0,0249	2.540	1
Dimensions				
Outer Diameter		1.750 mm		
Length		1.900 mm		
Nominal Thickness		10 mm		
Corrosion	Inner	1,6 mm		
	Outer	0 mm		
Weight and Capacity				
		Weight (kg)		Capacity (liters)
New		832,98		4.466,17
Corroded		700,33		4.482,71
Radiography				
Longitudinal seam		Eficiência de junta (E = 0,85)		
Top Circumferential seam		Eficiência de junta (E = 1)		
Bottom Circumferential seam		Eficiência de junta (E = 1)		

Results Summary	
Governing condition	Internal pressure
Minimum thickness per UG-16	1,5 mm + 1,6 mm = 3,1 mm
Design thickness due to internal pressure (t)	6,06 mm
Design thickness due to combined loadings + corrosion	3,28 mm
Maximum allowable working pressure (MAWP)	0,8163 MPa
Maximum allowable pressure (MAP)	1,1223 MPa
Rated MDMT	-196 °C

UHA-51 Material Toughness Requirements	
$t_r = \frac{0,8355 \cdot 875}{115 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 0,8355} =$	7,45 mm
$\text{Stress ratio} = \frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{7,45 \cdot 0,85}{10 - 1,6} =$	0,7542
$\text{Stress ratio}_{longitud} \in al = \frac{39,778 \cdot 1}{115 \cdot 1} =$	0,3459
Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Design thickness, (at 260 °C) Appendix 1-1

$$t = \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,40 \cdot P} + \text{Corrosion} = \frac{0,4426 \cdot 875}{102 \cdot 0,85 + 0,40 \cdot 0,4426} + 1,6 = \underline{6.06} \text{ mm}$$

Maximum allowable working pressure, (at 260 °C) Appendix 1-1

$$P = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,40 \cdot t} - P_s = \frac{102 \cdot 0,85 \cdot 8,4}{875 - 0,40 \cdot 8,4} - 0,0192 = \underline{0.8163} \text{ MPa}$$

Maximum allowable pressure, (at 20 °C) Appendix 1-1

$$P = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,40 \cdot t} = \frac{115 \cdot 0,85 \cdot 10}{875 - 0,40 \cdot 10} = \underline{1.1223} \text{ MPa}$$

% Forming strain - UHA-44(a)(2)

$$EFE = \left(\frac{50 \cdot t}{R_f} \right) \cdot \left(1 - \frac{R_f}{R_o} \right) = \left(\frac{50 \cdot 10}{870} \right) \cdot \left(1 - \frac{870}{\infty} \right) = 0,5747\%$$

Thickness Required Due to Pressure + External Loads									
Condition	Allowable Stress Before UG-23 Stress Increase (MPa)		Temperature (°C)	Corrosion C (mm)	Location	Load	Pressure P (MPa)	Req'd Thk Due to Tension (mm)	Req'd Thk Due to Compression (mm)
	S _t	S _c							
Operating, Hot & Corroded	102	41.27	260	1,6	Top	Wind	2.3844	1.49	1.48
						Seismic	2.3736	1.53	1.43
					Bottom	Wind	2.3567	1.59	1.59
						Seismic	2.3293	1.68	1.51
Operating, Hot & New	102	42.61	260	0	Top	Wind	2.846	1.49	1.47
						Seismic	2.8347	1.52	1.43
					Bottom	Wind	2.8173	1.59	1.59
						Seismic	2.789	1.68	1.5
Hot Shut Down, Corroded	102	41.27	260	1,6	Top	Wind	0	0.02	0.05
						Seismic	0	0.03	0.16
					Bottom	Wind	0	0.09	0.09
						Seismic	0	0.19	0.01
Hot Shut Down, New	102	42.61	260	0	Top	Wind	0	0.02	0.06
						Seismic	0	0.03	0.16
					Bottom	Wind	0	0.09	0.09
						Seismic	0	0.19	0.01
Empty, Corroded	115	65.92	21,11	1,6	Top	Wind	0	0.01	0.03
						Seismic	0	0.01	0.07
					Bottom	Wind	0	0.01	0.01
						Seismic	0	0.02	0.01
Empty, New	115	68.11	21,11	0	Top	Wind	0	0.01	0.04
						Seismic	0	0.01	0.07
					Bottom	Wind	0	0.01	0.01
						Seismic	0	0.03	0.01
Hot Shut Down, Corroded, Weight & Eccentric Moments Only	102	41.27	260	1,6	Top	Wind	0	0.03	0.06
						Seismic	0	0	0
					Bottom	Wind	0	0.11	0.11
						Seismic	0	0	0

Allowable Compressive Stress, Hot and Corroded- S_{cHC} , (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/8,4} = 0,001200$$

$$B = 41,27 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{102}{1,00} = 102 \text{ MPa}$$

$$S_{cHC} = \min (B,S) = \underline{41,27 \text{ MPa}}$$

Allowable Compressive Stress, Hot and New- S_{cHN} , (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/10} = 0,001429$$

$$B = 42,61 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{102}{1,00} = 102 \text{ MPa}$$

$$S_{cHN} = \min (B,S) = \underline{42,61 \text{ MPa}}$$

Allowable Compressive Stress, Cold and New- S_{cCN} , (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/10} = 0,001429$$

$$B = 68,11 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{115}{1,00} = 115 \text{ MPa}$$

$$S_{cCN} = \min (B,S) = \underline{68,11 \text{ MPa}}$$

Allowable Compressive Stress, Cold and Corroded- S_{cCC} , (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/8,4} = 0,001200$$

$$B = 65,92 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{115}{1,00} = 115 \text{ MPa}$$

$$S_{cC} = \min (B,S) = \underline{65,92 \text{ MPa}}$$

Allowable Compressive Stress, Vacuum and Corroded- S_{cVC} , (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/8,4} = 0,001200$$

$$B = 41,27 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{102}{1,00} = 102 \text{ MPa}$$

$$S_{cVC} = \min(B, S) = \underline{41,27 \text{ MPa}}$$

Operating, Hot & Corroded, Wind, Above Support Point

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 866,6}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,5 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 2,017,1 \frac{1}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,044,5}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,5 + 0,01 - (0,02)$$

$$= \underline{1,49 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,01 + (0,02) - (1,5)|$$

$$= \underline{1,48 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (8,4 - 0,01 + (0,02))}{866,6 - 0,40 \cdot (8,4 - 0,01 + (0,02))}$$

$$= \underline{2,3844 \text{ MPa}}$$

Operating, Hot & New, Wind, Above Support Point

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 865}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,5 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 2,019,4 \frac{\text{---}}{\pi \cdot 870^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1.143,6}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,5 + 0,01 - (0,02)$$

$$= \underline{1,49 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,01 + (0,02) - (1,5)|$$

$$= \underline{1,47 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (10 - 0,01 + (0,02))}{865 - 0,40 \cdot (10 - 0,01 + (0,02))}$$

$$= 2,846 \text{ MPa}$$

Hot Shut Down, Corroded, Wind, Above Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 2.017,1 \frac{1}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 41,2675 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= 1.044,5 \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 41,2675 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,04 \text{ mm}$$

$$t_t = |t_p + t_m - t_w| \quad (\text{total, net compressive})$$

$$= |0 + 0,02 - (0,04)|$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,02 + (0,04) - (0)$$

$$= 0,05 \text{ mm}$$

Hot Shut Down, New, Wind, Above Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 2.019,4 \frac{1}{\pi \cdot 870^2 \cdot 42,6147 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= 1.143,6 \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 42,6147 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,04 \text{ mm}$$

$$t_t = |t_p + t_m - t_w| \quad (\text{total, net compressive})$$

$$= |0 + 0,02 - (0,04)|$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,02 + (0,04) - (0)$$

$$= 0,06 \text{ mm}$$

Empty, Corroded, Wind, Above Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 2.017,1 \frac{1}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 65,9201 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= 1.044,5 \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 65,9201 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_t = |t_p + t_m - t_w| \quad (\text{total, net compressive})$$

$$= |0 + 0,01 - (0,02)|$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,01 + (0,02) - (0)$$

$$= \underline{0,03 \text{ mm}}$$

Empty, New, Wind, Above Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 2.019,4 \frac{1}{\pi \cdot 870^2 \cdot 68,107 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= 1.143,6 \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 68,107 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,03 \text{ mm}$$

$$t_t = |t_p + t_m - t_w| \quad (\text{total, net compressive})$$

$$= |0 + 0,01 - (0,03)|$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,01 + (0,03) - (0)$$

$$= \underline{0,04 \text{ mm}}$$

Hot Shut Down, Corroded, Weight & Eccentric Moments Only, Above Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{1.487,7}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 41,2675 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1.044,5}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 41,2675 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,05 \text{ mm}$$

$$t_t = |t_p + t_m - t_w| \quad (\text{total, net compressive})$$

$$= |0 + 0,02 - (0,05)|$$

$$= \underline{0.03 \text{ mm}}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,02 + (0,05) - (0)$$

$$= \underline{0.06 \text{ mm}}$$

Operating, Hot & Corroded, Wind, Below Support Point

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 866,6}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,5 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{64}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-6.057,8}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,09 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,5 + 0 - (-0,09)$$

$$= \underline{1.59 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (-0,09) - (1,5)|$$

$$= \underline{1.59 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)} \\
 &= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (8,4 - 0 + (-0,09))}{866,6 - 0,40 \cdot (8,4 - 0 + (-0,09))} \\
 &= \underline{2,3567 \text{ MPa}}
 \end{aligned}$$

Operating, Hot & New, Wind, Below Support Point

$$\begin{aligned}
 t_p &= \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure}) \\
 &= \frac{0,4234 \cdot 865}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|} \\
 &= 1,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_m &= \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending}) \\
 &= 69,4 \frac{\text{mm}^3}{\pi \cdot 870^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3 \\
 &= 0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_w &= \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight}) \\
 &= \frac{-6.163,5}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10 \\
 &= -0,09 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_t &= t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile}) \\
 &= 1,5 + 0 - (-0,09) \\
 &= \underline{1,59 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_c &= |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile}) \\
 &= |0 + (-0,09) - (1,5)| \\
 &= \underline{1,59 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)} \\
 &= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (10 - 0 + (-0,09))}{865 - 0,40 \cdot (10 - 0 + (-0,09))} \\
 &= 2,8173 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Hot Shut Down, Corroded, Wind, Below Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{64}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-6.057,8}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,09 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0 - (-0,09)$$

$$= \underline{0,09 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (-0,09) - (0)|$$

$$= \underline{0,09 \text{ mm}}$$

Hot Shut Down, New, Wind, Below Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{69,4}{\pi \cdot 870^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-6.163,5}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,09 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0 - (-0,09)$$

$$= \underline{0,09 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (-0,09) - (0)|$$

$$= \underline{0,09 \text{ mm}}$$

Empty, Corroded, Wind, Below Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{64}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-697}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0 - (-0,01)$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (-0,01) - (0)|$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

Empty, New, Wind, Below Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{69,4}{\pi \cdot 870^2 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-825,3}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0 - (-0,01)$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (-0,01) - (0)|$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

Hot Shut Down, Corroded, Weight & Eccentric Moments Only, Below Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{64}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-6.057,8}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,11 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0 - (-0,11)$$

$$= \underline{0.11 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (-0,11) - (0)|$$

$$= \underline{0.11 \text{ mm}}$$

Operating, Hot & Corroded, Seismic, Above Support Point

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 866,6}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,5 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 13.134,7 \frac{\text{MetricFactor}}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,05 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1.044,5}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,5 + 0,05 - (0,02)$$

$$= \underline{1,53 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{(1 + VA_{\text{ceel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 1.044,5}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,05 + (0,02) - (1,5)|$$

$$= \underline{1,43 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (8,4 - 0,05 + (0,02))}{866,6 - 0,40 \cdot (8,4 - 0,05 + (0,02))}$$

$$= \underline{2,3736 \text{ MPa}}$$

Operating, Hot & New, Seismic, Above Support Point

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 865}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,5 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 13.542,2 \frac{\text{mm}^3}{\pi \cdot 870^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,05 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1.143,6}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,5 + 0,05 - (0,02)$$

$$= \underline{1,52 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 1.143,6}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,05 + (0,02) - (1,5)|$$

$$= \underline{1,43 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (10 - 0,05 + (0,02))}{865 - 0,40 \cdot (10 - 0,05 + (0,02))}$$

$$= 2,8347 \text{ MPa}$$

Hot Shut Down, Corroded, Seismic, Above Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 13.134,7 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,05 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1.044,5}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,05 - (0,02)$$

$$= \underline{0,03 \text{ mm}}$$

$$t_{mc} = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 13.134,7 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 41,2675 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,11 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 1.044,5}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 41,2675 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,05 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,11 + (0,05) - (0)$$

$$= \underline{0,16 \text{ mm}}$$

Hot Shut Down, New, Seismic, Above Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 13.542,2 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot 870^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,05 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1.143,6}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,05 - (0,02)$$

$$= \underline{0,03 \text{ mm}}$$

$$t_{mc} = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 13.542,2 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot 870^2 \cdot 42,6147 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,11 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 1.143,6}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 42,6147 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,05 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,11 + (0,05) - (0)$$

$$= \underline{0,16 \text{ mm}}$$

Empty, Corroded, Seismic, Above Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 7.235,3 \frac{\quad}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1.044,5}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,02 - (0,01)$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

$$t_{mc} = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 7.235,3 \frac{\quad}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 65,9201 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,04 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 1.044,5}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 65,9201 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,03 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,04 + (0,03) - (0)$$

$$= \underline{0,07 \text{ mm}}$$

Empty, New, Seismic, Above Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 7.660,2 \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot 870^2 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1.143,6}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,02 - (0,01)$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

$$t_{mc} = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 7.660,2 \frac{\text{N} \cdot \text{mm}}{\pi \cdot 870^2 \cdot 68,107 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,04 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = \frac{(1 + V_{\text{Acel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 1.143,6}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 68,107 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= 0,03 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,04 + (0,03) - (0)$$

$$= \underline{0,07 \text{ mm}}$$

Operating, Hot & Corroded, Seismic, Below Support Point

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 866,6}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,5 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 22.997,3 \frac{\text{MetricFactor}}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,08 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot -6.057,8}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,11 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,5 + 0,08 - (-0,11)$$

$$= \mathbf{1,68 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-6.057,8}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,09 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,08 + (-0,09) - (1,5)|$$

$$= \mathbf{1,51 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (8,4 - 0,08 + (-0,11))}{866,6 - 0,40 \cdot (8,4 - 0,08 + (-0,11))}$$

$$= \mathbf{2,3293 \text{ MPa}}$$

Operating, Hot & New, Seismic, Below Support Point

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 865}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,5 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 23.644,8 \frac{\text{mm}^3}{\pi \cdot 870^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,08 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot -6.163,5}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,11 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,5 + 0,08 - (-0,11)$$

$$= \underline{1,68 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-6.163,5}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,09 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,08 + (-0,09) - (1,5)|$$

$$= \underline{1,5 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (10 - 0,08 + (-0,11))}{865 - 0,40 \cdot (10 - 0,08 + (-0,11))}$$

$$= 2,789 \text{ MPa}$$

Hot Shut Down, Corroded, Seismic, Below Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 22.997,3 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,08 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot -6.057,8}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,11 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,08 - (-0,11)$$

$$= \underline{0,19 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-6.057,8}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,09 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,08 + (-0,09) - (0)|$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

Hot Shut Down, New, Seismic, Below Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 23.644,8 \frac{1}{\pi \cdot 870^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,08 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot -6.163,5}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,11 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,08 - (-0,11)$$

$$= \underline{0,19 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-6.163,5}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,09 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,08 + (-0,09) - (0)|$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

Empty, Corroded, Seismic, Below Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 4.057,5 \frac{\quad}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot 697}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,01 - (-0,01)$$

$$= \underline{0,02 \text{ mm}}$$

$$t_{mc} = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 4.057,5 \frac{\quad}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 65,9201 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-697}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 65,9201 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= -0,02 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

$$= 0,02 + (-0,02) - (0)$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

Empty, New, Seismic, Below Support Point

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 4.796,9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot 870^2 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot -825,3}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,01 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,01 - (-0,01)$$

$$= \underline{0,03 \text{ mm}}$$

$$t_{mc} = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 4.796,9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot 870^2 \cdot 68,107 \cdot 1,20} \cdot 10^3$$

$$= 0,02 \text{ mm}$$

$$t_{wc} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_c \cdot K_s} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-825,3}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 68,107 \cdot 1,20} \cdot 10$$

$$= -0,02 \text{ mm}$$

$$t_c = t_{mc} + t_{wc} - t_{pc} \quad (\text{total required, compressive})$$

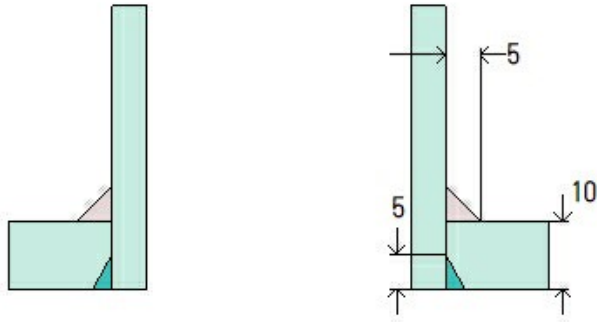
$$= 0,02 + (-0,02) - (0)$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

ASME Section VIII Division 1 UG-80(a) Out-of-Roundness
$(D_{\max} - D_{\min})$ shall not exceed 1% of D
When the cross section passes through an opening or within 1 I.D. of the opening, $(D_{\max} - D_{\min})$ shall not exceed 1% of $D + 2\%$ of the inside diameter of the opening

N8 (N8)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	Envolvent
Orientation	200°
Nozzle center/shell outer surface intersection to datum	100 mm
End of nozzle to shell center	1.019,06 mm
Tilted	30° from radial
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 1,5 Sch 80S (XS) DN 40
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, In. 40)
Inside diameter, new	38,1 mm
Pipe minimum wall thickness	5,08 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	47,69 mm
Projection available outside vessel, L _{pr}	90,44 mm
Projection available outside vessel to flange face, L _f	152,41 mm
Local vessel minimum thickness	10 mm
Liquid static head included	0,0184 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	5 mm
Nozzle to vessel groove weld	5 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 1,5 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0,0175 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	52,3 mm
Outer Diameter	69,9 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8347 \cdot 20,65}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8347} =$	0,15 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,15 \cdot 1}{5,08 - 1,6} =$	0,0433
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0433)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,83 MPa @ 260 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							4,82	5,08

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,44	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,35	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,44	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,83 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [47,69, 23,84 + (5,08 - 1,6) + (10 - 1,6)] \\
 &= 47,69 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 1,6), 2,5 \cdot (5,08 - 1,6) + 0] \\
 &= 8,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8347 \cdot 20,65}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8347} \\
 &= 0,23 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8347 \cdot 875}{102 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,8347} \\
 &= 7,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$\begin{aligned}
t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
&= \frac{0,8347 \cdot 875}{102 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 0,8347} \\
&= 8,39 \text{ mm}
\end{aligned}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,48 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = 2,44 \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = 4,35$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

$$\begin{aligned}
t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
&= \frac{0,8347 \cdot 20,65}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8347} + 1,6 \\
&= 1,83 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
&= \max [1,83, 0] \\
&= 1,83 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{b1} &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
&= \frac{0,8347 \cdot 875}{102 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,8347} + 1,6 \\
&= 8,74 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
&= \max [8,74, 3,1] \\
&= 8,74 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\
&= \min [4,82, 8,74] \\
&= 4,82 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,83, 4,82] \\ &= 4,82 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,08 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAWP

The vessel wall thickness governs the MAWP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 0,98 MPa @ 260 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							4,82	5,08

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,44	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,35	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,44	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,98 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [47,69, 23,84 + (5,08 - 1,6) + (10 - 1,6)] \\
 &= 47,69 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 1,6), 2,5 \cdot (5,08 - 1,6) + 0] \\
 &= 8,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,983 \cdot 20,65}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,983} \\
 &= 0,27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{0,983 \cdot 875}{102 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,983} \\
 &= 8,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$\begin{aligned}
t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
&= \frac{0,983 \cdot 875}{102 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 0,983} \\
&= 9,88 \text{ mm}
\end{aligned}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,48 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{2,44} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{4,35}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

$$\begin{aligned}
t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
&= \frac{0,983 \cdot 20,65}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,983} + 1,6 \\
&= 1,87 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
&= \max [1,87, 0] \\
&= 1,87 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{b1} &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
&= \frac{0,983 \cdot 875}{102 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,983} + 1,6 \\
&= 10 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\
&= \max [10, 3,1] \\
&= 10 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t_b &= \min [t_{i3}, t_{b1}] \\
&= \min [4,82, 10] \\
&= 4,82 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [1,87, 4,82] \\ &= 4,82 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,08 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,12 MPa @ 20 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						3,22	5,08	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [43,99, 22 + (5,08 - 0) + (10 - 0)] \\
 &= 43,99 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 0), 2,5 \cdot (5,08 - 0) + 0] \\
 &= 12,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 19,05}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,19 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 875}{115 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1,1223} \\
 &= 8,51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 875}{115 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 1,1223} \\
 &= 10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,1223 \cdot 19,05}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\ &= 0,19 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,19, 0] \\ &= 0,19 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,1223 \cdot 875}{115 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1,1223} + 0 \\ &= 8,51 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [8,51, 1,5] \\ &= 8,51 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [3,22, 8,51] \\ &= 3,22 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,19, 3,22] \\ &= \underline{3,22} \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,08 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAP

The vessel wall thickness governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,32 MPa @ 20 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							3,22	5,08

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,32 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [43,99, 22 + (5,08 - 0) + (10 - 0)] \\
 &= 43,99 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 0), 2,5 \cdot (5,08 - 0) + 0] \\
 &= 12,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,3203 \cdot 19,05}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,3203} \\
 &= 0,22 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{1,3203 \cdot 875}{115 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1,3203} \\
 &= 10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{1,3203 \cdot 875}{115 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 1,3203} \\
 &= 11,76 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,3203 \cdot 19,05}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,3203} + 0 \\ &= 0,22 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,22, 0] \\ &= 0,22 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,3203 \cdot 875}{115 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1,3203} + 0 \\ &= 10 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [10, 1,5] \\ &= 10 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [3,22, 10] \\ &= 3,22 \text{ mm}\end{aligned}$$

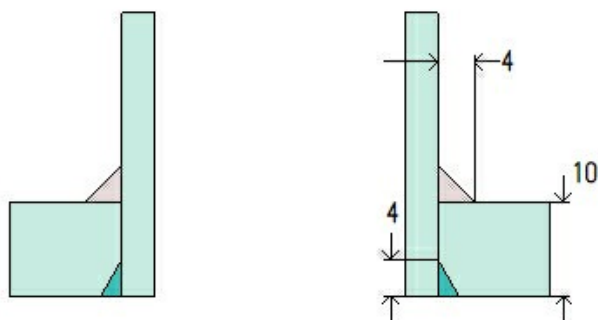
$$\begin{aligned}t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,22, 3,22] \\ &= \underline{3.22} \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,08 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

N12 (N12)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	Envolvent
Orientation	180°
Nozzle center/shell outer surface intersection to datum	100 mm
End of nozzle to shell center	1.015,33 mm
Tilted	30° from radial
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 1 Sch 40S (Std) DN 25
Access opening	Yes
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, In. 40)
Inside diameter, new	26,64 mm
Pipe minimum wall thickness	3,38 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Opening chord length	34,46 mm
Projection available outside vessel, L _{pr}	96,77 mm
Projection available outside vessel to flange face, L _f	152,4 mm
Local vessel minimum thickness	10 mm
Liquid static head included	0,0183 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	4 mm
Nozzle to vessel groove weld	4 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 1 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0,0175 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	36,6 mm
Outer Diameter	47,5 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8346 \cdot 14,92}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8346} =$	0,11 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,11 \cdot 1}{3,38 - 1,6} =$	0,0612
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0612)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,83 MPa @ 260 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							1,77	3,38

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	1,24	2,8	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	2,22	5,2	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	1,24	2,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,83 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [34,46, 17,23 + (3,38 - 1,6) + (10 - 1,6)] \\
 &= 34,46 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 1,6), 2,5 \cdot (3,38 - 1,6) + 0] \\
 &= 4,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8346 \cdot 14,92}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8346} \\
 &= 0,17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8346 \cdot 875}{102 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,8346} \\
 &= 7,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8346 \cdot 875}{102 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 0,8346} \\
 &= 8,39 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 1,78 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{1,24} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 4 = 2,8 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 2,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 5,2 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{2,22}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check (Access Opening)

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,8346 \cdot 14,92}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8346} + 1,6 \\
 &= 1,77 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [1,77, 0] \\
 &= 1,77 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 3,38 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAWP

The vessel wall thickness governs the MAWP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 0,98 MPa @ 260 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						1,8	3,38	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	<u>1,24</u>	2,8	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	<u>2,22</u>	5,2	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	<u>1,24</u>	2,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,98 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [34,46, 17,23 + (3,38 - 1,6) + (10 - 1,6)] \\
 &= 34,46 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 1,6), 2,5 \cdot (3,38 - 1,6) + 0] \\
 &= 4,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,9829 \cdot 14,92}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,9829} \\
 &= 0,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{0,9829 \cdot 875}{102 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,9829} \\
 &= 8,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{0,9829 \cdot 875}{102 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 0,9829} \\
 &= 9,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 1,78 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{1,24} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 4 = 2,8 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 2,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 5,2 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{2,22}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check (Access Opening)

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,9829 \cdot 14,92}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,9829} + 1,6 \\
 &= 1,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [1,8, 0] \\
 &= 1,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 3,38 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,12 MPa @ 20 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						0,13	3,38	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [30,77, 15,38 + (3,38 - 0) + (10 - 0)] \\
 &= 30,77 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 0), 2,5 \cdot (3,38 - 0) + 0] \\
 &= 8,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 13,32}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 875}{115 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1,1223} \\
 &= 8,51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 875}{115 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 1,1223} \\
 &= 10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check (Access Opening)

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,1223 \cdot 13,32}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\ &= 0,13 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,13, 0] \\ &= 0,13 \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 3,38 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAP

The vessel wall thickness governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,32 MPa @ 20 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						0,15	3,38	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,32 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [30,77, 15,38 + (3,38 - 0) + (10 - 0)] \\
 &= 30,77 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 0), 2,5 \cdot (3,38 - 0) + 0] \\
 &= 8,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,3203 \cdot 13,32}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,3203} \\
 &= 0,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{1,3203 \cdot 875}{115 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1,3203} \\
 &= 10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{1,3203 \cdot 875}{115 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 1,3203} \\
 &= 11,76 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check (Access Opening)

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,3203 \cdot 13,32}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,3203} + 0 \\ &= 0,15 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,15, 0] \\ &= 0,15 \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 3,38 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

N15 (N15)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Location and Orientation

Located on	Envolvent
Orientation	90°
Nozzle center line offset to datum line	115 mm
End of nozzle to shell center	1.075 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	NPS 3 Sch 40S (Std) DN 80
Access opening	Yes
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, In. 40)
Inside diameter, new	77,93 mm
Pipe minimum wall thickness	5,49 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Projection available outside vessel, L _{pr}	130,15 mm
Projection available outside vessel to flange face, L _f	200 mm
Local vessel minimum thickness	10 mm
Liquid static head included	0,0185 MPa

Welds

Inner fillet, Leg ₄₁	5 mm
Nozzle to vessel groove weld	5 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
Circumferential seam	Full UW-11(a) Type 1

ASME B16.5-2017 Flange	
Description	NPS 3 Class 150 WN A182 F316L
Bolt Material	SA-193 B7 Bolt <= 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Blind included	No
Rated MDMT	-48°C
Liquid static head	0,0181 MPa
MAWP rating	1,04 MPa @ 260°C
MAP rating	1,59 MPa @ 20°C
Hydrotest rating	2,4 MPa @ 20°C
PWHT performed	No
Produced to Fine Grain Practice and Supplied in Heat Treated Condition	No
Impact Tested	No
Circumferential joint radiography	Full UW-11(a) Type 1
Gasket	
Type	ASME B16.20 Kammprofile
Description	Lamons CorruKamm CK1 316L SS / Flexible Graphite
Factor, m	2,75
Seating Stress, y	25,511 MPa
Thickness, T	4,45 mm
Inner Diameter	98,3 mm
Outer Diameter	123,7 mm
Notes	
Flange rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a) = -196°C Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) = -48°C	

UHA-51 Material Toughness Requirements Nozzle	
$t_r = \frac{0,8348 \cdot 40,56}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8348} =$	0,3 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{0,3 \cdot 1}{5,49 - 1,6} =$	0,0761
Impact test exempt per UHA-51(g) (coincident ratio = 0,0761)	
Rated MDMT =	-196°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,83 MPa @ 260 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							2,05	5,49

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,72	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,86	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,72	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,83 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [81,13, 40,56 + (5,49 - 1,6) + (10 - 1,6)] \\
 &= 81,13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 1,6), 2,5 \cdot (5,49 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8348 \cdot 40,56}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8348} \\
 &= 0,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8348 \cdot 875}{102 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,8348} \\
 &= 7,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{0,8348 \cdot 875}{102 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 0,8348} \\
 &= 8,39 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,89 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{2.72} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{4.86}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check (Access Opening)

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,8348 \cdot 40,56}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8348} + 1,6 \\
 &= 2,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,05, 0] \\
 &= 2,05 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,49 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAWP

The vessel wall thickness governs the MAWP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 0,98 MPa @ 260 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						2,13	5,49	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Nozzle to shell fillet (Leg ₄₁)	2,72	3,5	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	4,86	6,9	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	2,72	3,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,98 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [81,13, 40,56 + (5,49 - 1,6) + (10 - 1,6)] \\
 &= 81,13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 1,6), 2,5 \cdot (5,49 - 1,6) + 0] \\
 &= 9,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{0,9829 \cdot 40,56}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,9829} \\
 &= 0,53 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{0,9829 \cdot 875}{102 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,9829} \\
 &= 8,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{0,9829 \cdot 875}{102 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 0,9829} \\
 &= 9,88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 3,89 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{2.72} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 3,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 6,9 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{4.86}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check (Access Opening)

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{0,9829 \cdot 40,56}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,9829} + 1,6 \\
 &= 2,13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [2,13, 0] \\
 &= 2,13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,49 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							0,38	5,49

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [77,93, 38,96 + (5,49 - 0) + (10 - 0)] \\
 &= 77,93 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 0), 2,5 \cdot (5,49 - 0) + 0] \\
 &= 13,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 38,96}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,38 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 875}{115 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1,1223} \\
 &= 8,51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 875}{115 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 1,1223} \\
 &= 10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check (Access Opening)

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\&= \frac{1,1223 \cdot 38,96}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\&= 0,38 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\&= \max [0,38, 0] \\&= 0,38 \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,49 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)						UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,12 MPa @ 20 °C						The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)						0,38	5,49	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [77,93, 38,96 + (5,49 - 0) + (10 - 0)] \\
 &= 77,93 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 0), 2,5 \cdot (5,49 - 0) + 0] \\
 &= 13,72 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nozzle required thickness per UG-27(c)(1)

$$\begin{aligned}
 t_{rn} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 38,96}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} \\
 &= 0,38 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 875}{115 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1,1223} \\
 &= 8,51 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 875}{115 \cdot 0,85 + 0,4 \cdot 1,1223} \\
 &= 10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check (Access Opening)

$$\begin{aligned}t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,1223 \cdot 38,96}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\ &= 0,38 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,38, 0] \\ &= 0,38 \text{ mm}\end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 5,49 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Suports

Inputs	
Support material	SA-240 316L
This support is attached to	Envolvent
Distance from baseplate to datum	1.200 mm
Lug allowable stress, S_b	112 MPa
Shell to center of load bearing area, d	189 mm
Lug length, circumferential direction, L	260 mm
Lug attachment fillet weld size	6 mm
Radial/bending lug stiffness ratio	2
Number of support lugs	4
Local Shell	
Outer Diameter	1.750 mm
Thickness	10 mm
Inner Corrosion	1,6 mm
Outer Corrosion	0 mm
Top Plate	
Width, W_p	80 mm
Thickness, t_a	10 mm
Base Plate	
Width, b	378 mm
Thickness, t_b	25 mm
Load Bearing Width, L_b	76,2 mm
Gusset	
Height, h	295 mm
Thickness, t_g	12 mm
Separation, L_g	210 mm
Anchor Bolts	
Anchor bolt size	M20 x 2.5
Anchor bolt material	
Bolt circle, BC	1.978,6 mm
Anchor bolts/lug, n	2
Anchor bolt allowable stress, S_b	137,895 MPa
Anchor bolt corrosion allowance	0 mm
Anchor bolt hole clearance	9,53 mm

Stresses in Shell at Lug Supports													
Condition	Total Weight (kg)	Shear V (N)	Moment M (N-m)	Lug orient	Lug Loading						Stress in Shell (MPa)		
					W (kg)	P _r (N)	V _L (N)	M _L (N-m)	V _c (N)	M _c (N-m)	Primary Circ (P _L)	Primary Long (P _L)	Combined P _L +P _b +Q
Wind, operating, corroded Attack angle = 0°	7.237	959	1.965	0°	1.809	-320	16.819	3.178,78	0	0,00	106,8	53,483	138,709
				90°	1.809	0	17.742	3.353,27	160	30,20	107,434	53,8	140,398
				180°	1.809	320	18.665	3.527,75	0	0,00	108,068	54,117	142,094
				270°	1.809	0	17.742	3.353,27	-160	-30,20	107,434	53,8	140,398
Wind, operating, corroded Attack angle = 45°	7.237	959	1.965	0°	1.809	-169	17.089	3.229,89	-169	-32,03	106,896	53,531	138,998
				90°	1.809	-169	17.089	3.229,89	169	32,03	106,896	53,531	138,998
				180°	1.809	169	18.395	3.476,65	169	32,03	107,979	54,069	141,804
				270°	1.809	169	18.395	3.476,65	-169	-32,03	107,979	54,069	141,804
Wind, operating, new Attack angle = 0°	7.442	959	1.963	0°	1.860	-320	17.322	3.273,86	0	0,00	87,619	43,892	114,356
				90°	1.860	0	18.244	3.448,16	160	30,20	88,025	44,092	115,598
				180°	1.860	320	19.167	3.622,47	0	0,00	88,425	44,292	116,832
				270°	1.860	0	18.244	3.448,16	-160	-30,20	88,025	44,092	115,598
Wind, operating, new Attack angle = 45°	7.442	959	1.963	0°	1.860	-169	17.592	3.324,91	-169	-32,03	87,66	43,913	114,543
				90°	1.860	-169	17.592	3.324,91	169	32,03	87,66	43,913	114,543
				180°	1.860	169	18.896	3.571,42	169	32,03	88,384	44,271	116,646
				270°	1.860	169	18.896	3.571,42	-169	-32,03	88,384	44,271	116,646
Wind, empty, corroded Attack angle = 0°	1.876	959	1.965	0°	469	-320	3.676	694,69	0	0,00	5,178	2,606	12,666
				90°	469	0	4.599	869,18	160	30,20	-5,812	-2,93	14,355
				180°	469	320	5.522	1.043,67	0	0,00	-7,508	-3,785	-18,423
				270°	469	0	4.599	869,18	-160	-30,20	-5,812	-2,93	14,355
Wind, empty, corroded Attack angle = 45°	1.876	959	1.965	0°	469	-169	3.946	745,80	-169	-32,03	5,268	2,654	12,948
				90°	469	-169	3.946	745,80	169	32,03	5,268	2,654	12,948
				180°	469	169	5.252	992,56	169	32,03	-6,922	-3,489	-17,03
				270°	469	169	5.252	992,56	-169	-32,03	-6,922	-3,489	-17,03
Wind, empty, new Attack angle = 0°	2.103	959	1.963	0°	526	-320	4.234	800,21	0	0,00	4,33	2,193	11,287
				90°	526	0	5.156	974,52	160	30,20	-4,73	-2,392	12,521
				180°	526	320	6.078	1.148,82	0	0,00	-6,019	-3,047	-15,761
				270°	526	0	5.156	974,52	-160	-30,20	-4,73	-2,392	12,521
Wind, empty, new Attack angle = 45°	2.103	959	1.963	0°	526	-169	4.504	851,26	-169	-32,03	4,371	2,213	11,473
				90°	526	-169	4.504	851,26	169	32,03	4,371	2,213	11,473
				180°	526	169	5.808	1.097,77	169	32,03	-5,564	-2,813	-14,638
				270°	526	169	5.808	1.097,77	-169	-32,03	-5,564	-2,813	-14,638
Wind, test, new Attack angle = 0°	8.136	0	1.433	0°	2.034	0	20.619	3.897,08	0	0,00	111,716	55,951	142,873
				90°	2.034	0	19.946	3.769,79	0	0,00	111,095	55,641	141,239
				180°	2.034	0	20.619	3.897,08	0	0,00	111,716	55,951	142,873
				270°	2.034	0	19.946	3.769,79	0	0,00	111,095	55,641	141,239
Wind, test, new Attack angle = 45°	8.136	0	1.433	0°	2.034	0	20.422	3.859,80	0	0,00	111,53	55,861	142,391
				90°	2.034	0	20.422	3.859,80	0	0,00	111,53	55,861	142,391
				180°	2.034	0	20.422	3.859,80	0	0,00	111,53	55,861	142,391
				270°	2.034	0	20.422	3.859,80	0	0,00	111,53	55,861	142,391
Seismic, operating, corroded Attack angle = 0°	7.237	35.484	9.863	0°	1.809	-11.828	13.107	2.477,31	0	0,00	121,251	61,315	169,908
				90°	2.171	0	21.291	4.023,92	5.914	1.117,76	111,923	56,061	151,519
				180°	2.171	11.828	25.925	4.899,88	0	0,00	98,106	48,932	129,159
				270°	2.171	0	21.291	4.023,92	-5.914	-1.117,76	111,923	56,061	151,519
				0°	1.809	-6.273	14.465	2.733,87	-6.273	-1.185,56	113,722	61,136	164,923

Seismic, operating, corroded Attack angle = 45°	7.237	35.484	9.863	90°	1.809	-6.273	14.465	2.733,87	6.273	1.185,56	113,722	61,136	164,923
				180°	2.171	6.273	24.568	4.643,32	6.273	1.185,56	105,628	52,8	148,272
				270°	2.171	6.273	24.568	4.643,32	-6.273	-1.185,56	105,628	52,8	148,272
Seismic, operating, new Attack angle = 0°	7.442	36.489	10.103	0°	1.860	-12.163	13.497	2.550,89	0	0,00	100,519	51,759	142,108
				90°	2.232	0	21.893	4.137,80	6.081	1.149,39	91,369	45,788	124,485
				180°	2.232	12.163	26.641	5.035,07	0	0,00	78,876	39,3	106,117
				270°	2.232	0	21.893	4.137,80	-6.081	-1.149,39	91,369	45,788	124,485
Seismic, operating, new Attack angle = 45°	7.442	36.489	10.103	0°	1.860	-6.450	14.887	2.813,69	-6.450	-1.219,11	93,879	51,78	132,283
				90°	1.860	-6.450	14.887	2.813,69	6.450	1.219,11	93,879	51,78	132,283
				180°	2.232	6.450	25.250	4.772,27	6.450	1.219,11	85,516	42,734	117,852
				270°	2.232	6.450	25.250	4.772,27	-6.450	-1.219,11	85,516	42,734	117,852
Seismic, empty, corroded Attack angle = 0°	1.876	9.198	3.178	0°	469	-3.066	3.106	586,94	0	0,00	9,025	4,875	23,035
				90°	563	0	5.519	1.043,01	1.533	289,73	-6,977	-3,516	17,271
				180°	563	3.066	7.012	1.325,25	0	0,00	-13,962	-7,074	-33,295
				270°	563	0	5.519	1.043,01	-1.533	-289,73	-6,977	-3,516	17,271
Seismic, empty, corroded Attack angle = 45°	1.876	9.198	3.178	0°	469	-1.626	3.543	669,61	-1.626	-307,30	7,177	4,826	20,739
				90°	469	-1.626	3.543	669,61	1.626	307,30	7,177	4,826	20,739
				180°	563	1.626	6.575	1.242,59	1.626	307,30	-11,011	-5,571	-26,662
				270°	563	1.626	6.575	1.242,59	-1.626	-307,30	-11,011	-5,571	-26,662
Seismic, empty, new Attack angle = 0°	2.103	10.312	2.863	0°	526	-3.437	3.811	720,21	0	0,00	8,26	4,557	21,767
				90°	631	0	6.187	1.169,42	1.719	324,84	-5,681	-2,868	-15,1
				180°	631	3.437	7.533	1.423,73	0	0,00	-11,68	-5,943	-29,875
				270°	631	0	6.187	1.169,42	-1.719	-324,84	-5,681	-2,868	-15,1
Seismic, empty, new Attack angle = 45°	2.103	10.312	2.863	0°	526	-1.823	4.205	794,69	-1.823	-344,54	6,385	4,557	17,271
				90°	526	-1.823	4.205	794,69	1.823	344,54	6,385	4,557	17,271
				180°	631	1.823	7.139	1.349,24	1.823	344,54	-9,074	-4,613	-23,263
				270°	631	1.823	7.139	1.349,24	-1.823	-344,54	-9,074	-4,613	-23,263

Applied Loads (Seismic, operating, corroded, Attack angle = 0°, lug orientation = 0°)	
Radial load, P_r	-11.828,1 N
Circumferential moment, M_c	0 N-m
Circumferential shear, V_c	0 N
Longitudinal moment, M_L	2.477,3 N-m
Longitudinal shear, V_L	13.107,46 N
Torsion moment, M_t	0 N-m
Internal pressure, P	0,824 MPa
Mean shell radius, R_m	870,8 mm
Local shell thickness, T	8,4 mm
Design factor	3

Maximum stresses due to the applied loads at the lug edge (includes pressure)

$$\gamma = \frac{R_m}{T} = \frac{870,8}{8,4} = 103,6691$$

$$C_1 = 130, C_2 = 165 \text{ mm}$$

$$\text{Local circumferential pressure stress} = \frac{P \cdot R_i}{T} = 85,012 \text{ MPa}$$

$$\text{Local longitudinal pressure stress} = \frac{P \cdot R_i}{2 \cdot T} = 42,506 \text{ MPa}$$

Maximum combined stress $(P_L + P_b + Q) = 169,91$ MPa

Allowable combined stress $(P_L + P_b + Q) = \pm 3 \cdot S = \pm 306$ MPa

The maximum combined stress $(P_L + P_b + Q)$ is within allowable limits.

Maximum local primary membrane stress $(P_L) = 121,25$ MPa

Allowable local primary membrane stress $(P_L) = \pm 1,5 \cdot S = \pm 153$ MPa

The maximum local primary membrane stress (P_L) is within allowable limits.

Stresses at the lug edge per WRC Bulletin 537										
Figure	Y	β	A_u	A_l	B_u	B_l	C_u	C_l	D_u	D_l
3C*	5,6244	0,191	0	0	0	0	9,094	9,094	9,094	9,094
4C*	12,1646	0,1777	19,671	19,671	19,671	19,671	0	0	0	0
1C	0,0526	0,1625	0	0	0	0	52,952	-52,952	52,952	-52,952
2C-1	0,0242	0,1625	24,304	-24,304	24,304	-24,304	0	0	0	0
3A*	3,9961	0,1616	0	0	0	0	0	0	0	0
1A	0,0639	0,1707	0	0	0	0	0	0	0	0
3B*	8,584	0,175	-16,568	-16,568	16,568	16,568	0	0	0	0
1B-1	0,0168	0,167	-24,352	24,352	24,352	-24,352	0	0	0	0
Pressure stress*			85,012	85,012	85,012	85,012	85,012	85,012	85,012	85,012
Total circumferential stress			88,067	88,163	169,908	72,595	147,058	41,155	147,058	41,155
Primary membrane circumferential stress*			88,115	88,115	121,251	121,251	94,107	94,107	94,107	94,107
3C*	6,2333	0,1777	10,08	10,08	10,08	10,08	0	0	0	0
4C*	11,6312	0,191	0	0	0	0	18,809	18,809	18,809	18,809
1C-1	0,0472	0,1801	47,519	-47,519	47,519	-47,519	0	0	0	0
2C	0,03	0,1801	0	0	0	0	30,178	-30,178	30,178	-30,178
4A*	8,7053	0,1616	0	0	0	0	0	0	0	0
2A	0,0258	0,1885	0	0	0	0	0	0	0	0
4B*	3,8094	0,175	-8,343	-8,343	8,343	8,343	0	0	0	0
2B-1	0,0197	0,1844	-25,848	25,848	25,848	-25,848	0	0	0	0
Pressure stress*			42,506	42,506	42,506	42,506	42,506	42,506	42,506	42,506
Total longitudinal stress			65,914	22,573	134,296	-12,438	91,493	31,137	91,493	31,137
Primary membrane longitudinal stress*			44,244	44,244	60,929	60,929	61,315	61,315	61,315	61,315
Shear from M_t			0	0	0	0	0	0	0	0
Circ shear from V_c			0	0	0	0	0	0	0	0
Long shear from V_L			0	0	0	0	-2,365	-2,365	2,365	2,365
Total Shear stress			0	0	0	0	-2,365	-2,365	2,365	2,365
Combined stress (P_L+P_b+Q)			88,067	88,163	169,908	-85,033	147,162	41,686	147,162	41,686
* denotes primary stress.										

Lug top plate required thickness, Bednar 5.2

$$t_a = \frac{0,75 \cdot (V_L \cdot d \cdot L)}{S_b \cdot W_p^2 \cdot h} = \frac{0,75 \cdot (26.640,6 \cdot 189 \cdot 260)}{112 \cdot 80^2 \cdot 295} = 4,64 \text{ mm}$$

$$\text{To prevent buckling} \rightarrow t_{a(\min)} = \frac{\text{Top plate width}}{12} = 6,67 \text{ mm.}$$

The top plate thickness of 10 mm is adequate.

Gusset plate required thickness, Bednar 5.2

$$S_c = \frac{12.183,17}{1 + \left(\frac{1}{12.183,17}\right) \cdot \left(\frac{h}{0,289 \cdot t_g}\right)^2} = \frac{12.183,17}{1 + \left(\frac{1}{12.183,17}\right) \cdot \left(\frac{11,6142}{0,289 \cdot 0,4724}\right)^2} = 7.643,542 \text{ psi (52,7 MPa)}$$

$$t_g = \frac{V_L \cdot (3 \cdot d - b)}{S_c \cdot b^2 \cdot (\sin(\alpha))^2} = \frac{26.640,6 \cdot (3 \cdot 189 - 378)}{52,7 \cdot 378^2 \cdot (\sin(44,71))^2} = 1,35 \text{ mm}$$

The gusset thickness of 12 mm is adequate.

Lug base plate required thickness

From Escoe table 4-8 $\left(\frac{l}{b} = 1,8\right)$

$$C_x = 0,1278, C_y = -0,1246$$

$$f_c = \frac{V_L}{L_b \cdot L} = \frac{26.640,6}{76,2 \cdot 260} = 1,345 \text{ MPa}$$

$$M_x = C_x \cdot f_c \cdot L_g^2 = 0,1278 \cdot 1,345 \cdot 210^2 = 7.578,53 \text{ mm} - \frac{N}{m}$$

$$M_y = C_y \cdot f_c \cdot L_b^2 = -0,1246 \cdot 1,345 \cdot 76,2^2 = -972,84 \text{ mm} - \frac{N}{m}$$

$$M = \max [|M_x|, |M_y|] = \max [|7.578,53|, |-972,84|] = 7.578,53 \text{ mm} - \frac{N}{m}$$

$$t_b = \sqrt{\frac{6 \cdot M}{S_b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 7.578,5}{112}} = 20,15 \text{ mm}$$

The base plate thickness of 25 mm is adequate.

Support Lug to Shell Fillet Weld Sizing - Bednar chapters 5.2 and 10.3

Note: continuous welding is assumed for all support lug fillet welds.

$$d_h = t_a + h + t_b = 10 + 295 + 25 = 330 \text{ mm}$$

$$L_w = 2 \cdot (b + d_h) = 2 \cdot (260 + 330) = 1.180 \text{ mm}$$

$$Z_w = b \cdot d_h + \frac{d_h^2}{3} = 260 \cdot 330 + \frac{330^2}{3} = 1.221 \text{ cm}^2$$

$$Z_z = d_h \cdot b + \frac{b^2}{3} = 330 \cdot 260 + \frac{260^2}{3} = 1.083,33 \text{ cm}^2$$

$$\text{Shear } f_1 = \frac{V_L}{L_w} = \frac{26.640,6}{1.180} = 22,58 \text{ N/cm}$$

$$\text{Shear } f_2 = \frac{V_c}{L_w} = \frac{0}{1.180} = 0 \text{ N/cm}$$

$$\text{Bending } f_3 = \max \left(\left| \frac{M_L}{Z_w} \right|, \left| \frac{M_c}{Z_z} \right| \right) = \max \left(\left| \frac{100 \cdot 5.035,1}{1.221} \right|, \left| \frac{0}{1.083,33} \right| \right) = 412,37 \text{ N/cm}$$

$$\text{Resultant load } f = \sqrt{f_1^2 + f_2^2 + f_3^2} = \sqrt{225,77^2 + 0^2 + 412,37^2} = 470,13 \text{ N/cm}$$

$$\text{Required weld size } w = \frac{F}{0,707 \cdot 0,55 \cdot S_a} = 0,1 \cdot \frac{470,13}{0,707 \cdot 0,55 \cdot 102} = 1,19 \text{ mm}$$

The support lug fillet weld size of 6 mm is adequate.

Anchor bolts - Seismic empty corroded condition governs

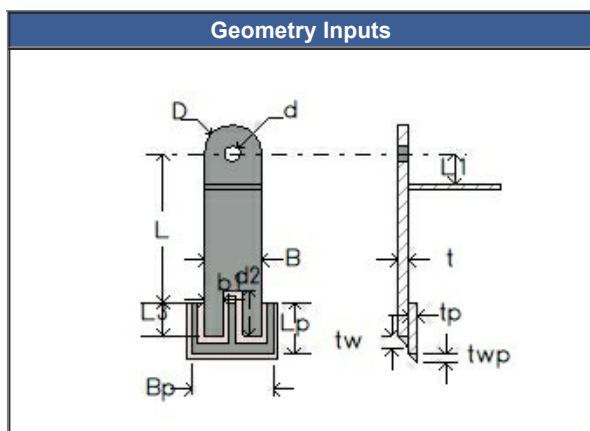
Tensile loading per lug (2 bolts per lug)

$$R = \frac{4 \cdot M}{N \cdot BC} - \frac{W}{N} = \frac{4 \cdot 3.177,8}{4 \cdot 1,9786} - \frac{18.395,31}{4} = -2.992,74 \text{ N}$$

There is no net uplift (R is negative).

M20 x 2.5 bolts are satisfactory.

Orelletes d'hissat



Attached To	Envolvent
Material	SA-240 316L
Distance of Lift Point From Datum	2.254 mm
Angular Position	0° and 180°
Length, L	354 mm
Width, B	142 mm
Thickness, t	15 mm
Hole Diameter, d	38 mm
Pin Diameter, Dp	36 mm
Diameter at Pin, D	142 mm
Length to Brace Plate, L₁	75 mm
Load Angle from Vertical, ϕ	0°
Has Brace Plate	Yes
Welds	
Size, t_w	15 mm
Length, b₁	46 mm
Length, d₂	100 mm
Reinforcement Pad	
Width, B_p	202 mm
Length, L_p	130 mm
Thickness, t_p	10 mm
Weld Size, t_{wp}	10 mm
Weld Length, L₃	100 mm

Intermediate Values	
Load Factor	1,5000
Vessel Weight (new, incl. Load Factor), W	3.154,7 kg
Lug Weight (new), W_{lug}	21,5 kg (Qty=2)
Distance from Center of Gravity to Top Lug, l_1	930,03 mm
Distance from Center of Gravity to Tail Lug, l_2	1.238,97 mm
Distance from Vessel Center Line to Tail Lug, l_3	1.025 mm
Allowable Stress, Tensile, σ_t	137,76 MPa
Allowable Stress, Shear, σ_s	91,84 MPa
Allowable Stress, Bearing, σ_p	206,64 MPa
Allowable Stress, Bending, σ_b	153,07 MPa
Allowable Stress, Weld Shear, $\tau_{allowable}$	91,84 MPa
Allowable Stress set to 1/3 Sy per ASME B30.20	No

Summary Values	
Required Lift Pin Diameter, d_{reqd}	10,36 mm
Required Lug Thickness, t_{reqd}	2,08 mm
Lug Stress Ratio, σ_{ratio}	0,43
Weld Shear Stress Ratio, τ_{ratio}	0,18
Lug Design	Acceptable
Local Stresses WRC 537	Acceptable
Maximum Out of Plane Lift Angle - Weak Axis Bending	35,09°

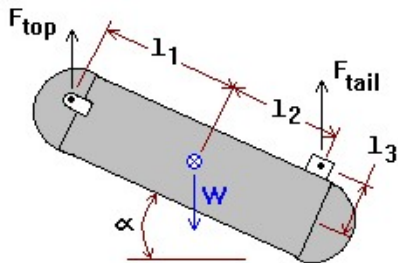
COMPRESS recommends a spreader beam be used to prevent weak axis bending of the top lugs. No consideration is given for any bracing plate from the lug to the vessel.

Lift Forces

Lift force on lugs during rotational lift ($0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$):

$$2 \cdot F_T = W \cdot \frac{l_2 \cdot \cos(\alpha) + l_3 \cdot \sin(\alpha)}{l_1 \cdot \cos(\alpha) + l_2 \cdot \cos(\alpha) + l_3 \cdot \sin(\alpha)}$$

$$F_{tail} = W - (2 \cdot F)$$



α [°]	$F_{top}[N]$	$F_{tail}[N]$
0	8.835,9	13.265,3
15	9.581,3	11.774,4
30	10.257,6	10.421,8
45	10.964,4	9.008,3
60	11.821,2	7.294,7
75	13.068,6	4.799,8
90	15.468,5	0
19 ¹	9.764,2	11.408,7
19 ²	9.764,2	11.408,7
20 ³	9.809,2	11.318,6
¹ Lift angle at maximum lug stress.		
² Lift angle at maximum weld stress.		
³ Lift angle at maximum pad weld stress.		
Shell angle at lift lug	0,00°	

Lug Pin Diameter - Shear stress

$$d_{reqd} = \sqrt{\frac{2 \cdot F_v}{\pi \cdot \sigma_s}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 15.468,5}{\pi \cdot 91,84}} = 10,36 \text{ mm}$$

$$\frac{d_{reqd}}{D_p} = \frac{10,36}{36} = 0,29 \quad \text{Acceptable}$$

$$\sigma = \frac{F_v}{A}$$

$$= \frac{F_v}{2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D_p^2)}$$

$$= \frac{15.468,5}{2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 36^2)} = 7,6 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_s} = \frac{7,6}{91,84} = 0,08 \quad \text{Acceptable}$$

Lug Thickness - Tensile stress

$$t_{\text{reqd}} = \frac{F_v}{(D - d) \cdot \sigma_t}$$

$$= \frac{15.468,5}{(142 - 38) \cdot 137,76} = 1,08 \text{ mm}$$

$$\frac{t_{\text{reqd}}}{t} = \frac{1,08}{15} = 0,07$$

$$\sigma = \frac{F_v}{A}$$

$$= \frac{F_v}{(D - d) \cdot t}$$

$$= \frac{15.468,5}{(142 - 38) \cdot 15} = 9,92 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_t} = \frac{9,92}{137,76} = 0,07 \quad \text{Acceptable}$$

Lug Thickness - Bearing stress

$$t_{\text{reqd}} = \frac{F_v}{D_p \cdot \sigma_p}$$

$$= \frac{15.468,5}{36 \cdot 206,64} = \underline{2,08 \text{ mm}}$$

$$\frac{t_{\text{reqd}}}{t} = \frac{2,08}{15} = 0,14 \quad \text{Acceptable}$$

$$\sigma = \frac{F_v}{A_{\text{bearing}}}$$

$$= \frac{F_v}{D_p \cdot (t)}$$

$$= \frac{15.468,5}{36 \cdot (15)} = 28,65 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_p} = \frac{28,65}{206,64} = 0,14 \quad \text{Acceptable}$$

Lug Thickness - Shear stress

$$t_{\text{reqd}} = \frac{\frac{F_v}{\sigma_s}}{2 \cdot L_{\text{shear}}}$$

$$= \frac{\frac{15.468,5}{91,84}}{2 \cdot 57,51} = \underline{1.46 \text{ mm}}$$

$$\frac{t_{\text{reqd}}}{t} = \frac{1,46}{15} = 0,10 \quad \text{Acceptable}$$

$$\tau = \frac{F_v}{A_{\text{shear}}}$$

$$= \frac{F_v}{2 \cdot t \cdot L_{\text{shear}}}$$

$$= \frac{15.468,5}{2 \cdot 15 \cdot 57,51} = 8,97 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau}{\sigma_s} = \frac{8,97}{91,84} = 0,10 \quad \text{Acceptable}$$

Shear stress length (per Pressure Vessel and Stacks, A. Keith Escoe)



$$\phi = 55 \cdot \frac{D_p}{d}$$

$$= 55 \cdot \frac{36}{38}$$

$$= 52,1053^\circ$$

$$Z = 0.5 \cdot (D - d) + 0.5 \cdot D_p \cdot (1 - \cos(\phi))$$

$$= 0.5 \cdot (142 - 38) + 0.5 \cdot 36 \cdot (1 - \cos(52,1053))$$

$$= 58,94 \text{ mm}$$

$$Z1 = 0.5 \cdot D - \sqrt{0.25 \cdot D \cdot D - (0.5 \cdot D_p \cdot \sin(\phi))^2}$$

$$= 0.5 \cdot 142 - \sqrt{0.25 \cdot 142 \cdot 142 - (0.5 \cdot 36 \cdot \sin(52,1053))^2}$$

$$= 1,44 \text{ mm}$$

$$L_{\text{shear}} = Z - Z1$$

$$= 57,51 \text{ mm}$$

Lug Plate Stress

Lug stress, tensile + bending, during rotational lift:

$$\sigma_{\text{ratio}} = \left[\frac{F_{\text{ten}}}{A_{\text{ten}} \cdot \sigma_t} \right] + \left[\frac{M_{\text{bend}}}{Z_{\text{+bend}} \cdot \sigma_b} \right] \leq 1$$

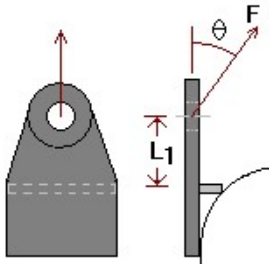
$$= \left[\frac{F_{\text{top}}(\alpha) \cdot \sin(\alpha)}{t \cdot B \cdot \sigma_t} \right] + \left[\frac{6 \cdot F_{\text{top}}(\alpha) \cdot L \cdot \cos(\alpha)}{t \cdot B^2 \cdot \sigma_b} \right] \leq 1$$

$$= 9.764,2 \cdot \frac{\sin(19,0)}{15 \cdot 142 \cdot 137,76} + 6 \cdot (9.764,2) \cdot 354 \cdot \frac{\cos(19,0)}{15 \cdot 142^2 \cdot 153,07}$$

$$= \underline{0.43} \quad \text{Acceptable}$$

Weak Axis Bending Stress

Maximum lift cable angle from vertical $\theta = 35,09^\circ$



$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \frac{F \cdot \sin(\theta) \cdot L_1}{Z}$$

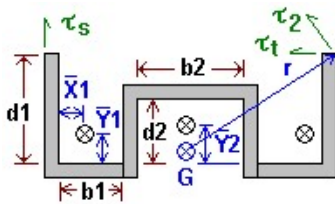
$$F \cdot \cos(\theta) = 0,5 \cdot W \Rightarrow F = 0,5 \cdot \frac{W}{\cos(\theta)}$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{2 \cdot \sigma_b \cdot Z}{W \cdot L_1}\right)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{2 \cdot 153,07 \cdot \left(142 \cdot \frac{15^2}{6}\right)}{30.937 \cdot 75}\right) = 35,09^\circ$$

Loading on brace plate and head are not considered.

Weld Stress



Weld stress, direct and torsional shear, during rotational lift:

Direct shear:

Maximum weld shear stress occurs at lift angle $19,00^\circ$; lift force = 9.764,2 N

$$\begin{aligned} A_{weld} &= A_1 + A_2 + A_3 \\ &= 0,707 \cdot t_w \cdot ((d_1 + b_1) + (2 \cdot d_2 + b_2) + (d_3 + b_3)) \\ &= 0,707 \cdot 15 \cdot ((100 + 46) + (2 \cdot 100 + 50) + (100 + 46)) \\ &= 1.548,33 + 2.651,25 + 1.548,33 = 5.747,91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_t &= F_{\text{lug}} \cdot \frac{\cos(\alpha)}{A_{\text{weld}}} \\ &= 9.764,2 \cdot \frac{\cos(19,0)}{5.747,91} = 1,61 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_s &= F_{\text{lug}} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{A_{\text{weld}}} \\ &= 9.764,2 \cdot \frac{\sin(19,0)}{5.747,91} = 0,55 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Torsional shear:

Weld centroid:

Weld areas

$$\begin{aligned}A_i &= 0,707 \cdot t_w \cdot L_i \\ A_1 &= 0,707 \cdot 15 \cdot 100 = 1.060,5 \text{ mm}^2 \\ A_2 &= 0,707 \cdot 15 \cdot 46 = 487,83 \text{ mm}^2 \\ A_3 &= 0,707 \cdot 15 \cdot 100 = 1.060,5 \text{ mm}^2 \\ A_4 &= 0,707 \cdot 15 \cdot 50 = 530,25 \text{ mm}^2 \\ A_5 &= 0,707 \cdot 15 \cdot 100 = 1.060,5 \text{ mm}^2 \\ A_6 &= 0,707 \cdot 15 \cdot 46 = 487,83 \text{ mm}^2 \\ A_7 &= 0,707 \cdot 15 \cdot 100 = 1.060,5 \text{ mm}^2 \\ A_{\text{weld torsion}} &= \sum A_i = 5.747,91 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Weld centroid locations

$$\begin{aligned}x_1 &= 0 \text{ mm} \\ y_1 &= 50 \text{ mm} \\ x_2 &= 23 \text{ mm} \\ y_2 &= 0 \text{ mm} \\ x_3 &= 46 \text{ mm} \\ y_3 &= 50 \text{ mm} \\ x_4 &= 71 \text{ mm} \\ y_4 &= 100 \text{ mm} \\ x_5 &= 96 \text{ mm} \\ y_5 &= 50 \text{ mm} \\ x_6 &= 119 \text{ mm} \\ y_6 &= 0 \text{ mm} \\ x_7 &= 142 \text{ mm} \\ y_7 &= 50 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$X_{\text{bar}} = \frac{\sum(A_i \cdot x_i)}{\sum(A_i)}$$

$$Y_{\text{bar}} = \frac{\sum(A_i \cdot y_i)}{\sum(A_i)}$$

$$X_{\text{bar}} = \frac{1.060,5 \cdot 0 + 487,83 \cdot 23 + 1.060,5 \cdot 46 + 530,25 \cdot 71 + 1.060,5 \cdot 96 + 487,83 \cdot 119 + 1.060,5 \cdot 142}{5.747,91} = 71 \text{ mm}$$

$$Y_{\text{bar}} = \frac{1.060,5 \cdot 50 + 487,83 \cdot 0 + 1.060,5 \cdot 50 + 530,25 \cdot 100 + 1.060,5 \cdot 50 + 487,83 \cdot 0 + 1.060,5 \cdot 50}{5.747,91} = 46,13 \text{ mm}$$

Radius to centroid locations

$$r_i = \sqrt{(X_{\text{bar}} - x_i)^2 + (Y_{\text{bar}} - y_i)^2}$$

$$r_1 = \sqrt{(71 - 0)^2 + (46,13 - 50)^2} = 71,11 \text{ mm}$$

$$r_2 = \sqrt{(71 - 23)^2 + (46,13 - 0)^2} = 66,57 \text{ mm}$$

$$r_3 = \sqrt{(71 - 46)^2 + (46,13 - 50)^2} = 25,3 \text{ mm}$$

$$r_4 = \sqrt{(71 - 71)^2 + (46,13 - 100)^2} = 53,87 \text{ mm}$$

$$r_5 = \sqrt{(71 - 96)^2 + (46,13 - 50)^2} = 25,3 \text{ mm}$$

$$r_6 = \sqrt{(71 - 119)^2 + (46,13 - 0)^2} = 66,57 \text{ mm}$$

$$r_7 = \sqrt{(71 - 142)^2 + (46,13 - 50)^2} = 71,11 \text{ mm}$$

Polar Moment of Area

$$J_i = 0,707 \cdot t_w \cdot \frac{L_i^3}{12}$$

$$J_1 = 0,707 \cdot 15 \cdot \frac{100^3}{12} = 883750,0000 \text{ mm}^4$$

$$J_2 = 0,707 \cdot 15 \cdot \frac{46^3}{12} = 86020,6900 \text{ mm}^4$$

$$J_3 = 0,707 \cdot 15 \cdot \frac{100^3}{12} = 883750,0000 \text{ mm}^4$$

$$J_4 = 0,707 \cdot 15 \cdot \frac{50^3}{12} = 110468,7500 \text{ mm}^4$$

$$J_5 = 0,707 \cdot 15 \cdot \frac{100^3}{12} = 883750,0000 \text{ mm}^4$$

$$J_6 = 0,707 \cdot 15 \cdot \frac{46^3}{12} = 86020,6900 \text{ mm}^4$$

$$J_7 = 0,707 \cdot 15 \cdot \frac{100^3}{12} = 883750,0000 \text{ mm}^4$$

$$J = \sum (J_i + A_i \cdot r_i^2) \text{ Parallel axis theorem}$$

$$J = \left[883750,0000 + 1.060,5 \cdot (71,11)^2 + (86020,6900 + 487,83 \cdot (66,57)^2) + (883750,0000 + 1.060,5 \cdot (25,3)^2) \right. \\ \left. + (110468,7500 + 530,25 \cdot (53,87)^2) + (883750,0000 + 1.060,5 \cdot (25,3)^2) + (86020,6900 + 487,83 \cdot (66,57)^2) + (883750,0000 + 1.060,5 \cdot (71,11) \right.$$

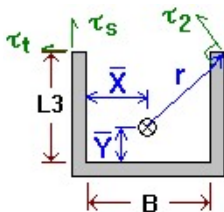
Radial distance from centroid to weld:

$$r = \sqrt{X_{\text{bar}}^2 + (L_3 - Y_{\text{bar}})^2} \\ = \sqrt{71^2 + (100 - 46,13)^2} = 89,13 \text{ mm}$$

$$\theta_r = \arctan\left(\frac{L_3 - Y_{\text{bar}}}{X_{\text{bar}}}\right) \\ = \arctan\left(\frac{53,87}{71}\right) = 37,19^\circ$$

$$\tau_2 = M \cdot \frac{r}{J} \\ = [F(\alpha) \cdot \cos(\alpha) \cdot (L + L_3 - Y_{\text{bar}})] \cdot \frac{r}{J} \\ = (9.764,2 \cdot \cos(19,0) \cdot 407,87) \cdot \frac{89,13}{21761503,8549} \\ = 15,42 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{ratio}} = \frac{\sqrt{(\tau_t + \tau_2 \cdot \sin(\theta_r))^2 + (\tau_s + \tau_2 \cdot \cos(\theta_r))^2}}{\tau_{\text{allowable}}} \leq 1 \\ = \frac{\sqrt{(1,61 + 15,42 \cdot \sin(37,19))^2 + (0,55 + 15,42 \cdot \cos(37,19))^2}}{91,84} \\ = 0,18 \quad \text{Acceptable}$$



Pad Weld Stress

Direct shear:

Maximum weld shear stress occurs at lift angle $20,00^\circ$; lift force = 9.809,2 N

$$A_{\text{weld}} = 0,707 \cdot t_w \cdot (p) \cdot (2 \cdot L_p + B_p) \\ = 0,707 \cdot 10 \cdot (2 \cdot 130 + 202) = 3.266,34 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\tau_t &= F_{\text{lug}} \cdot \frac{\cos(\alpha)}{A_{\text{weld}}} \\ &= 9.809,2 \cdot \frac{\cos(20,0)}{3.266,34} = 2,82 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_s &= F_{\text{lug}} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{A_{\text{weld}}} \\ &= 9.809,2 \cdot \frac{\sin(20,0)}{3.266,34} = 1,03 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Torsional shear:

Weld centroid:

$$\begin{aligned}Y_{\text{bar}_p} &= \frac{L_p^2}{2 \cdot L_p + B_p} \\ &= \frac{130^2}{2 \cdot 130 + 202} = 36,58 \text{ mm}\end{aligned}$$

Second polar moment of area:

$$\begin{aligned}J_p &= 0,707 \cdot t_{\text{wp}} \cdot \left(\frac{8 \cdot L_p^3 + 6 \cdot L_p \cdot B_p^2 + B_p^3}{12} - \frac{L_p^4}{2 \cdot L_p + B_p} \right) \\ &= 0,707 \cdot 10 \cdot \left(\frac{8 \cdot 130^3 + 6 \cdot 130 \cdot 202^2 + 202^3}{12} - \frac{130^4}{2 \cdot 130 + 202} \right) = 29592125 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

Radial distance from centroid to weld:

$$\begin{aligned}r_p &= \sqrt{(X_{\text{bar}} - (p))^2 + (L_p - Y_{\text{bar}} - (p))^2} \\ &= \sqrt{(0,5 \cdot 202)^2 + (130 - 36,58)^2} = 137,58 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_r &= \arctan\left(\frac{L_p - Y_{\text{bar}} - (p)}{X_{\text{bar}} - (p)}\right) \\ &= \arctan\left(\frac{93,42}{101}\right) = 42,77^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_2 &= M \cdot \frac{r_p}{J_p} \\ &= [F(\alpha) \cdot \cos(\alpha) \cdot (L + L_p - Y_{\text{bar}} - (p))] \cdot \frac{r_p}{J_p} \\ &= (9.809,2 \cdot \cos(20,0) \cdot 447,42) \cdot \frac{137,58}{29592125,0952} \\ &= 19,17 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{\text{ratio}} &= \frac{\sqrt{(\tau_t + \tau_2 \cdot \sin(\theta_r))^2 + (\tau_s + \tau_2 \cdot \cos(\theta_r))^2}}{\tau_{\text{allowable}}} \leq 1 \\ &= \frac{\sqrt{(2,82 + 19,17 \cdot \sin(42,77))^2 + (1,03 + 19,17 \cdot \cos(42,77))^2}}{91,84} \\ &= 0,24 \quad \text{Acceptable}\end{aligned}$$

WRC 537 Analysis

Maximum stress ratio occurs at lift angle = 90,00° with lift force = 15.468,5 N

Geometry	
Height (radial)	15 mm
Width (circumferential)	142 mm
Length	100 mm
Fillet Weld Size:	15 mm
Located On	Envolvent (100 mm from top end)
Location Angle	0,00° and 180,00°
Reinforcement Pad	
Thickness	10 mm
Width	202 mm
Length	130 mm
Weld Size	10 mm

Applied Loads	
Radial load, P _r	0 N
Circumferential moment, M _c	0 N-m
Circumferential shear, V _c	0 N
Longitudinal moment, M _L	270,7 N-m
Longitudinal shear, V _L	15.468,52 N
Torsion moment, M _t	0 N-m
Internal pressure, P	0 MPa
Mean shell radius, R _m	870 mm
Design factor	3

Maximum stresses due to the applied loads at the lug edge

$$\gamma = \frac{R_m}{T} = \frac{870}{20} = 43,5$$

$$C_1 = 86, C_2 = 65 \text{ mm}$$

$$\text{Local circumferential pressure stress} = \frac{P \cdot R_i}{T} = 0 \text{ MPa}$$

$$\text{Local longitudinal pressure stress} = \frac{P \cdot R_i}{2 \cdot T} = 0 \text{ MPa}$$

$$\text{Maximum combined stress } (P_L + P_b + Q) = 5,94 \text{ MPa}$$

$$\text{Allowable combined stress } (P_L + P_b + Q) = \pm 3 \cdot S = \pm 345 \text{ MPa}$$

Note: The allowable combined stress $(P_L + P_b + Q)$ is based on the strain hardening characteristics of this material.

The maximum combined stress $(P_L + P_b + Q)$ is within allowable limits.

$$\text{Maximum local primary membrane stress } (P_L) = -0,89 \text{ MPa}$$

$$\text{Allowable local primary membrane stress } (P_L) = \pm 1,5 \cdot S = \pm 172,5 \text{ MPa}$$

The maximum local primary membrane stress (P_L) is within allowable limits.

Stresses at the lug edge per WRC Bulletin 537										
Figure	Y	β	A_u	A_l	B_u	B_l	C_u	C_l	D_u	D_l
3C*	6,7243	0,0851	0	0	0	0	0	0	0	0
4C*	7,4816	0,0922	0	0	0	0	0	0	0	0
1C	0,1265	0,093	0	0	0	0	0	0	0	0
2C-1	0,0876	0,093	0	0	0	0	0	0	0	0
3A*	0,9997	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0
1A	0,0958	0,1026	0	0	0	0	0	0	0	0
3B*	4,5136	0,082	-0,889	-0,889	0,889	0,889	0	0	0	0
1B-1	0,049	0,085	-2,689	2,689	2,689	-2,689	0	0	0	0
Pressure stress*			0	0	0	0	0	0	0	0
Total circumferential stress			-3,578	1,8	3,578	-1,8	0	0	0	0
Primary membrane circumferential stress*			-0,889	-0,889	0,889	0,889	0	0	0	0
3C*	6,4542	0,0922	0	0	0	0	0	0	0	0
4C*	7,6041	0,0851	0	0	0	0	0	0	0	0
1C-1	0,1398	0,0878	0	0	0	0	0	0	0	0
2C	0,0885	0,0878	0	0	0	0	0	0	0	0
4A*	1,9107	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0
2A	0,0526	0,0978	0	0	0	0	0	0	0	0
4B*	0,9117	0,082	-0,172	-0,172	0,172	0,172	0	0	0	0
2B-1	0,0798	0,0863	-4,316	4,316	4,316	-4,316	0	0	0	0
Pressure stress*			0	0	0	0	0	0	0	0
Total longitudinal stress			-4,488	4,144	4,488	-4,144	0	0	0	0
Primary membrane longitudinal stress*			-0,172	-0,172	0,172	0,172	0	0	0	0
Shear from M_t			0	0	0	0	0	0	0	0
Circ shear from V_c			0	0	0	0	0	0	0	0
Long shear from V_L			0	0	0	0	-2,972	-2,972	2,972	2,972
Total Shear stress			0	0	0	0	-2,972	-2,972	2,972	2,972
Combined stress (P_L+P_b+Q)			-4,488	4,144	4,488	-4,144	5,943	5,943	5,943	5,943
* denotes primary stress.										

Maximum stresses due to the applied loads at the pad edge

$$\gamma = \frac{R_m}{T} = \frac{870}{10} = 87$$

$$C_1 = 111, C_2 = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Local circumferential pressure stress} = \frac{P \cdot R_i}{T} = 0 \text{ MPa}$$

$$\text{Local longitudinal pressure stress} = \frac{P \cdot R_i}{2 \cdot T} = 0 \text{ MPa}$$

$$\text{Maximum combined stress } (P_L + P_b + Q) = 10,31 \text{ MPa}$$

$$\text{Allowable combined stress } (P_L + P_b + Q) = \pm 3 \cdot S = \pm 345 \text{ MPa}$$

Note: The allowable combined stress ($P_L + P_b + Q$) is based on the strain hardening characteristics of this material.

The maximum combined stress ($P_L + P_b + Q$) is within allowable limits.

$$\text{Maximum local primary membrane stress } (P_L) = -3,3 \text{ MPa}$$

$$\text{Allowable local primary membrane stress } (P_L) = \pm 1,5 \cdot S = \pm 172,5 \text{ MPa}$$

The maximum local primary membrane stress (P_L) is within allowable limits.

Stresses at the pad edge per WRC Bulletin 537										
Figure	Y	β	A _u	A _l	B _u	B _l	C _u	C _l	D _u	D _l
3C*	11,5017	0,1034	0	0	0	0	0	0	0	0
4C*	14,6939	0,1163	0	0	0	0	0	0	0	0
1C	0,0808	0,1176	0	0	0	0	0	0	0	0
2C-1	0,0484	0,1176	0	0	0	0	0	0	0	0
3A*	3,9525	0,112	0	0	0	0	0	0	0	0
1A	0,0771	0,123	0	0	0	0	0	0	0	0
3B*	9,684	0,0982	-3,296	-3,296	3,296	3,296	0	0	0	0
1B-1	0,0352	0,1017	-6,453	6,453	6,453	-6,453	0	0	0	0
Pressure stress*			0	0	0	0	0	0	0	0
Total circumferential stress			-9,749	3,158	9,749	-3,158	0	0	0	0
Primary membrane circumferential stress*			-3,296	-3,296	3,296	3,296	0	0	0	0
3C*	10,3217	0,1163	0	0	0	0	0	0	0	0
4C*	15,2593	0,1034	0	0	0	0	0	0	0	0
1C-1	0,0918	0,1082	0	0	0	0	0	0	0	0
2C	0,0528	0,1082	0	0	0	0	0	0	0	0
4A*	7,2006	0,112	0	0	0	0	0	0	0	0
2A	0,0394	0,1158	0	0	0	0	0	0	0	0
4B*	3,1131	0,0982	-0,883	-0,883	0,883	0,883	0	0	0	0
2B-1	0,0503	0,1016	-9,246	9,246	9,246	-9,246	0	0	0	0
Pressure stress*			0	0	0	0	0	0	0	0
Total longitudinal stress			-10,128	8,363	10,128	-8,363	0	0	0	0
Primary membrane longitudinal stress*			-0,883	-0,883	0,883	0,883	0	0	0	0
Shear from M _t			0	0	0	0	0	0	0	0
Circ shear from V _c			0	0	0	0	0	0	0	0
Long shear from V _L			0	0	0	0	-5,157	-5,157	5,157	5,157
Total Shear stress			0	0	0	0	-5,157	-5,157	5,157	5,157
Combined stress (P _L +P _b +Q)			-10,128	8,363	10,128	-8,363	10,315	10,315	10,315	10,315
* denotes primary stress.										

Orelleta de retinguda

Geometry Inputs	
Attached To	Envolvent
Material	SA-240 316L
Orientation	Longitudinal
Distance of Lift Point From Datum	85 mm
Angular Position	270°
Length, L	110 mm
Height, H	195 mm
Thickness, t	15 mm
Hole Diameter, d	38 mm
Pin Diameter, Dp	36 mm
Load Eccentricity, a ₁	0 mm
Distance from Load to Shell or Pad, a ₂	140 mm
Load Angle Normal to Vessel, β	0°
Load Angle from Vertical, φ	0°
Welds	
Size, t _w	10 mm
Reinforcement Pad	
Width, B _p	75 mm
Length, L _p	150 mm
Thickness, t _p	10 mm
Weld Size, t _{wp}	10 mm

Intermediate Values	
Load Factor	1,5000
Vessel Weight (new, incl. Load Factor), W	3.154,7 kg
Lug Weight (new), W_{lug}	3,6 kg
Distance from Center of Gravity to Top Lug, l_1	930,03 mm
Distance from Center of Gravity to Tail Lug, l_2	1.238,97 mm
Distance from Vessel Center Line to Tail Lug, l_3	1.025 mm
Allowable Stress, Tensile, σ_t	137,76 MPa
Allowable Stress, Shear, σ_s	91,84 MPa
Allowable Stress, Bearing, σ_p	206,64 MPa
Allowable Stress, Bending, σ_b	153,07 MPa
Allowable Stress, Weld Shear, $\tau_{allowable}$	91,84 MPa
Allowable Stress set to 1/3 Sy per ASME B30.20	No

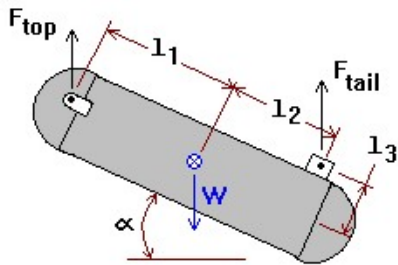
Summary Values	
Required Lift Pin Diameter, d_{reqd}	9.59 mm
Required Lug Thickness, t_{reqd}	1.78 mm
Lug Stress Ratio, σ_{ratio}	0.22
Weld Shear Stress Ratio, τ_{ratio}	0.28
Lug Design	Acceptable
Local Stresses	Acceptable

Lift Forces

Lift force on lugs during rotational lift ($0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$):

$$2 \cdot F_T = W \cdot \frac{l_2 \cdot \cos(\alpha) + l_3 \cdot \sin(\alpha)}{l_1 \cdot \cos(\alpha) + l_2 \cdot \cos(\alpha) + l_3 \cdot \sin(\alpha)}$$

$$F_{tail} = W - (2 \cdot F)$$



α [°]	$F_{top}[N]$	$F_{tail}[N]$
0	8.835,9	13.265,3
15	9.581,3	11.774,4
30	10.257,6	10.421,8
45	10.964,4	9.008,3
60	11.821,2	7.294,7
75	13.068,6	4.799,8
90	15.468,5	0
47 ¹	11.066,7	8.803,6
47 ²	11.066,7	8.803,6
43 ³	10.864,6	9.207,9
¹ Lift angle at maximum lug stress.		
² Lift angle at maximum weld stress.		
³ Lift angle at maximum pad weld stress.		

Lug loading at $\alpha = 0^\circ$	
Total lift force	
$F = \frac{F_{top}}{\cos(\phi)}$	
$F = \frac{13.265,3}{\cos(0,0)} =$	13.265,3 N
Tensile force (parallel to lug normal)	
$F_t = F \cdot \cos(\beta)$	
$F_t = 13.265,3 \cdot \cos(0,0) =$	13.265,3 N
Shear force (parallel to lug weld)	
$F_s = F \cdot \sin(\beta)$	
$F_s = 13.265,3 \cdot \sin(0,0) =$	0 N

Lug Pin Diameter - Shear stress

$$d_{\text{reqd}} = \sqrt{\frac{2 \cdot F_v}{\pi \cdot \sigma_s}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 13.265,3}{\pi \cdot 91,84}} = \underline{9,59 \text{ mm}}$$

$$\frac{d_{\text{reqd}}}{D_p} = \frac{9,59}{36} = 0,27 \quad \text{Acceptable}$$

$$\sigma = \frac{F_v}{A}$$

$$= \frac{F_v}{2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot D_p^2)}$$

$$= \frac{13.265,3}{2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 36^2)} = 6,52 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_s} = \frac{6,52}{91,84} = 0,07 \quad \text{Acceptable}$$

Lug Thickness - Tensile stress

$$t_{\text{reqd}} = \frac{F_v}{(L - d) \cdot \sigma_t}$$

$$= \frac{13.265,3}{(110 - 38) \cdot 137,76} = 1,34 \text{ mm}$$

$$\frac{t_{\text{reqd}}}{t} = \frac{1,34}{15} = 0,09$$

$$\sigma = \frac{F_v}{A}$$

$$= \frac{F_v}{(L - d) \cdot t}$$

$$= \frac{13.265,3}{(110 - 38) \cdot 15} = 12,28 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_t} = \frac{12,28}{137,76} = 0,09 \quad \text{Acceptable}$$

Lug Thickness - Bearing stress

$$t_{\text{reqd}} = \frac{F_v}{D_p \cdot \sigma_p}$$

$$= \frac{13.265,3}{36 \cdot 206,64} = 1,78 \text{ mm}$$

$$\frac{t_{\text{reqd}}}{t} = \frac{1,78}{15} = 0,12 \quad \text{Acceptable}$$

$$\sigma = \frac{F_v}{A_{\text{bearing}}}$$

$$= \frac{F_v}{D_p \cdot (t)}$$

$$= \frac{13.265,3}{36 \cdot (15)} = 24,57 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_p} = \frac{24,57}{206,64} = 0,12 \quad \text{Acceptable}$$

Lug Thickness - Shear stress

$$t_{\text{reqd}} = \frac{\frac{F_v}{\sigma_s}}{2 \cdot L_{\text{shear}}}$$

$$= \frac{\frac{13.265,3}{91,84}}{2 \cdot 42,94} = 1,68 \text{ mm}$$

$$\frac{t_{\text{reqd}}}{t} = \frac{1,68}{15} = 0,11 \quad \text{Acceptable}$$

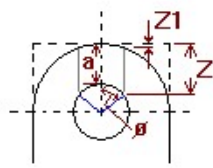
$$\tau = \frac{F_v}{A_{\text{shear}}}$$

$$= \frac{F_v}{2 \cdot t \cdot L_{\text{shear}}}$$

$$= \frac{13.265,3}{2 \cdot 15 \cdot 42,94} = 10,3 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau}{\sigma_s} = \frac{10,3}{91,84} = 0,11 \quad \text{Acceptable}$$

Shear stress length (per Pressure Vessel and Stacks, A. Keith Escoe)



$$\begin{aligned}
 \phi &= 55 \cdot \frac{D_p}{d} \\
 &= 55 \cdot \frac{36}{38} \\
 &= 52,1053^\circ \\
 L_{\text{shear}} &= (H - a_2 - 0.5 \cdot d) + 0.5 \cdot D_p \cdot (1 - \cos(\phi)) \\
 &= (195 - 140 - 0.5 \cdot 38) + 0.5 \cdot 36 \cdot (1 - \cos(52,1053)) \\
 &= 42,94 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Lug Plate Stress

Lug stress tensile + bending during lift:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{ratio}} &= \left[\frac{F_{\text{ten}}}{A_{\text{ten}} \cdot \sigma_t} \right] + \left[\frac{M_{\text{bend}}}{Z_{\text{bend}} \cdot \sigma_b} \right] \leq 1 \\
 &= \left[\frac{F_{\text{tail}}(\alpha) \cdot \cos(\alpha)}{t \cdot L \cdot \sigma_t} \right] + \left[\frac{6 \cdot |F_{\text{tail}}(\alpha) \cdot \sin(\alpha) \cdot \text{Hght} - F_{\text{tail}}(\alpha) \cdot \cos(\alpha) \cdot a_1|}{t \cdot L_2 \cdot \sigma_b} \right] \leq 1 \\
 &= 8.803,6 \cdot \frac{\cos(47,0)}{15 \cdot 110 \cdot 137,76} + 6 \cdot \frac{|8.803,6 \cdot \sin(47,0) \cdot 140 - 8.803,6 \cdot \cos(47,0) \cdot 0|}{15 \cdot 110^2 \cdot 153,07} \\
 &= \mathbf{0,22} \quad \text{Acceptable}
 \end{aligned}$$

Weld Stress

Weld stress, tensile, bending and shear during lift:

Direct shear:

Maximum shear stress occurs at lift angle 47,00°; lift force = 8.803,6 N

$$\begin{aligned}
 F_{\text{lug}} &= \frac{F_{\text{top}}}{\cos(\phi)} \\
 &= \frac{8.803,6}{\cos(0,0)} = 8.803,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{weld}} &= 2 \cdot (0,707) \cdot t_w \cdot (L + t) \\
 &= 2 \cdot (0,707) \cdot 10 \cdot (110 + 15) = 1.767,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_t &= F_{\text{tail}} \cdot \frac{\cos(\alpha)}{A_{\text{weld}}} \\
 &= 8.803,6 \cdot \frac{\cos(47,0)}{1.767,5} = 3,4 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_s &= F_{\text{tail}} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{A_{\text{weld}}} \\
 &= 8.803,6 \cdot \frac{\sin(47,0)}{1.767,5} = 3,64 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_b &= M \cdot \frac{c}{I} \\
&= 3 \cdot \frac{F_{lug} \cdot \sin(\beta) \cdot Hght - F_{lug} \cdot \cos(\beta) \cdot a_1}{0,707 \cdot h \cdot L \cdot (3 \cdot t + L)} \\
&= 3 \cdot \frac{|8.803,6 \cdot \sin(47,0) \cdot 140 - 8.803,6 \cdot \cos(47,0) \cdot (0)|}{120543,5000} \\
&= 22,43 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{ratio} &= \frac{\sqrt{(\tau_t + \tau_b)^2 + \tau_s^2}}{\tau_{allowable}} \leq 1 \\
&= \frac{\sqrt{(3,4 + 22,43)^2 + (3,64)^2}}{91,84} \\
&= \underline{0,28} \quad \text{Acceptable}
\end{aligned}$$

Pad Weld Stress, tensile, bending and shear during lift:

Direct shear:

Maximum shear stress occurs at lift angle 43,00°; lift force = 9.207,9 N

$$\begin{aligned}
F_{lug} &= \frac{F_{top}}{\cos(\phi)} \\
&= \frac{9.207,9}{\cos(0,0)} = 9.207,9 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{weld} &= 2 \cdot (0,707) \cdot t_w - p \cdot (L_p + B_p) \\
&= 2 \cdot (0,707) \cdot 10 \cdot (150 + 75) = 3.181,5 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_t &= F_{tail} \cdot \frac{\cos(\alpha)}{A_{weld}} \\
&= 9.207,9 \cdot \frac{\cos(43,0)}{3.181,5} = 2,12 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_s &= F_{tail} \cdot \frac{\sin(\alpha)}{A_{weld}} \\
&= 9.207,9 \cdot \frac{\sin(43,0)}{3.181,5} = 1,97 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tau_b &= M \cdot \frac{c}{I} \\
&= 3 \cdot \frac{F_{lug} \cdot \sin(\beta) \cdot Hght - F_{lug} \cdot \cos(\beta) \cdot a_1}{0,707 \cdot h_p \cdot L_p \cdot (3 \cdot W_p + L_p)} \\
&= 3 \cdot \frac{|9.207,9 \cdot \sin(43,0) \cdot 150 - 9.207,9 \cdot \cos(43,0) \cdot (0)|}{397687,5000} \\
&= 7,11 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\tau_{\text{ratio}} = \frac{\sqrt{(\tau_t + \tau_b)^2 + \tau_s^2}}{\tau_{\text{allowable}}} \leq 1$$

$$= \frac{\sqrt{(2,12 + 7,11)^2 + (1,97)^2}}{91,84}$$

$$= 0,10 \quad \text{Acceptable}$$

EN 13445 Lift Lug Procedure

Geometry Inputs - EN 13445	
Nominal Vessel Thickness, e_n	10 mm
Length of Lug, b_1	110 mm
Reinforcement Pad	
Thickness, e_2	10 mm
Width, b_2	75 mm
Length, b_3	150 mm

Intermediate Values - EN 13445	
Equivalent Diameter of Vessel at Lug, ID_{eq}	1.730 mm
Shell Allowable Stress, f	115 MPa
Pad Allowable Stress, f_2	137,76 MPa
Design Factor, K_2	1,2500

Summary Values - EN 13445	
Force on Vessel, F_r	13.265,3 N
Maximum Allowable Load, $F_{R\text{max}}$	40.334 N
Load Acceptance Ratio, $F_r / F_{R\text{max}}$	0,3289
Lug Design	Acceptable

Equivalent Inner Diameter

ID_{eq} = cylinder inner diameter

ID_{eq} = [1.730 mm](#)

Lug factors

λ = line load factor

$$\lambda = \frac{b}{\sqrt{ID_{\text{eq}} \cdot e_n}}$$

$$= \frac{150}{\sqrt{1.730 \cdot 10}}$$

$$= 1,140$$

ν_1 = ratio between local membrane stress and local bending stress

$$\nu_1 = \min(0,08 \cdot \lambda, 0,2)$$

$$= 0,091$$

σ_m = global membrane stress

$$\begin{aligned}\sigma_m &= P \cdot \frac{ID_{eq}}{2 \cdot e_n} \\ &= 0 \cdot \frac{1.730}{2 \cdot 10} \\ &= 0,0000 \text{ MPa}\end{aligned}$$

ν_2 = ratio between global membrane stress and allowable stress

$$\begin{aligned}\nu_2 &= \frac{\sigma_m}{K_2 \cdot f} \\ &= \frac{0}{1,2500 \cdot 115} \\ &= 0,0000\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_{13} &= \frac{1}{1.2 \cdot \sqrt{1 + 0.06 \cdot \lambda^2}} \\ &= \frac{1}{1.2 \cdot \sqrt{1 + 0.06 \cdot 1,1404^2}} \\ &= 0,8026\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_{14} &= \frac{1}{0.6 \cdot \sqrt{1 + 0.03 \cdot \lambda^2}} \\ &= \frac{1}{0.6 \cdot \sqrt{1 + 0.03 \cdot 1,1404^2}} \\ &= 1,6351\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_{15} &= \min \left(1 + 2.60 \cdot \left(\frac{ID_{eq}}{e_n} \right)^{0.30} \cdot \frac{b_2}{ID_{eq}}, 2.0 \right) \\ &= \min \left(1 + 2.6 \cdot \left(\frac{1.730}{10} \right)^{0.30} \cdot \frac{75}{1.730}, 2.0 \right)\end{aligned}$$

$$K_{15} = 1,5289$$

Bending Limit Stress

$$\begin{aligned}K_1 &= \frac{1 - \nu_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \nu_1 \cdot \nu_2 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \nu_1 \cdot \nu_2 \right)^2 + (1 - \nu_2^2) \cdot \nu_1^2}} \\ &= \frac{1 - 0,0000^2}{\left(\frac{1}{3} + 0,0912 \cdot 0,0000 \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + 0,0912 \cdot 0,0000 \right)^2 + (1 - 0,0000^2) \cdot 0,0912^2}} \\ &= 1,4729\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_b &= K_1 \cdot K_2 \cdot f \\
&= 1,4729 \cdot 1,2500 \cdot 115 \\
&= 211,73 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Maximum Allowable Load

$$\begin{aligned}
F_{Rmax} &= K_{15} \cdot \sigma_b \cdot \frac{e_n^2}{K_{13} \cdot |\cos(\beta)| + K_{14} \cdot \frac{|(a_2 + e_2 \cdot SR_{pad}) \cdot \sin(\beta) - a_1 \cdot \cos(\beta)|}{b_3}} \\
&= 1,5289 \cdot 211,73 \cdot \frac{(10)^2}{0,8026 \cdot |\cos(0)| + 1,6351 \cdot \frac{|(140 + 10 \cdot 1,0000) \cdot \sin(0) - 0 \cdot \cos(0)|}{150}} \\
&= \underline{40.334 \text{ N}}
\end{aligned}$$

Straight Flange on FI

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric				
Component		Cylinder		
Material		SA-240 316L (II-D Metric p. 72, ln. 34)		
Impact Tested	Normalized	Fine Grain Practice	PWHT	Maximize MDMT/ No MAWP
No	No	No	No	No
		Design Pressure (MPa)	Design Temperature (°C)	Design MDMT (°C)
Internal		0,4234	260	-10
Static Liquid Head				
Condition		P_s (MPa)	H_s (mm)	SG
Operating		0,0195	2.031,95	0,98
Test vertical		0,0252	2.570	1
Dimensions				
Outer Diameter		1.750 mm		
Length		30 mm		
Nominal Thickness		10 mm		
Corrosion	Inner	1,6 mm		
	Outer	0 mm		
Weight and Capacity				
		Weight (kg)	Capacity (liters)	
New		13,16	70,52	
Corroded		11,07	70,78	
Radiography				
Longitudinal seam		Eficiència de junta (E = 1)		
Top Circumferential seam		Eficiència de junta (E = 1)		

Results Summary	
Governing condition	Internal pressure
Minimum thickness per UG-16	1,5 mm + 1,6 mm = 3,1 mm
Design thickness due to internal pressure (t)	5,39 mm
Design thickness due to combined loadings + corrosion	3,5 mm
Maximum allowable working pressure (MAWP)	0,9634 MPa
Maximum allowable pressure (MAP)	1,3203 MPa
Rated MDMT	-196 °C

UHA-51 Material Toughness Requirements	
$t_r = \frac{0,8358 \cdot 875}{115 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,8358} =$	6,34 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{6,34 \cdot 1}{10 - 1,6} =$	0,7549
Stress ratio <i>longitud</i> = $al = \frac{43,14 \cdot 1}{115 \cdot 1} =$	0,3751
Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Design thickness, (at 260 °C) Appendix 1-1

$$t = \frac{P \cdot R_o}{S \cdot E + 0,40 \cdot P} + \text{Corrosion} = \frac{0,4429 \cdot 875}{102 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot 0,4429} + 1,6 = \underline{5,39} \text{ mm}$$

Maximum allowable working pressure, (at 260 °C) Appendix 1-1

$$P = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,40 \cdot t} - P_s = \frac{102 \cdot 1,00 \cdot 8,4}{875 - 0,40 \cdot 8,4} - 0,0195 = \underline{0,9634} \text{ MPa}$$

Maximum allowable pressure, (at 20 °C) Appendix 1-1

$$P = \frac{S \cdot E \cdot t}{R_o - 0,40 \cdot t} = \frac{115 \cdot 1,00 \cdot 10}{875 - 0,40 \cdot 10} = \underline{1,3203} \text{ MPa}$$

% Forming strain - UHA-44(a)(2)

$$EFE = \left(\frac{50 \cdot t}{R_f} \right) \cdot \left(1 - \frac{R_f}{R_o} \right) = \left(\frac{50 \cdot 10}{870} \right) \cdot \left(1 - \frac{870}{\infty} \right) = 0,5747\%$$

Thickness Required Due to Pressure + External Loads								
Condition	Allowable Stress Before UG-23 Stress Increase (MPa)		Temperature (°C)	Corrosion C (mm)	Load	Pressure P (MPa)	Req'd Thk Due to Tension (mm)	Req'd Thk Due to Compression (mm)
	S _t	S _c						
Operating, Hot & Corroded	102	41.27	260	1,6	Wind	1,9617	1,9	1,9
					Seismic	2,3522	1,6	1,57
Operating, Hot & New	102	42.61	260	0	Wind	2,3458	1,89	1,89
					Seismic	2,8131	1,6	1,57
Hot Shut Down, Corroded	102	41.27	260	1,6	Wind	0	0,1	0,1
					Seismic	0	0,1	0,08
Hot Shut Down, New	102	42.61	260	0	Wind	0	0,1	0,1
					Seismic	0	0,11	0,08
Empty, Corroded	115	65.92	21,11	1,6	Wind	0	0	0
					Seismic	0	0,01	0
Empty, New	115	68.11	21,11	0	Wind	0	0	0
					Seismic	0	0,01	0
Hot Shut Down, Corroded, Weight & Eccentric Moments Only	102	41.27	260	1,6	Wind	0	0,1	0,1
					Seismic	0	0	0

Allowable Compressive Stress, Hot and Corroded- S_{CHC}, (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/8,4} = 0,001200$$

$$B = 41,27 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{102}{1,00} = 102 \text{ MPa}$$

$$S_{CHC} = \min (B,S) = \underline{41,27 \text{ MPa}}$$

Allowable Compressive Stress, Hot and New- S_{CHN}, (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/10} = 0,001429$$

$$B = 42,61 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{102}{1,00} = 102 \text{ MPa}$$

$$S_{cHN} = \min (B,S) = \underline{42,61 \text{ MPa}}$$

Allowable Compressive Stress, Cold and New- S_{cCN} , (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/10} = 0,001429$$

$$B = 68,11 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{115}{1,00} = 115 \text{ MPa}$$

$$S_{cCN} = \min (B,S) = \underline{68,11 \text{ MPa}}$$

Allowable Compressive Stress, Cold and Corroded- S_{cCC} , (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/8,4} = 0,001200$$

$$B = 65,92 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{115}{1,00} = 115 \text{ MPa}$$

$$S_{cC} = \min (B,S) = \underline{65,92 \text{ MPa}}$$

Allowable Compressive Stress, Vacuum and Corroded- S_{cVC} , (table HA-4 Metric)

$$A = \frac{0,125}{R_o/t} = \frac{0,125}{875/8,4} = 0,001200$$

$$B = 41,27 \text{ MPa}$$

$$S = \frac{102}{1,00} = 102 \text{ MPa}$$

$$S_{cVC} = \min (B,S) = \underline{41,27 \text{ MPa}}$$

Operating, Hot & Corroded, Wind, Top Seam

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 866,6}{2 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,8 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{0}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-5.601,6}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,1 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,8 + 0 - (-0,1)$$

$$= \underline{1,9 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (-0,1) - (1,8)|$$

$$= \underline{1,9 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot (8,4 - 0 + (-0,1))}{866,6 - 0,40 \cdot (8,4 - 0 + (-0,1))}$$

$$= \underline{1,9617 \text{ MPa}}$$

Operating, Hot & New, Wind, Top Seam

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 865}{2 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,79 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{0}{\pi \cdot 870^2 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-5.622,9}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,1 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,79 + 0 - (-0,1)$$

$$= \underline{1.89 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (-0,1) - (1,79)|$$

$$= \underline{1.89 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot (10 - 0 + (-0,1))}{865 - 0,40 \cdot (10 - 0 + (-0,1))}$$

$$= 2,3458 \text{ MPa}$$

Hot Shut Down, Corroded, Wind, Top Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{0}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-5.601,6}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,1 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0 - (-0,1)$$

$$= \underline{0.1 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (-0,1) - (0)|$$

$$= \underline{0.1 \text{ mm}}$$

Hot Shut Down, New, Wind, Top Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{0}{\pi \cdot 870^2 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-5.622,9}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,1 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0 - (-0,1)$$

$$= \underline{0.1 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (-0,1) - (0)|$$

$$= \underline{0.1 \text{ mm}}$$

Empty, Corroded, Wind, Top Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{0}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 115 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-241,7}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 115 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0 - (0)$$

$$= \underline{0 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (0) - (0)|$$

$$= \underline{0 \text{ mm}}$$

Empty, New, Wind, Top Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{0}{\pi \cdot 870^2 \cdot 115 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-285,4}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 115 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0 - (0)$$

$$= \underline{0 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (0) - (0)|$$

$$= \underline{0 \text{ mm}}$$

Hot Shut Down, Corroded, Weight & Eccentric Moments Only, Top Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{0}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-5.601,6}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,00 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,1 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0 - (-0,1)$$

$$= \underline{0.1 \text{ mm}}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (-0,1) - (0)|$$

$$= \underline{0.1 \text{ mm}}$$

Operating, Hot & Corroded, Seismic, Top Seam

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 866,6}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,5 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{1.836,4}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot -5.601,6}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,1 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,5 + 0,01 - (-0,1)$$

$$= \underline{1,6 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-5.601,6}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,08 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,01 + (-0,08) - (1,5)|$$

$$= \underline{1,57 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (8,4 - 0,01 + (-0,1))}{866,6 - 0,40 \cdot (8,4 - 0,01 + (-0,1))}$$

$$= \underline{2,3522 \text{ MPa}}$$

Operating, Hot & New, Seismic, Top Seam

$$t_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c + 0,40 \cdot |P|} \quad (\text{Pressure})$$

$$= \frac{0,4234 \cdot 865}{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 + 0,40 \cdot |0,4234|}$$

$$= 1,5 \text{ mm}$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 1.916,5 \frac{\text{---}}{\pi \cdot 870^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot -5.622,9}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,1 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 1,5 + 0,01 - (-0,1)$$

$$= \underline{1.6 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-5.622,9}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,08 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,01 + (-0,08) - (1,5)|$$

$$= \underline{1,57 \text{ mm}}$$

Maximum allowable working pressure, Longitudinal Stress

$$P = \frac{2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c \cdot (t - t_m + t_w)}{R - 0,40 \cdot (t - t_m + t_w)}$$

$$= \frac{2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00 \cdot (10 - 0,01 + (-0,1))}{865 - 0,40 \cdot (10 - 0,01 + (-0,1))}$$

$$= 2,8131 \text{ MPa}$$

Hot Shut Down, Corroded, Seismic, Top Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{1.836,4}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot -5.601,6}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,1 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,01 - (-0,1)$$

$$= \underline{0,1 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-5.601,6}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,08 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,01 + (-0,08) - (0)|$$

$$= \underline{0,08 \text{ mm}}$$

Hot Shut Down, New, Seismic, Top Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 1.916,5 \frac{\quad}{\pi \cdot 870^2 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0,01 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot -5.622,9}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,1 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0,01 - (-0,1)$$

$$= \underline{0,11 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-5.622,9}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 102 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= -0,08 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0,01 + (-0,08) - (0)|$$

$$= \underline{0,08 \text{ mm}}$$

Empty, Corroded, Seismic, Top Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= \frac{492,7}{\pi \cdot 870,8^2 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot -241,7}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0 - (0)$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-241,7}{2 \cdot \pi \cdot 870,8 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (0) - (0)|$$

$$= \underline{0 \text{ mm}}$$

Empty, New, Seismic, Top Seam

$$t_p = 0 \text{ mm} \quad (\text{Pressure})$$

$$t_m = \frac{M}{\pi \cdot R_m^2 \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{bending})$$

$$= 580,3 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\pi \cdot 870^2 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10^3$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{(1 + V_{\text{Accel}}) \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{1,20 \cdot -285,4}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_t = t_p + t_m - t_w \quad (\text{total required, tensile})$$

$$= 0 + 0 - (0)$$

$$= \underline{0,01 \text{ mm}}$$

$$t_{wc} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot R_m \cdot S_t \cdot K_s \cdot E_c} \cdot \text{MetricFactor} \quad (\text{Weight})$$

$$= \frac{-285,4}{2 \cdot \pi \cdot 870 \cdot 115 \cdot 1,20 \cdot 1,00} \cdot 10$$

$$= 0 \text{ mm}$$

$$t_c = |t_{mc} + t_{wc} - t_{pc}| \quad (\text{total, net tensile})$$

$$= |0 + (0) - (0)|$$

$$= \underline{0 \text{ mm}}$$

ASME Section VIII Division 1 UG-80(a) Out-of-Roundness
$(D_{\max} - D_{\min})$ shall not exceed 1% of D
When the cross section passes through an opening or within 1 I.D. of the opening, $(D_{\max} - D_{\min})$ shall not exceed 1% of $D + 2\%$ of the inside diameter of the opening

FI

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric				
Component		F&D Head		
Material		SA-240 316L (II-D Metric p. 72, ln. 34)		
Attached To		Envolvent		
Impact Tested	Normalized	Fine Grain Practice	PWHT	Maximize MDMT/ No MAWP
No	No	No	No	No
		Design Pressure (MPa)	Design Temperature (°C)	Design MDMT (°C)
Internal		0,4234	260	-10
Static Liquid Head				
Condition	P_s (MPa)	H_s (mm)	SG	
Operating	0,0237	2.472,61	0,98	
Test vertical	0,0295	3.009,06	1	
Dimensions				
Outer Diameter		1.750 mm		
Crown Radius L		1.400 mm		
Knuckle Radius r		269,5 mm		
Minimum Thickness		10 mm		
Corrosion	Inner	1,6 mm		
	Outer	0 mm		
Length L_{sf}		30 mm		
Nominal Thickness t_{sf}		10 mm		
Weight and Capacity				
		Weight (kg)¹	Capacity (liters)¹	
New		275,62	748,54	
Corroded		232,03	754,03	
Radiography				
Category A joints		Eficiència de junta (E = 1)		
Head to shell seam		Eficiència de junta (E = 1)		

¹ includes straight flange

Results Summary	
Governing condition	internal pressure
Minimum thickness per UG-16	1,5 mm + 1,6 mm = 3,1 mm
Design thickness due to internal pressure (t)	5,67 mm
Maximum allowable working pressure (MAWP)	0,9027 MPa
Maximum allowable pressure (MAP)	1,2434 MPa
Rated MDMT	-196°C

UHA-51 Material Toughness Requirements	
$t_r = \frac{0,84 \cdot 1.410 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 0,84 \cdot (1 - 0,2)} =$	5,13 mm
$\text{Stress ratio} = \frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{5,13 \cdot 1}{10 - 1,6} =$	0,6113
Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Factor M		
	$M = \frac{1}{4} \cdot \left[3 + \left(\frac{L}{r} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$	
Corroded	$M = \frac{1}{4} \cdot \left[3 + \left(\frac{1.401,6}{271,1} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$	1,3184
New	$M = \frac{1}{4} \cdot \left[3 + \left(\frac{1.400}{269,5} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$	1,3198

Design thickness for internal pressure, (Corroded at 260 °C) Appendix 1-4(d)

$$t = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} + \text{Corrosion} = \frac{0,4471 \cdot 1.410 \cdot 1,3184}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,4471 \cdot (1,3184 - 0,2)} + 1,6 = 5,66 \text{ mm}$$

Maximum allowable working pressure, (Corroded at 260 °C) Appendix 1-4(d)

$$P = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{M \cdot L_o - t \cdot (M - 0,2)} - P_s = \frac{2 \cdot 102 \cdot 1 \cdot 8,4}{1,3184 \cdot 1.410 - 8,4 \cdot (1,3184 - 0,2)} - 0,0237 = 0,9027 \text{ MPa}$$

Maximum allowable pressure, (New at 20 °C) Appendix 1-4(d)

$$P = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot t}{M \cdot L_o - t \cdot (M - 0,2)} - P_s = \frac{2 \cdot 115 \cdot 1 \cdot 10}{1,3198 \cdot 1.410 - 10 \cdot (1,3198 - 0,2)} - 0 = 1,2434 \text{ MPa}$$

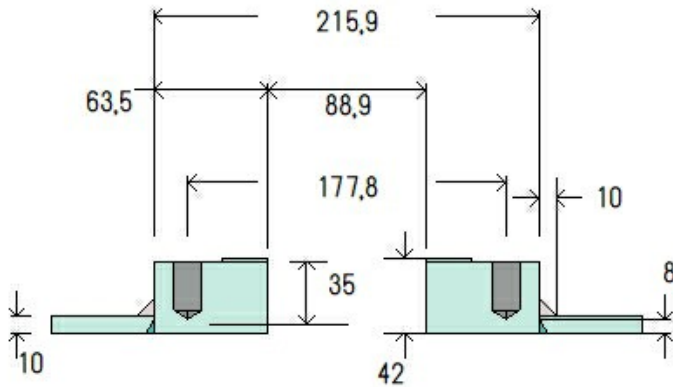
% Forming strain - UHA-44(a)(2)

$$EFE = \left(\frac{75 \cdot t}{R_f} \right) \cdot \left(1 - \frac{R_f}{R_o} \right) = \left(\frac{75 \cdot 10}{274,5} \right) \cdot \left(1 - \frac{274,5}{\infty} \right) = 2,7322 \%$$

ASME Section VIII Division 1 UG-81(a) Out-of-Roundness
Inside surface shall not deviate outside the shape by more than 1,25 % of D
Inside surface shall not deviate inside the shape by more than 0,625 % of D

N3 (N3)

ASME Section VIII Division 1, 2021 Edition Metric



Note: round inside edges per UG-76(c)

Note: Thread engagement shall comply with the requirements of UG-43(g).

Location and Orientation

Located on	FI
Orientation	0°
End of nozzle to datum line	-506,92 mm
Calculated as hillside	No
Distance to head center, R	0 mm
Passes through a Category A joint	No

Nozzle

Description	Studding Outlet Custom Size - Contoured
Access opening	No
Material specification	SA-312 TP316L Smls pipe (low stress) (II-D Metric p. 72, ln. 40)
Bolt material specification	SA-193 B7 Bolt ≤ 64 (II-D Metric p. 410, ln. 32)
Bolt rated MDMT	-48°C
Pad inner diameter	88,9 mm
Pad outer diameter, D_p	215,9 mm
Pad thickness	42 mm
Figure UG-40 thickness, t_e	30,48 mm
Tapped hole diameter	15,88 mm
Tapped hole depth	35 mm
Tapped hole bolt circle	177,8 mm
Raised face height	1,52 mm
Raised face outer diameter	139,7 mm
Corrosion allowance	1,6 mm
Projection available outside vessel, L_{pr}	30,48 mm
Local vessel minimum thickness	10 mm
Liquid static head included	0,024 MPa

Welds

Inner fillet, Leg_{41}	10 mm
Nozzle to vessel groove weld	8 mm

Radiography

Longitudinal seam	Seamless No RT
-------------------	----------------

UHA-51 Material Toughness Requirements Pad	
$t_r = \frac{0,8403 \cdot 1.410 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 0,8403 \cdot (1 - 0,2)} =$	5,14 mm
Stress ratio = $\frac{t_r \cdot E^*}{t_n - c} = \frac{5,14 \cdot 1}{10 - 1,6} =$	0,6115
Rated MDMT per UHA-51(d)(1)(a), (carbon content does not exceed 0,10%) = -196°C	
Bolts rated MDMT per Fig UCS-66 note (c) =	-48°C
Material is exempt from impact testing at the Design MDMT of -10°C.	

Reinforcement Calculations for Chamber MAWP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 0,84 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
12,8929	15,8359	1,5587	–	–	14,2772	–	8,76	63,5

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
139,949	145,627	914,398	223,928	288,952

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Pad to shell fillet (Leg ₄₁)	5,88	7	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	10,5	13,4	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	5,88	6,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 0,84 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [92,1, 46,05 + (0) + (10 - 1,6)] \\
 &= 92,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 1,6), 2,5 \cdot (0) + 30,48] \\
 &= 21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{0,8403 \cdot 1.410 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8403 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 5,79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{0,8403 \cdot 1.410 \cdot 1,3184}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 0,8403 \cdot (1,3184 - 0,2)} = 7,62 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: S_n = 75,3, S_v = 102, S_p = 75,3 MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) + \text{Tapped hole area loss} \\ &= (92,1 \cdot 5,79 \cdot 1 + 2 \cdot 61,9 \cdot 5,79 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 + 5,6854 \\ &= \underline{12,8929} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{1,5587} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (92,1 \cdot (1 \cdot 8,4 - 1 \cdot 5,79) - 2 \cdot 61,9 \cdot (1 \cdot 8,4 - 1 \cdot 5,79) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 1,5587 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (8,4 + 0) \cdot (1 \cdot 8,4 - 1 \cdot 5,79) - 2 \cdot 61,9 \cdot (1 \cdot 8,4 - 1 \cdot 5,79) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 0 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area A_2 is not included in these calculations.

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (0^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{0} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(Part of the weld is outside of the limits)

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - \text{Pad ID}) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\ &= ((184,2 - 92,1) \cdot 21 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{14,2772} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_{42} + A_5 \\ &= 1,5587 + 0 + 14,2772 \\ &= \underline{15,8359} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 8,4 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6 \text{ mm}, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{5,88} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot \text{Leg} = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(\text{actual})} = 6,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 13,4 \geq 1,25 \cdot t_{\min} = \underline{10,5}$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{0,8404 \cdot 46,05}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 0,8404} + 1,6 \\ &= 2,12 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [2,12, 0] \\ &= 2,12 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 9,22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [9,22, 3,1] \\ &= 9,22 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [8,76, 9,22] \\ &= 8,76 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [2,12, 8,76] \\ &= \underline{8,76} \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 63,5$ mm

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48$ MPa

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71$ MPa

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897$ MPa

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 215,9 \cdot 10 \cdot 36,897 = 125.130,63 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 154 \cdot 61,9 \cdot 52,71 = 789.267,68 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 215,9 \cdot 6,4 \cdot 75,48 = 163.821,49 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (1.289,2869 - 155,8707 + 2 \cdot 61,9 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 8,4 - 1 \cdot 5,79)) \cdot 102 \\ &= \underline{139.948,72} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (0 + 1.427,7186 + 0 + 0) \cdot 102 \\ &= \underline{145.627,32} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_5 + A_3 + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (1.427,7186 + 0 + 0 + 0 + 2 \cdot 61,9 \cdot 8,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\ &= \underline{223.927,7} \text{ N} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 139.948,72 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $125.130,63 + 789.267,68 = \underline{914.398,31} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 139.948,72 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $125.130,63 + 163.821,49 = \underline{288.952,12} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for MAWP

Available reinforcement per UG-37 governs the MAWP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)		
For P = 1,07 MPa @ 260 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45		
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}	
14,8821	14,8823	0,6052	-	-	14,2772	-	8,76	63,5	

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
155,072	145,627	914,398	223,928	288,952

UW-16 Weld Sizing Summary			
Weld description	Required weld size (mm)	Actual weld size (mm)	Status
Pad to shell fillet (Leg ₄₁)	5,88	7	weld size is adequate
Combined weld check (t ₁ + t ₂)	10,5	13,4	weld size is adequate
Nozzle to shell groove (Lower)	5,88	6,4	weld size is adequate

Calculations for internal pressure 1,07 MPa @ 260 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [92,1, 46,05 + (0) + (10 - 1,6)] \\
 &= 92,1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 1,6), 2,5 \cdot (0) + 30,48] \\
 &= 21 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,0732 \cdot 1.410 \cdot 1}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,0732 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 7,39 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,0732 \cdot 1.410 \cdot 1,3184}{2 \cdot 102 \cdot 1 + 1,0732 \cdot (1,3184 - 0,2)} = 9,72 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: $S_n = 75,3$, $S_v = 102$, $S_p = 75,3$ MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 0,7382$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 0,7382$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) + \text{Tapped hole area loss} \\ &= (92,1 \cdot 7,39 \cdot 1 + 2 \cdot 61,9 \cdot 7,39 \cdot 1 \cdot (1 - 0,7382))/100 + 5,6854 \\ &= \underline{14.8821} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{0.6052} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (92,1 \cdot (1 \cdot 8,4 - 1 \cdot 7,39) - 2 \cdot 61,9 \cdot (1 \cdot 8,4 - 1 \cdot 7,39) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 0,6052 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (8,4 + 0) \cdot (1 \cdot 8,4 - 1 \cdot 7,39) - 2 \cdot 61,9 \cdot (1 \cdot 8,4 - 1 \cdot 7,39) \cdot (1 - 0,7382))/100 \\ &= 0 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area A_2 is not included in these calculations.

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (0^2 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{0} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(Part of the weld is outside of the limits)

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - \text{Pad ID}) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\ &= ((184,2 - 92,1) \cdot 21 \cdot 0,7382)/100 \\ &= \underline{14.2772} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_{42} + A_5 \\ &= 0,6052 + 0 + 14,2772 \\ &= \underline{14.8823} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UW-16(d) Weld Check

$$t_{\min} = \min [19 \text{ mm}, t_n, t] = 8,4 \text{ mm}$$

$$t_{1(\min)} \text{ or } t_{2(\min)} = \min [6mm, 0,7 \cdot t_{\min}] = \underline{5.88} \text{ mm}$$

$$t_{1(\text{actual})} = 0,7 \cdot Leg = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ mm}$$

The weld size t_1 is satisfactory.

$$t_{2(actual)} = 6,4 \text{ mm}$$

The weld size t_2 is satisfactory.

$$t_1 + t_2 = 13,4 \geq 1,25 \cdot t_{min} = 10,5$$

The combined weld sizes for t_1 and t_2 are satisfactory.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,0732 \cdot 46,05}{75,3 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,0732} + 1,6 \\ &= 2,26 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [2,26, 0] \\ &= 2,26 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{b1} = 11,32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{b1} &= \max [t_{b1}, t_{bUG16}] \\ &= \max [11,32, 3,1] \\ &= 11,32 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{b1}] \\ &= \min [8,76, 11,32] \\ &= 8,76 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [2,26, 8,76] \\ &= 8,76 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 63,5 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 102 = 75,48 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 75,3 = 52,71 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 75,3 = 36,897 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 215,9 \cdot 10 \cdot 36,897 = 125.130,63 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 154 \cdot 61,9 \cdot 52,71 = 789.267,68 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 215,9 \cdot 6,4 \cdot 75,48 = 163.821,49 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned} W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\ &= (1.488,2129 - 60,516 + 2 \cdot 61,9 \cdot 0,7382 \cdot (1 \cdot 8,4 - 1 \cdot 7,39)) \cdot 102 \\ &= \underline{155.072,45} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\ &= (0 + 1.427,7186 + 0 + 0) \cdot 102 \\ &= \underline{145.627,32} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2-2} &= (A_5 + A_3 + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\ &= (1.427,7186 + 0 + 0 + 0 + 2 \cdot 61,9 \cdot 8,4 \cdot 0,7382) \cdot 102 \\ &= \underline{223.927,7} \text{ N} \end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 145.627,32 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $125.130,63 + 789.267,68 = \underline{914.398,31} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W_{1-1} so it is acceptable per UG-41(b)(1).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 155.072,45 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $125.130,63 + 163.821,49 = \underline{288.952,12} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Reinforcement Calculations for Chamber MAP

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,12 MPa @ 20 °C							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
This nozzle is exempt from area calculations per UG-36(c)(3)(a)							7,16	63,5

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary
The nozzle is exempt from weld strength calculations per UW-15(b)(2)

Calculations for internal pressure 1,12 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [88,9, 44,45 + (0) + (10 - 0)] \\
 &= 88,9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 0), 2,5 \cdot (0) + 30,48] \\
 &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 1.410 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 6,85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,1223 \cdot 1.410 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,1223 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 9,03 \text{ mm}$$

This opening does not require reinforcement per UG-36(c)(3)(a)

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned}
 t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\
 &= \frac{1,1223 \cdot 44,45}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,1223} + 0 \\
 &= 0,44 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\ &= \max [0,44, 0] \\ &= 0,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$t_{bl} = 9,03 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{bUG16}] \\ &= \max [9,03, 1,5] \\ &= 9,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_b &= \min [t_{b3}, t_{bl}] \\ &= \min [7,16, 9,03] \\ &= 7,16 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\ &= \max [0,44, 7,16] \\ &= 7,16 \text{ mm} \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 63,5 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Reinforcement Calculations for MAP

The vessel wall thickness governs the MAP of this nozzle.

UG-37 Area Calculation Summary (cm ²)							UG-45 Summary (mm)	
For P = 1,64 MPa @ 20 °C The opening is adequately reinforced							The nozzle passes UG-45	
A required	A available	A ₁	A ₂	A ₃	A ₅	A welds	t _{req}	t _{min}
13,5769	22,225	-	-	-	22,225	-	7,16	63,5

UG-41 Weld Failure Path Analysis Summary (N)				
All failure paths are stronger than the applicable weld loads				
Weld load W	Weld load W ₁₋₁	Path 1-1 strength	Weld load W ₂₋₂	Path 2-2 strength
156.135	255.588	1.414.801	401.638	421.986

Calculations for internal pressure 1,64 MPa @ 20 °C

Parallel Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_R &= \max [d, R_n + (t_n - C_n) + (t - C)] \\
 &= \max [88,9, 44,45 + (0) + (10 - 0)] \\
 &= 88,9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Outer Normal Limit of reinforcement per UG-40

$$\begin{aligned}
 L_H &= \min [2,5 \cdot (t - C), 2,5 \cdot (t_n - C_n) + t_e] \\
 &= \min [2,5 \cdot (10 - 0), 2,5 \cdot (0) + 30,48] \\
 &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r from UG-37(a)(a)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} \\
 &= \frac{1,6405 \cdot 1.410 \cdot 1}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,6405 \cdot (1 - 0,2)} \\
 &= 10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Required thickness t_r per Interpretation VIII-1-07-50

$$t_r = \frac{P \cdot L_o \cdot M}{2 \cdot S \cdot E + P \cdot (M - 0,2)} = \frac{1,6405 \cdot 1.410 \cdot 1,3198}{2 \cdot 115 \cdot 1 + 1,6405 \cdot (1,3198 - 0,2)} = 13,17 \text{ mm}$$

Area required per UG-37(c)

Allowable stresses: S_n = 115, S_v = 115, S_p = 115 MPa

$$f_{r1} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r2} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_n}{S_v} = 1$$

$$f_{r4} = \text{lesser of } 1 \text{ or } \frac{S_p}{S_v} = 1$$

$$\begin{aligned} A &= d \cdot t_r \cdot F + 2 \cdot t_n \cdot t_r \cdot F \cdot (1 - f_{r1}) + \text{Tapped hole area loss} \\ &= (88,9 \cdot 10 \cdot 1 + 2 \cdot 63,5 \cdot 10 \cdot 1 \cdot (1 - 1))/100 + 4,6869 \\ &= \underline{13,5769} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area available from FIG. UG-37.1

$$A_1 = \text{larger of the following} = \underline{0} \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} &= d \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (88,9 \cdot (1 \cdot 10 - 1 \cdot 10) - 2 \cdot 63,5 \cdot (1 \cdot 10 - 1 \cdot 10) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 0 \text{ cm}^2 \\ &= 2 \cdot (t + t_n) \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) - 2 \cdot t_n \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r) \cdot (1 - f_{r1}) \\ &= (2 \cdot (10 + 0) \cdot (1 \cdot 10 - 1 \cdot 10) - 2 \cdot 63,5 \cdot (1 \cdot 10 - 1 \cdot 10) \cdot (1 - 1))/100 \\ &= 0 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Area A_2 is not included in these calculations.

$$\begin{aligned} A_{42} &= Leg^2 \cdot f_{r4} \\ &= (0^2 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{0} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

(Part of the weld is outside of the limits)

$$\begin{aligned} A_5 &= (D_p - \text{Pad ID}) \cdot t_e \cdot f_{r4} \\ &= ((177,8 - 88,9) \cdot 25 \cdot 1)/100 \\ &= \underline{22,225} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Area &= A_1 + A_{42} + A_5 \\ &= 0 + 0 + 22,225 \\ &= \underline{22,225} \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

As Area \geq A the reinforcement is adequate.

UG-45 Nozzle Neck Thickness Check

Interpretation VIII-1-83-66 has been applied.

$$\begin{aligned} t_{aUG-27} &= \frac{P \cdot R_n}{S_n \cdot E - 0,6 \cdot P} + \text{Corrosion} \\ &= \frac{1,6405 \cdot 44,45}{115 \cdot 1 - 0,6 \cdot 1,6405} + 0 \\ &= 0,64 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= \max [t_{aUG-27}, t_{aUG-22}] \\
 &= \max [0,64, 0] \\
 &= 0,64 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$t_{bl} = 13,17 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 t_{bl} &= \max [t_{bl}, t_{bUG16}] \\
 &= \max [13,17, 1,5] \\
 &= 13,17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_b &= \min [t_{b3}, t_{bl}] \\
 &= \min [7,16, 13,17] \\
 &= 7,16 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{UG-45} &= \max [t_a, t_b] \\
 &= \max [0,64, 7,16] \\
 &= \underline{7.16} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Available nozzle wall thickness new, $t_n = 63,5 \text{ mm}$

The nozzle neck thickness is adequate.

Allowable stresses in joints UG-45 and UW-15(c)

Groove weld in tension: $0,74 \cdot 115 = 85,1 \text{ MPa}$

Nozzle wall in shear: $0,7 \cdot 115 = 80,5 \text{ MPa}$

Inner fillet weld in shear: $0,49 \cdot 115 = 56,35 \text{ MPa}$

Strength of welded joints:

(1) Inner fillet weld in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot \text{Leg} \cdot S_i = \frac{\pi}{2} \cdot 215,9 \cdot 10 \cdot 56,35 = 191.102,56 \text{ N}$$

(3) Nozzle wall in shear

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Mean nozzle dia} \cdot t_n \cdot S_n = \frac{\pi}{2} \cdot 152,4 \cdot 63,5 \cdot 80,5 = 1.223.698,71 \text{ N}$$

(4) Groove weld in tension

$$\frac{\pi}{2} \cdot \text{Nozzle OD} \cdot t_w \cdot S_g = \frac{\pi}{2} \cdot 215,9 \cdot 8 \cdot 85,1 = 230.883,09 \text{ N}$$

Loading on welds per UG-41(b)(1)

$$\begin{aligned}
 W &= (A - A_1 + 2 \cdot t_n \cdot f_{r1} \cdot (E_1 \cdot t - F \cdot t_r)) \cdot S_v \\
 &= (1.357,6917 - 0 + 2 \cdot 63,5 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 10 - 1 \cdot 10)) \cdot 115 \\
 &= \underline{156.134,86} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{1-1} &= (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) \cdot S_v \\
 &= (0 + 2.222,5 + 0 + 0) \cdot 115 \\
 &= \underline{255.587,53} \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{2-2} &= (A_5 + A_3 + A_{42} + A_{43} + 2 \cdot t_n \cdot t \cdot f_{r1}) \cdot S_v \\
&= (2.222,5 + 0 + 0 + 0 + 2 \cdot 63,5 \cdot 10 \cdot 1) \cdot 115 \\
&= \underline{401.637,55} \text{ N}
\end{aligned}$$

Load for path 1-1 lesser of W or $W_{1-1} = 156.134,86 \text{ N}$

Path 1-1 through (1) & (3) = $191.102,56 + 1.223.698,71 = \underline{1.414.801,27} \text{ N}$

Path 1-1 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

Load for path 2-2 lesser of W or $W_{2-2} = 156.134,86 \text{ N}$

Path 2-2 through (1), (4) = $191.102,56 + 230.883,09 = \underline{421.985,64} \text{ N}$

Path 2-2 is stronger than W so it is acceptable per UG-41(b)(2).

E. JUSTIFICACIÓ DEL COMPLIMENT DE LES NORMATIVES ESPECÍFIQUES

E.1 Normativa vigent

L'objectiu d'aquest apartat de l'annex consisteix en realitzar un breu resum de les normatives aplicables i destacar-ne aquells punts més importants i que afecten amb gran mesura al disseny d'un equip a pressió.

En el present projecte, la principal normativa aplicable és aquella referent al reglament de disseny, seguretat i comercialització d'equips a pressió dins la Unió Europea, la Directiva 2014/68/UE. Aquesta normativa estableix les pautes d'obligat compliment per tal de poder homologar l'equip a pressió, que per al cas d'Espanya, correspon al Reial Decret 709/2015.

Derivat de la normativa europea i espanyola de recipients a pressió, s'aplica també al present projecte l'Ordre IUE/470/2009, del 30 d'octubre, la qual regula l'aplicació del Reglament d'equips a pressió a Catalunya. Cal considerar aquesta normativa, ja que l'equip serà instal·lat dins el territori català, concretament al Camp de Tarragona.

Per altra banda, donat que el reactor incorpora un agitador i el respectiu motor elèctric, s'ha inclòs la normativa referent a la seguretat de màquines (Directiva 2006/42/CE). Tot i això, l'esmentada normativa només es té en compte per a la legalització del reactor en el seu conjunt, doncs el disseny, càlcul i instal·lació de l'agitador no entra dins l'abast d'aquest projecte (responsabilitat del fabricant i subministrador de l'agitador).

De la mateixa manera, s'ha contemplat la Directiva 2014/34/UE referent als aparells i sistemes de protecció per a ús en atmosferes potencialment explosives (ATEX). L'esmentada Directiva es té en compte per a la legalització de l'equip, doncs s'exclouen de l'abast del projecte els aparells elèctrics i d'instrumentació als quals s'aplica la normativa.

A més, tot i no ser considerat una normativa estipulada per una Directiva Europea o un Reial Decret, cal tenir en compte també els requisits imposats pel mateix promotor del projecte. Aquests condicionants s'han de complir per tal que l'equip pugui funcionar correctament, segons les necessitats del client i del procés productiu.

E.2 Compliment de la normativa vigent

Tal com s'ha comentat a l'apartat anterior, la principal normativa que aplica a la realització del present projecte és la Directiva 2014/68/UE. Aquesta es divideix en un total de 52 articles i 6 annexes, tots ells d'obligat compliment.

Per al present projecte, s'ha considerat principalment la normativa referent a la fase de disseny de l'equip, estipulada a l'annex I (Requisits essencials de seguretat), apartat 2 (Disseny). Els principals punts normatius que es determinen són els següents:

6. Els equips a pressió es dissenyaran correctament tenint en compte tots els factors pertinents per garantir la seguretat de l'equip durant tota la seva vida útil.
7. El disseny inclourà coeficients adequats de seguretat que es basaran en mètodes generals dels que es tingui constància que utilitzen marges de seguretat pertinents per a prevenir de manera coherent tot tipus de fallades.
8. Els equips a pressió es dissenyaran per a resistir les càrregues corresponents a l'ús previst, així com per altres condicions de funcionament raonablement previsibles. En particular, es consideraran els següents factors.
 - La pressió interna i externa.
 - La temperatura ambient i la temperatura de funcionament.
 - La pressió estàtica i la massa del contingut en condicions de funcionament i assaig.
 - Les càrregues degudes al vent i al sisme.
 - Les forces i moments de reacció derivats dels suports, dispositius de muntatge, canonades, etc.
 - La corrosió i la erosió, la fatiga, etc.
9. L'avaluació final dels equips a pressió inclourà un assaig de resistència a la pressió, el qual consistirà en un assaig de pressió hidroestàtica.

El valor de pressió de la prova hidràulica serà, com a mínim, igual al més elevat dels dos valors següents:

- La pressió corresponent a la càrrega màxima a la que es pot sotmetre l'equip en servei, tenint en compte la seva pressió màxima admissible i la seva temperatura màxima admissible, multiplicada per un coeficient de 1,25.
 - La pressió màxima admissible multiplicada per un coeficient de 1,43.
10. L'equip a pressió es sotmetrà a una inspecció final per avaluar visualment i mitjançant examen dels documents el compliment dels requisits de la present



Directiva. En la mesura que sigui necessari per motius de seguretat, la inspecció final es realitzarà a l'interior i a l'exterior de totes les parts de l'equip, en el seu cas, durant el transcurs del procés de fabricació.

F. PROGRAMACIÓ TEMPORAL (GANTT)

Per tal de dur a terme la programació de l'execució del present projecte, s'han plasmat les diverses tasques i activitats a realitzar en un diagrama de Gantt. S'ha escollit aquest mètode de planificació i programació de projectes, el qual és el més utilitzat entre les empreses del sector de l'enginyeria, ja que permet visualitzar d'un cop d'ull totes les activitats del projecte, la seva duració, la seqüència i relacions entre les altres tasques (sèrie o paral·lel). A més, es mostra el calendari general del projecte, per la qual cosa s'identifiquen més fàcilment les dates d'entrega al client.

El projecte s'ha dividit en sis fases principals, les quals cada una d'elles conformen un conjunt d'activitats. Les fases i les respectives tasques s'exposen a continuació:

7. Sol·licitud del projecte. El client sol·licita la realització del projecte a l'empresa FLUOR Plant Engineering, S.A en data 10 de desembre del 2021.
8. Disseny/Enginyeria. És la fase de disseny del projecte.
 - Plànols i documents de càlcul en revisió 00.
 - Comentaris de la documentació entregada per part del client.
 - Plànols i documents de càlcul definitius en revisió 01.
9. Recepció de materials. Es rep la matèria prima i els diferents elements normalitzats sol·licitats als proveïdors de materials.
 - Xapa d'acer inoxidable (ASME SA-240 316L).
 - Fons superior i inferior conformats.
 - Brides de connexió.
 - Cargolam i juntes.
10. Fabricació. El procés de fabricació de l'equip és dut a terme per una empresa externa. Comporta les següents activitats:
 - Prefabricació (conformat de xapa, preparació de les tubuladures, etc.).
 - Fabricació de l'agitador.
 - Assemblatge de les tubuladures del fons superior i soldatge.
 - Assemblatge de les tubuladures del fons inferior i soldatge.

- Fabricació i assemblatge de les principals seccions: envoltent, fons inferior i tubuladures.
- Assemblatge de les tubuladures de l'envoltent i soldatge.
- Assemblatge del fons superior i soldatge.
- Resta de tasques: suports i elements d'hissat.
- Test (prova hidràulica) i inspecció de l'equip.
- Tractament superficial de les diverses parts.
- Assemblatge de l'agitador i test de prova.

11. Expedició. Una vegada finalitzada la fabricació de l'equip, aquest es prepara per ser entregat al client.

- Preparació de l'entrega.
- Inspecció final de l'equip.
- Transport.

12. Entrega. Finalment, l'equip és entregat al client en data 30 de juny del 2022.

Així doncs, a mode de resum, el present projecte ha representat una durada total de sis mesos i mig, aproximadament, tenint en compte totes les fases que comporta: disseny, fabricació i entrega de l'equip al client. Les dates més significatives, d'inici i finalització del projecte han estat les següents:

- Inici del projecte: 10 de desembre del 2021.
- Finalització del projecte i entrega de l'equip: 30 de juny del 2022.

Per tal d'ampliar la informació de la programació temporal, es pot consultar la següent pàgina, en la qual es presenta el diagrama de Gantt complet. En aquest document es determinen les dates d'inici i finalització de cada una de les activitats, la durada total de cada una de les sis fases principals i la data d'entrega al client, la qual cal respectar.



PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS - PROGRAMACIÓ TEMPORAL



G. ANNEX DE JUSTIFICACIÓ DE PREUS

En aquest apartat dels annexes es realitza la justificació de preus del projecte del disseny i la fabricació del reactor R-2000. Per dur a terme aquesta justificació, s'han considerat els preus mitjans del mercat actual.

Els documents que s'han creat es descriuen breument a continuació:

- Preus bàsics: llistat del conjunt de preus bàsics referents a materials, maquinària i mà d'obra.
 - Preus bàsics de materials: llistat dels materials adquirits.
 - Preus bàsics de maquinària: llistat del cost horari de la maquinària empleada durant la fabricació de l'equip.
 - Preus bàsics de mà d'obra: llistat del cost horari del operaris empleats en la fabricació i el muntatge de l'equip.
- Quadre de descompostos: descomposició de les partides en materials, maquinària i mà d'obra. D'aquests es determinen la quantitat, el preu unitari i l'import total.

MATERIALS (PRESSUPOST)

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT UT.	PREU/UT.	IMPORT
01.01.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=15 mm	1.059,750 kg	8,20	8.689,95
01.01.02	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=10 mm	800,000 kg	8,20	6.560,00
01.02.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=12 mm	0,330 kg	8,20	2,71
01.02.02	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=15 mm	4,700 kg	8,20	38,54
01.02.03	Pescant d'acer inoxidable ASME SA-479 316L d40 x 863 mm	8,520 kg	10,60	90,31
01.02.04	Ansa d'acer inoxidable ASME SA-479 316L d16 x 267 mm	0,420 kg	10,60	4,45
01.02.05	Casquet d'acer inoxidable ASME SA-240 316L d70/42 x 25 mm	0,484 kg	12,20	5,90
01.03.01	Tub ASME B36.19 NPS 1 Sch80S	0,520 m	24,50	12,74
01.03.02	Tub ASME B36.19 NPS 2 Sch40S	1,420 m	23,20	32,94
01.03.03	Tub ASME B36.19 NPS 3 Sch40S	1,250 m	23,80	29,75
01.03.04	Tub ASME B36.19 NPS 4 Sch40S	0,420 m	22,70	9,53
01.03.05	Tub ASME B36.19 NPS 20 Sch40S	0,300 m	36,80	11,04
01.04.01	Brida ASME B16.5 WN NPS 1 Class 150	1,000 u	32,00	32,00
01.04.02	Brida ASME B16.5 WN NPS 2 Class 150	6,000 u	34,00	204,00
01.04.03	Brida ASME B16.5 Blind NPS 2 Class 150	1,000 u	30,00	30,00
01.04.04	Brida ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150	5,000 u	35,00	175,00
01.04.05	Brida ASME B16.5 Blind NPS 3 Class 150	2,000 u	32,00	64,00
01.04.06	Brida ASME B16.5 WN NPS 4 Class 150	1,000 u	36,00	36,00
01.04.07	Brida ASME B16.5 Blind NPS 20 Class 150	1,000 u	86,50	86,50
01.04.08	Brida ASME B16.5 Slip-On NPS 20 Class 150	1,000 u	52,30	52,30
01.05.01	Brida DIN 28137 DN 400	1,000 u	482,65	482,65
01.06.01	Junta ASME B16.20 NPS 2 Grafit + SS304	1,000 u	38,00	38,00
01.06.02	Junta ASME B16.20 NPS 3 Grafit + SS304	2,000 u	42,00	84,00
01.06.03	Junta ASME B16.20 NPS 20 Grafit + SS304	1,000 u	62,40	62,40
01.07.01	Cargol hexagonal M16 x 80 mm - 8.8 DIN 933	1,000 u	0,71	0,71
01.07.02	Espàrrec M16 x 100 mm - 8.8 DIN 976	20,000 u	0,86	17,20
01.07.03	Espàrrec M24 x 150 mm - 8.8 DIN 976	20,000 u	1,18	23,60
01.07.04	Volandera M16 - 8.8 DIN 125	40,000 u	0,36	14,40
01.07.05	Volandera M24 - 8.8 DIN 125	40,000 u	0,43	17,20
01.07.06	Femella hexagonal M16 - 8.8 DIN 934	41,000 u	0,62	25,42
01.07.07	Femella hexagonal M24 - 8.8 DIN 934	40,000 u	0,78	31,20
01.07.08	Femella de càncam M20 - 8.8 DIN 582	1,000 u	1,24	1,24
01.07.09	Cargol d'ull M20 x 280 mm - 8.8 DIN 444	1,000 u	8,42	8,42
01.07.10	Passador d'aletes d8 x 45 mm - 8.8 DIN 94	1,000 u	0,18	0,18
02.01.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=10 mm	821,760 kg	8,20	6.738,43
02.02.01	Tub ASME B36.19 NPS 1 Sch80S	0,600 m	24,50	14,70
02.02.02	Tub ASME B36.19 NPS 1 1/2 Sch40S	0,250 m	23,20	5,80
02.02.03	Tub ASME B36.19 NPS 3 Sch40S	0,200 m	23,80	4,76
02.03.01	Brida ASME B16.5 WN NPS 1 Class 150	1,000 u	32,00	32,00
02.03.02	Brida ASME B16.5 WN NPS 1 1/2 Class 150	1,000 u	34,00	34,00
02.03.03	Brida ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150	1,000 u	35,00	35,00
02.04.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=8 mm	73,280 kg	8,20	600,90
02.04.02	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=12 mm	79,120 kg	8,20	648,78
02.04.03	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=25 mm	92,760 kg	8,20	760,63
02.05.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=15 mm	26,840 kg	8,20	220,09
02.06.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=15 mm	4,280 kg	8,20	35,10
02.07.01	Cargol hexagonal M16 x 50 mm - 8.8 DIN 933	24,000 u	0,71	17,04
02.07.02	Femella hexagonal M16 - 8.8 DIN 934	24,000 u	0,62	14,88
03.01.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=10 mm	958,730 kg	8,20	7.861,59
03.02.01	Brida DIN 28117 DN 200	1,000 u	322,14	322,14
04.01.01	Tub ASME B36.19 NPS 2 Sch40S	4,680 m	22,30	104,36
04.01.02	Tub ASME B36.19 NPS 3 Sch40S	0,200 m	24,20	4,84
04.02.01	Brida ASME B16.5 WN NPS 2 Class 150	2,000 u	34,00	68,00
04.02.02	Brida ASME B16.5 Slip-On NPS 2 Class 150	8,000 u	34,00	272,00
04.02.03	Brida ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150	2,000 u	35,00	70,00
04.02.04	Brida ASME B16.5 Blind NPS 3 Class 150	2,000 u	32,00	64,00
04.03.01	Cargol hexagonal M16 x 40 mm - 8.8 DIN 933	32,000 u	0,68	21,76
04.03.02	Cargol hexagonal M6 x 20 mm - 8.8 DIN 933	4,000 u	0,43	1,72
04.03.03	Espàrrec M16 x 100 mm - 8.8 DIN 976	32,000 u	0,86	27,52
04.03.04	Femella hexagonal M16 - 8.8 DIN 934	96,000 u	0,62	59,52
04.03.05	Volandera M16 - 8.8 DIN 125	64,000 u	0,36	23,04
04.04.01	Junta ASME B16.20 NPS 3 Grafit + SS304	2,000 u	42,00	84,00
04.05.01	Junta ASME B16.20 NPS 2 PTFE	6,000 u	36,00	216,00
05.02.01	Elements elèctrics	1,000 u	12.500,00	12.500,00
06.02.01	Elements de control	1,000 u	14.000,00	14.000,00

TOTAL..... 61.836,88

MAQUINÀRIA (PRESSUPOST)

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT UT.	PREU/UT.	IMPORT
07.01.03	Equip de soldadura	129,000 h	32,50	4.192,50
07.02.03	Corbadora	18,000 h	32,80	590,40
08.02.01	Camió tràiler de 24 tones de càrrega i 330 kW	6,000 h	99,00	594,00
TOTAL.....				5.376,90

MÀ D'OBRA (PRESSUPOST)

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT UT.	PREU/UT.	IMPORT
05.01.01	Oficial 1a Electricista	75,000 h	28,10	2.107,50
06.01.01	Oficial 1a Instrumentació	120,000 h	28,10	3.372,00
07.01.01	Oficial 1a Calderer	187,000 h	26,00	4.862,00
07.01.02	Oficial 1a Soldador	129,000 h	27,64	3.565,56
TOTAL.....				13.907,06

QUADRE DE DESCOMPOSATS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT UT	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
CAPÍTOL 01 FONS SUPERIOR					
01.01	Fons Korbogen I.D. 1730 x 15 mm Thk.				
01.01.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=15 mm	1.059,750 kg	8,20	8.689,95	
01.01.02	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=10 mm	800,000 kg	8,20	6.560,00	
TOTAL PARTIDA					15.249,95
01.02	Boca d'home DIN 28124-3				
01.02.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=12 mm	0,330 kg	8,20	2,71	
01.02.02	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=15 mm	4,700 kg	8,20	38,54	
01.02.03	Pescant d'acer inoxidable ASME SA-479 316L d40 x 863 mm	8,520 kg	10,60	90,31	
01.02.04	Ansa d'acer inoxidable ASME SA-479 316L d16 x 267 mm	0,420 kg	10,60	4,45	
01.02.05	Casquet d'acer inoxidable ASME SA-240 316L d70/42 x 25 mm	0,484 kg	12,20	5,90	
TOTAL PARTIDA					141,91
01.03	Canonades ASME B36.19				
01.03.01	Tub ASME B36.19 NPS 1 Sch80S	0,520 m	24,50	12,74	
01.03.02	Tub ASME B36.19 NPS 2 Sch40S	1,420 m	23,20	32,94	
01.03.03	Tub ASME B36.19 NPS 3 Sch40S	1,250 m	23,80	29,75	
01.03.04	Tub ASME B36.19 NPS 4 Sch40S	0,420 m	22,70	9,53	
01.03.05	Tub ASME B36.19 NPS 20 Sch40S	0,300 m	36,80	11,04	
TOTAL PARTIDA					96,00
01.04	Brides ASME B16.5				
01.04.01	Brida ASME B16.5 WN NPS 1 Class 150	1,000 u	32,00	32,00	
01.04.02	Brida ASME B16.5 WN NPS 2 Class 150	6,000 u	34,00	204,00	
01.04.03	Brida ASME B16.5 Blind NPS 2 Class 150	1,000 u	30,00	30,00	
01.04.04	Brida ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150	5,000 u	35,00	175,00	
01.04.05	Brida ASME B16.5 Blind NPS 3 Class 150	2,000 u	32,00	64,00	
01.04.06	Brida ASME B16.5 WN NPS 4 Class 150	1,000 u	36,00	36,00	
01.04.07	Brida ASME B16.5 Blind NPS 20 Class 150	1,000 u	86,50	86,50	
01.04.08	Brida ASME B16.5 Slip-On NPS 20 Class 150	1,000 u	52,30	52,30	
TOTAL PARTIDA					679,80
01.05	Brides DIN 28137				
01.05.01	Brida DIN 28137 DN 400	1,000 u	482,65	482,65	
TOTAL PARTIDA					482,65
01.06	Juntes ASME B16.20				
01.06.01	Junta ASME B16.20 NPS 2 Grafit + SS304	1,000 u	38,00	38,00	
01.06.02	Junta ASME B16.20 NPS 3 Grafit + SS304	2,000 u	42,00	84,00	
01.06.03	Junta ASME B16.20 NPS 20 Grafit + SS304	1,000 u	62,40	62,40	
TOTAL PARTIDA					184,40
01.07	Cargolam				
01.07.01	Cargol hexagonal M16 x 80 mm - 8.8 DIN 933	1,000 u	0,71	0,71	
01.07.02	Espàrrec M16 x 100 mm - 8.8 DIN 976	20,000 u	0,86	17,20	
01.07.03	Espàrrec M24 x 150 mm - 8.8 DIN 976	20,000 u	1,18	23,60	
01.07.04	Volandera M16 - 8.8 DIN 125	40,000 u	0,36	14,40	
01.07.05	Volandera M24 - 8.8 DIN 125	40,000 u	0,43	17,20	
01.07.06	Femella hexagonal M16 - 8.8 DIN 934	41,000 u	0,62	25,42	
01.07.07	Femella hexagonal M24 - 8.8 DIN 934	40,000 u	0,78	31,20	
01.07.08	Femella de càncam M20 - 8.8 DIN 582	1,000 u	1,24	1,24	
01.07.09	Cargol d'uill M20 x 280 mm - 8.8 DIN 444	1,000 u	8,42	8,42	
01.07.10	Passador d'aletes d8 x 45 mm - 8.8 DIN 94	1,000 u	0,18	0,18	
TOTAL PARTIDA					139,57

QUADRE DE DESCOMPOSATS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT UT	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
CAPÍTOL 02 ENVOLVENT					
02.01	Envolvent I.D. 1730 x 10 mm Thk.				
02.01.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=10 mm	821,760 kg	8,20	6.738,43	
TOTAL PARTIDA					6.738,43
02.02	Canonades ASME B36.19				
02.02.01	Tub ASME B36.19 NPS 1 Sch80S	0,600 m	24,50	14,70	
02.02.02	Tub ASME B36.19 NPS 1 1/2 Sch40S	0,250 m	23,20	5,80	
02.02.03	Tub ASME B36.19 NPS 3 Sch40S	0,200 m	23,80	4,76	
TOTAL PARTIDA					25,26
02.03	Brides ASME B16.5				
02.03.01	Brida ASME B16.5 WN NPS 1 Class 150	1,000 u	32,00	32,00	
02.03.02	Brida ASME B16.5 WN NPS 1 1/2 Class 150	1,000 u	34,00	34,00	
02.03.03	Brida ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150	1,000 u	35,00	35,00	
TOTAL PARTIDA					101,00
02.04	Suports laterals DIN 28083				
02.04.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=8 mm	18,320 kg	8,20	150,22	
02.04.02	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=12 mm	19,780 kg	8,20	162,20	
02.04.03	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=25 mm	23,190 kg	8,20	190,16	
TOTAL PARTIDA					502,58
02.05	Orelletes d'hissat				
02.05.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=15 mm	13,420 kg	8,20	110,04	
TOTAL PARTIDA					110,04
02.06	Orelleta de retinguda				
02.06.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=15 mm	4,280 kg	8,20	35,10	
TOTAL PARTIDA					35,10
02.07	Cargolam				
02.07.01	Cargol hexagonal M16 x 50 mm - 8.8 DIN 933	24,000 u	0,71	17,04	
02.07.02	Femella hexagonal M16 - 8.8 DIN 934	24,000 u	0,62	14,88	
TOTAL PARTIDA					31,92

QUADRE DE DESCOMPOSATS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT UT	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
CAPÍTOL 03 FONS INFERIOR					
03.01	Fons Korbogen I.D. 1730 x 10 Thk.	u			
03.01.01	Xapa d'acer inoxidable ASME SA-240 316L e=10 mm	958,730 kg	8,20	7.861,59	
TOTAL PARTIDA					7.861,59
03.02	Brides DIN 28117	u			
03.02.01	Brida DIN 28117 DN 200	1,000 u	322,14	322,14	
TOTAL PARTIDA					322,14

QUADRE DE DESCOMPOSATS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT UT	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
CAPÍTOL 04 ELEMENTS INTERNS					
04.01	Canonades ASME B36.19				
		u			
04.01.01	Tub ASME B36.19 NPS 2 Sch40S	4,680 m	22,30	104,36	
04.01.02	Tub ASME B36.19 NPS 3 Sch40S	0,200 m	24,20	4,84	
TOTAL PARTIDA					109,20
04.02	Brides ASME B16.5				
		u			
04.02.01	Brida ASME B16.5 WN NPS 2 Class 150	2,000 u	34,00	68,00	
04.02.02	Brida ASME B16.5 Slip-On NPS 2 Class 150	8,000 u	34,00	272,00	
04.02.03	Brida ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150	2,000 u	35,00	70,00	
04.02.04	Brida ASME B16.5 Blind NPS 3 Class 150	2,000 u	32,00	64,00	
TOTAL PARTIDA					474,00
04.03	Cargolam				
		u			
04.03.01	Cargol hexagonal M16 x 40 mm - 8.8 DIN 933	32,000 u	0,68	21,76	
04.03.02	Cargol hexagonal M6 x 20 mm - 8.8 DIN 933	4,000 u	0,43	1,72	
04.03.03	Espàrrec M16 x 100 mm - 8.8 DIN 976	32,000 u	0,86	27,52	
04.03.04	Femella hexagonal M16 - 8.8 DIN 934	96,000 u	0,62	59,52	
04.03.05	Volandera M16 - 8.8 DIN 125	64,000 u	0,36	23,04	
TOTAL PARTIDA					133,56
04.04	Juntes ASME B16.20				
		u			
04.04.01	Junta ASME B16.20 NPS 3 Grafit + SS304	2,000 u	42,00	84,00	
TOTAL PARTIDA					84,00
04.05	Juntes ASME B16.21				
		u			
04.05.01	Junta ASME B16.20 NPS 2 PTFE	6,000 u	36,00	216,00	
TOTAL PARTIDA					216,00

QUADRE DE DESCOMPOSATS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT UT	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
CAPÍTOL 05 ELECTRICITAT					
05.01	Mà d'obra d'electricitat				
05.01.01	Oficial 1a Electricista	75,000 h	28,10	2.107,50	
					2.107,50
05.02	Materials d'electricitat				
05.02.01	Elements elèctrics	1,000 u	12.500,00	12.500,00	
					12.500,00

QUADRE DE DESCOMPOSATS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT UT	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
CAPÍTOL 06 INSTRUMENTACIÓ					
06.01	Mà d'obra d'instrumentació				
06.01.01	Oficial 1a Instrumentació	120,000 h	28,10	3.372,00	
TOTAL PARTIDA					3.372,00
06.02	Materials d'instrumentació				
06.02.01	Elements de control	1,000 u	14.000,00	14.000,00	
TOTAL PARTIDA					14.000,00

QUADRE DE DESCOMPOSATS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT UT	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
CAPÍTOL 07 FABRICACIÓ I MUNTATGE					
07.01	Assemblatge del Fons Superior				
		u			
07.01.01	Oficial 1a Calderer	50,000 h	26,00	1.300,00	
07.01.02	Oficial 1a Soldador	35,000 h	27,64	967,40	
07.01.03	Equip de soldadura	35,000 h	32,50	1.137,50	
					TOTAL PARTIDA
					3.404,90
07.02	Assemblatge de l'envolvent				
		u			
07.01.01	Oficial 1a Calderer	35,000 h	26,00	910,00	
07.01.02	Oficial 1a Soldador	20,000 h	27,64	552,80	
07.01.03	Equip de soldadura	20,000 h	32,50	650,00	
07.02.03	Corbadora	18,000 h	32,80	590,40	
					TOTAL PARTIDA
					2.703,20
07.03	Assemblatge del Fons Inferior				
		u			
07.01.01	Oficial 1a Calderer	40,000 h	26,00	1.040,00	
07.01.02	Oficial 1a Soldador	32,000 h	27,64	884,48	
07.01.03	Equip de soldadura	32,000 h	32,50	1.040,00	
					TOTAL PARTIDA
					2.964,48
07.04	Assemblatge dels suports laterals				
		u			
07.01.01	Oficial 1a Calderer	28,000 h	26,00	728,00	
07.01.02	Oficial 1a Soldador	17,000 h	27,64	469,88	
07.01.03	Equip de soldadura	17,000 h	32,50	552,50	
					TOTAL PARTIDA
					1.750,38
07.05	Assemblatge dels elements d'hissat				
		u			
07.01.01	Oficial 1a Calderer	34,000 h	26,00	884,00	
07.01.02	Oficial 1a Soldador	25,000 h	27,64	691,00	
07.01.03	Equip de soldadura	25,000 h	32,50	812,50	
					TOTAL PARTIDA
					2.387,50

Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB
AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS**

Document 4: PLÀNOLS

Autor: Adrià Bustamante Garriga

Director: Javier Díaz Gutiérrez

Tutor: Diego Ramos Romero

Data: Setembre 2022



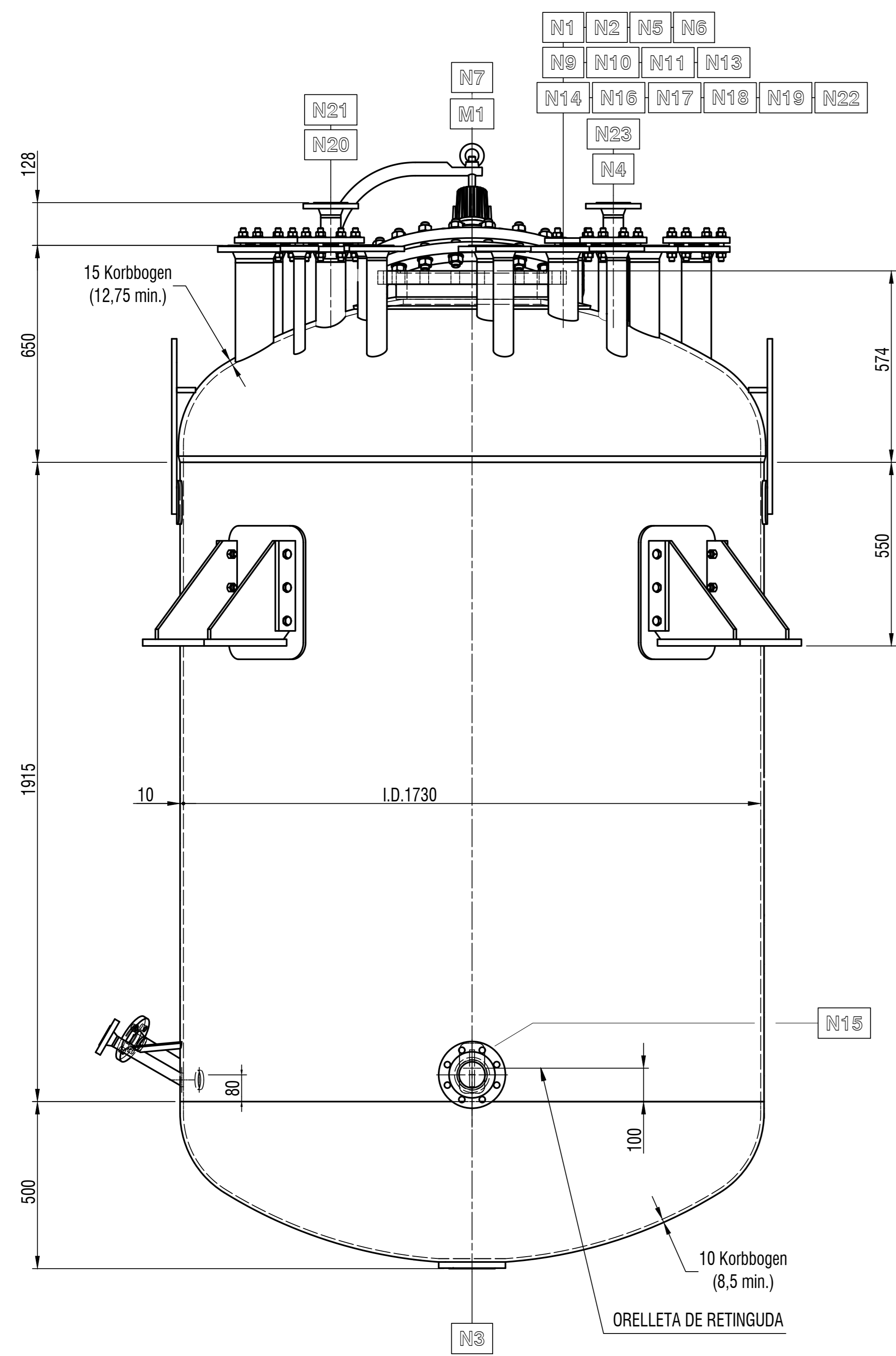
**UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI**

etsEQ

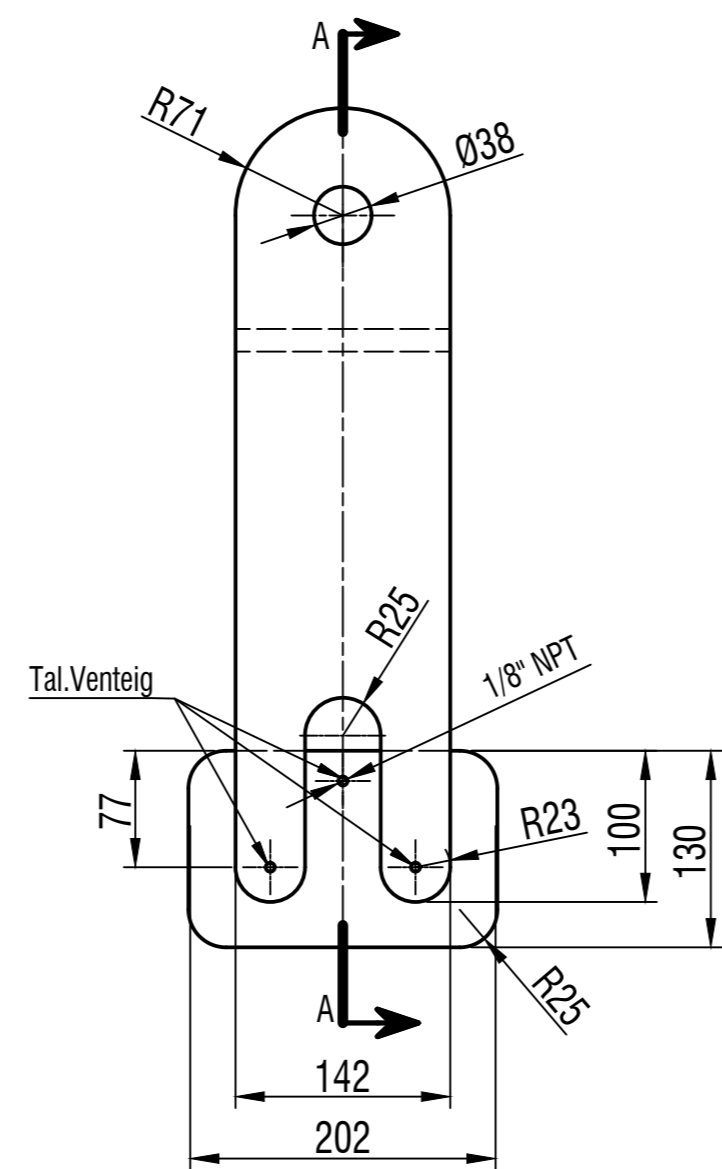
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

ÍNDEX PLÀNOLS

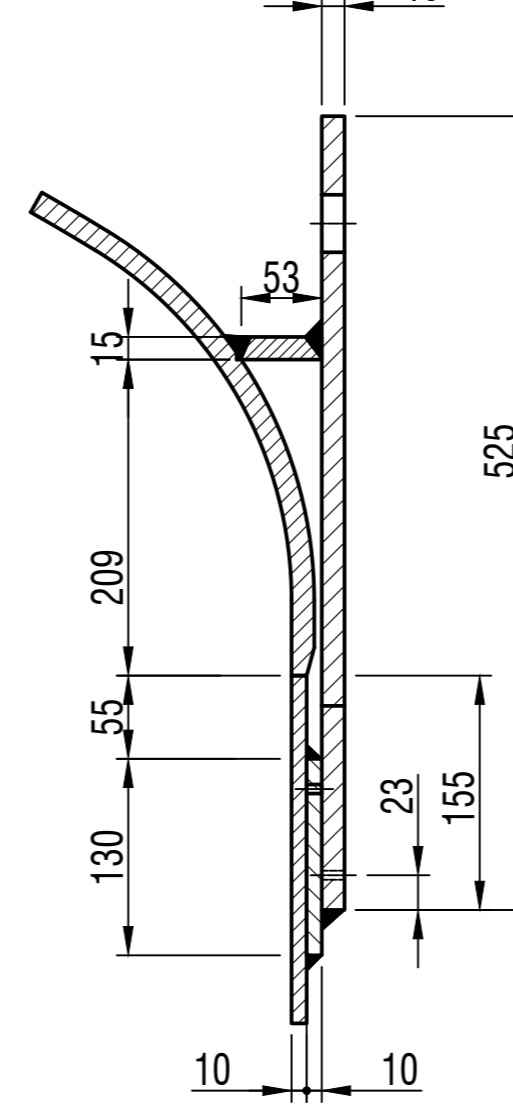
DOCUMENT 4. PLÀNOLS.....	2
1 FL001 – ASSEMBLATGE GENERAL.....	2
2 FL002 – FONS SUPERIOR.....	3
3 FL003 – ENVOLVENT	4
4 FL004 – FONS INFERIOR.....	5
5 FL005 – ELEMENTS INTERNS	6
6 FL006 – BOCA D’HOME.....	7



ORELLETES D'HISSAT (ESCALA 1:5)



SECCIÓ A-A

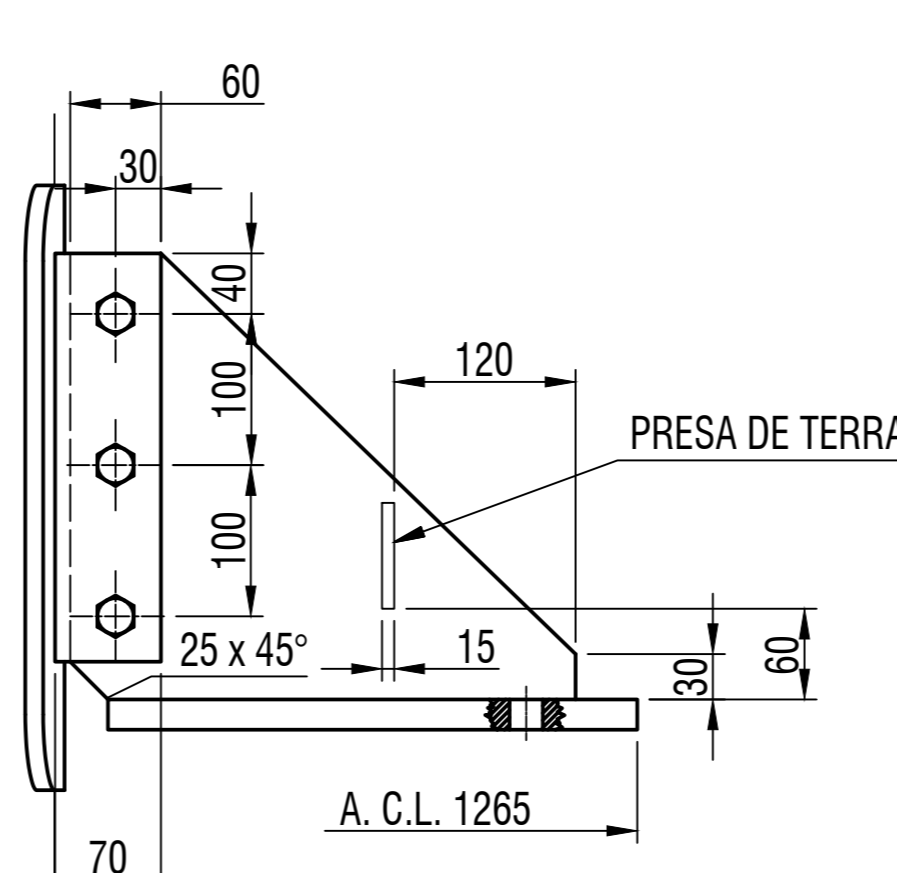
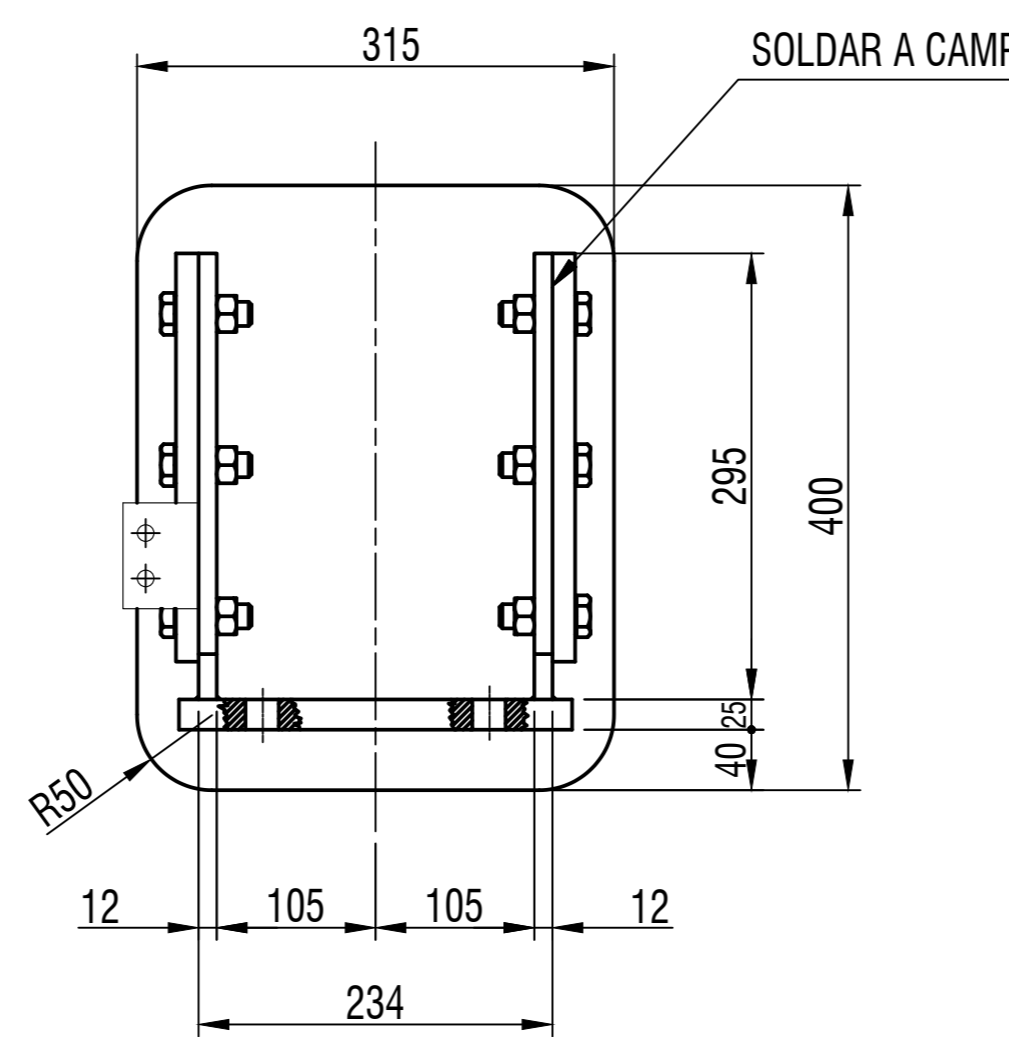


NOTES GENERALS / GENERAL NOTES

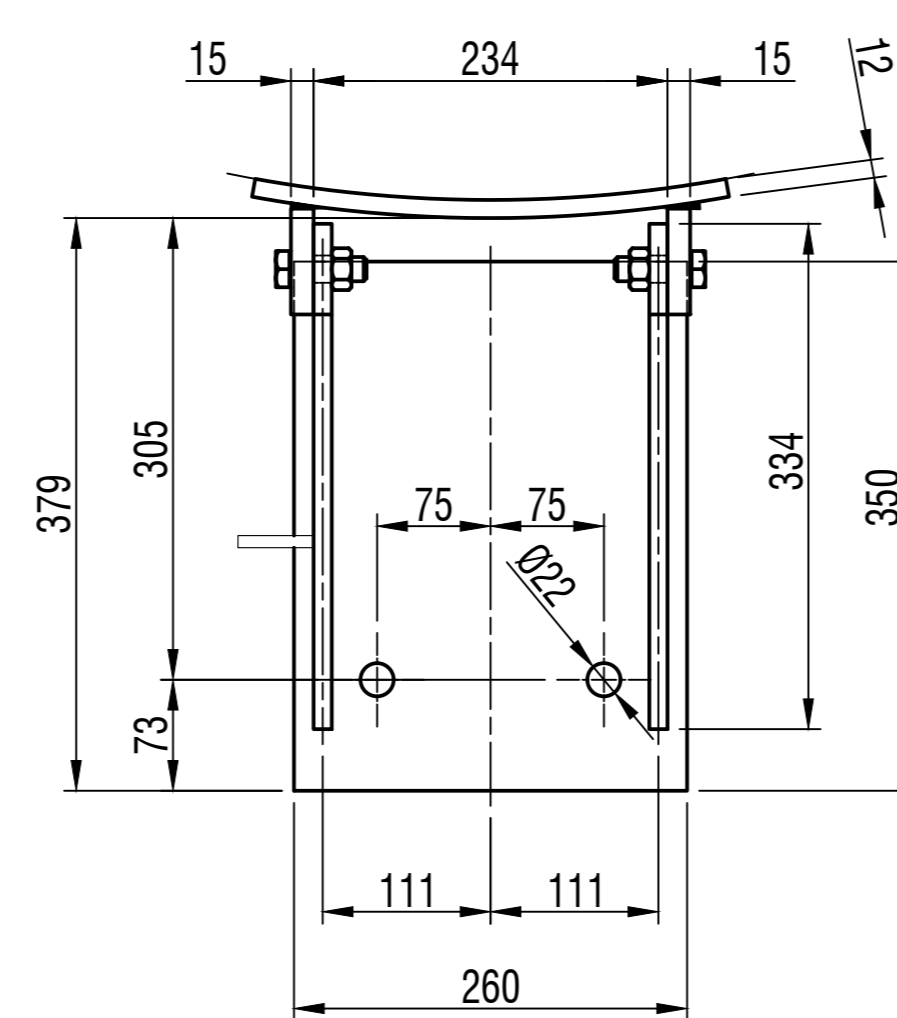
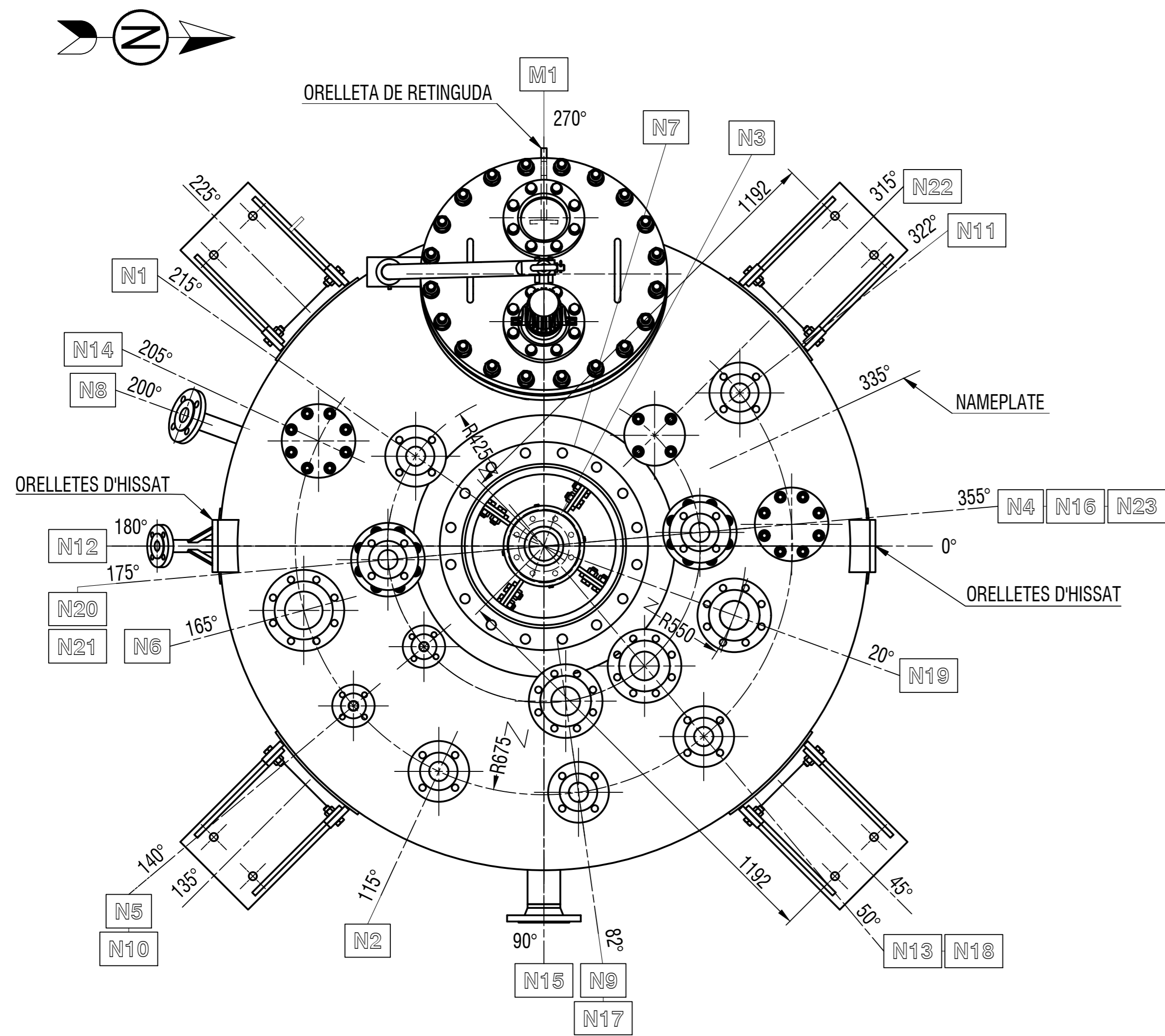
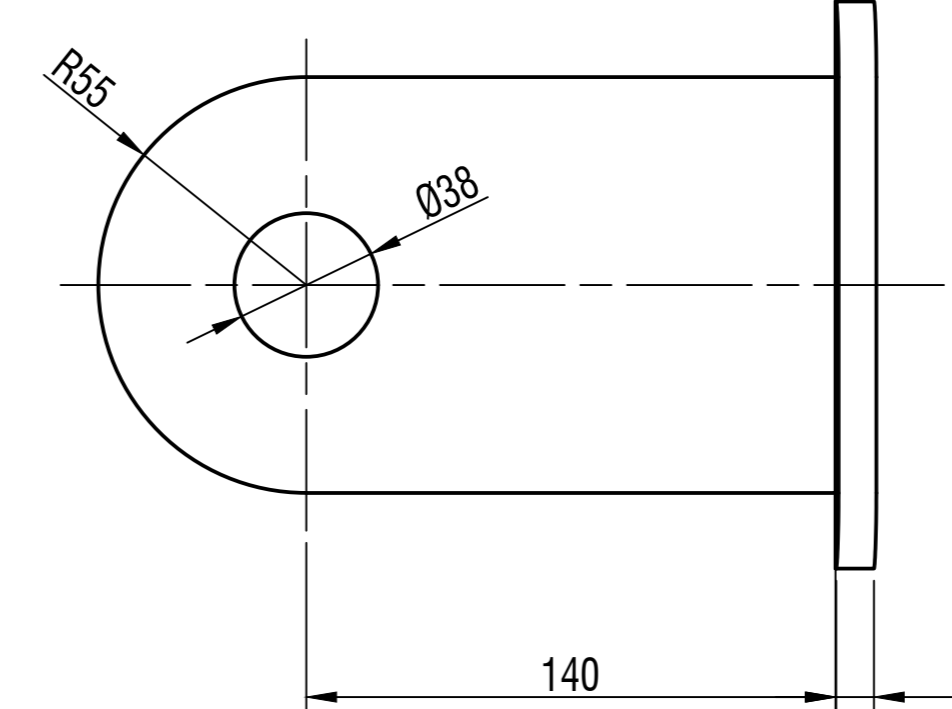
- Forats de brides orientats fora dels eixos principals (N-S i H-V). Bolt holes shall straddle North-South and Horizontal-Vertical line.
- Orientacions segons vista en planta. Orientations as per plant view.
- Totes les dimensions en mm. All dimensions are in mm.
- Si no s'especifica el contrari, les soldadures en angle seran de 0.7 vegades el gruix mínim. Unless otherwise specified, fillet welds will be 0.7 times the minimum thickness.
- Acabat cara de brides: Ra = 3.2 a 6.3 µm. Flange face finish: Ra = 3.2 to 6.3 µm.
- Acabat superficial exterior: Decapat i passivat. External surface finishing: Pickling and passivated.
- Acabat superficial interior: Decapat i passivat. Projectió interna enrasada amb l'interior. Internal surface finishing: Pickling and passivated. Internal projection flush with the interior.
- Toleràncies de fabricació segons codi de disseny. Manufacturing tolerances as per design code.
- Les xapes de reforç han de tenir un forat de venteig a la seva part més baixa. Reinforcing plates must be provided with one tell-tale hole in its lower part.
- Per al transport, les connexions obertes aniran protegides amb tapa de plàstic. For transport, open nozzles will be protected with a plastic cover.
- Les projeccions de les connexions a l'envolvent són des de la línia central de l'equip a la cara de la junta. Shell nozzle projections are from the centerline of the vessel to nozzle gasket face.
- Les soldadures es realitzaran segons els WPS/PQR aprovats. All weld works shall be performed as per approved WPS/PQR.

CARACTERÍSTIQUES TÈCNiques / TECHNICAL CHARACTERISTICS		
RECINTE / ENCLOSURE	CILINDRE / SHELL	
PRESSIÓ DISSENY / DESIGN PRESSURE	4	bar(g)
TEMPERATURA DISSENY / DESIGN TEMPERATURE	-10 / 260	°C
PRESSIÓ TREBALL / WORKING PRESSURE	1,7	bar(g)
TEMPERATURA TREBALL / WORKING TEMPERATURE	66	°C
PRESSIÓ PROVA / TEST PRESSURE	VERTICAL	8
	HORIZONTAL	8
EFICIÈNCIA DE JUNTA / JOINT EFFICIENCY	Fons: 1 Cilindre: 0.85	
TRACTAMENT TÈRMIC / HEAT TREATMENT	NO	
CORROSIÓ ADMISSIBLE / CORROSION ALLOWANCE	1,6	mm
CAPACITAT / CAPACITY	6050	l
NATURALESA DEL PRODUCTE / FLUID CONTENT	PRODUCTES ORGÀNICES	
DENSITAT O PES ESPECÍFIC / DENSITY OR SPECIFIC GRAVITY	980	kg/m ³
CATEGORIA PED / MÓDUL / PED CATEGORY / MODULE	IV / H1	
PES EN BUIT / EMPTY WEIGHT	2600	kg (sense agitador)
PES EN OPERACIÓ / OPERATING WEIGHT	8340	kg (sense agitador)
PES PLE D'AIGUA / FULL OF WATER WEIGHT	8850	kg (sense agitador)
CODI DE DISSENY / DESIGN CODE	ASME Secció VIII Div. 1	
INSPECCIONAT PER / INSPECTED BY:	FLUOR Plant Engineering, S.A.	

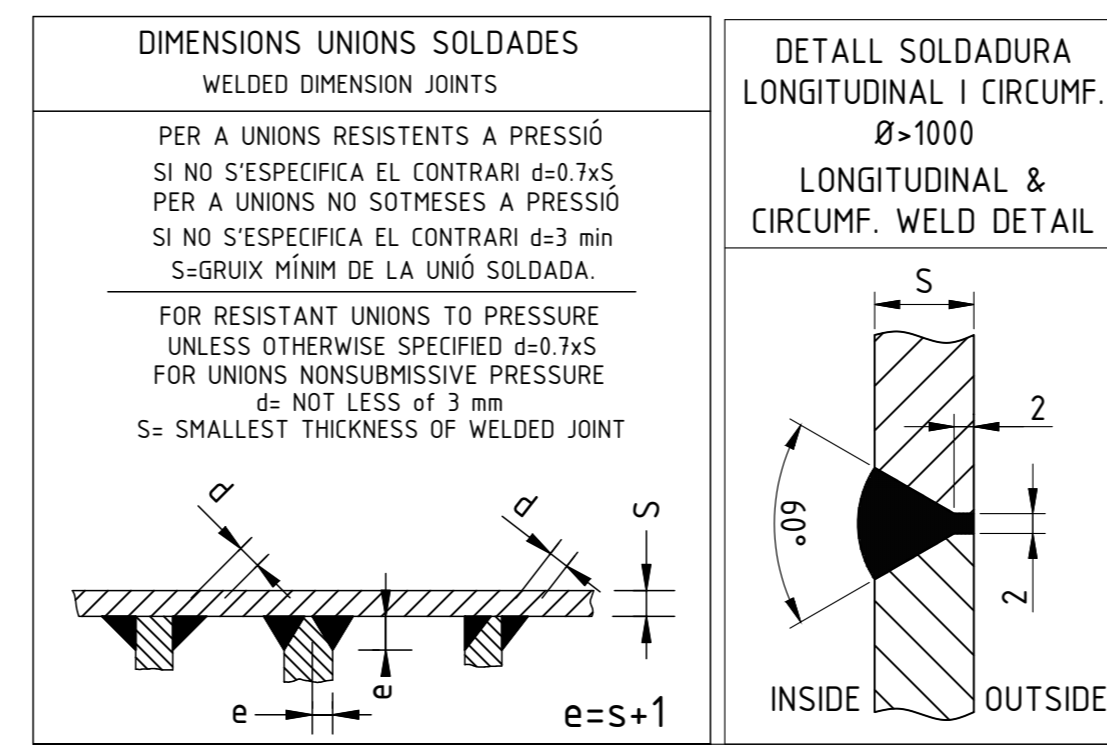
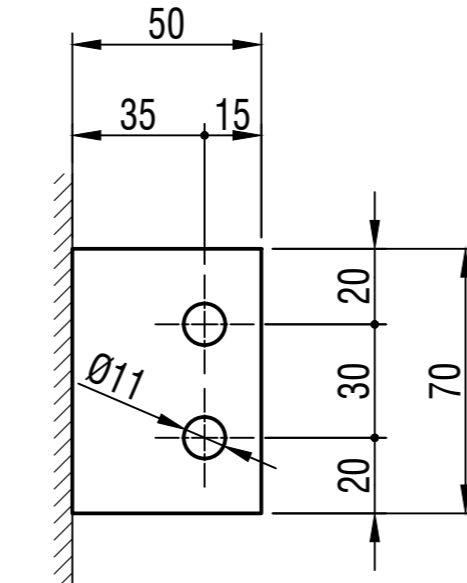
SUPORTS (ESCALA 1:5)



ORELLETA DE RETINGUDA (ESCALA 1:2)



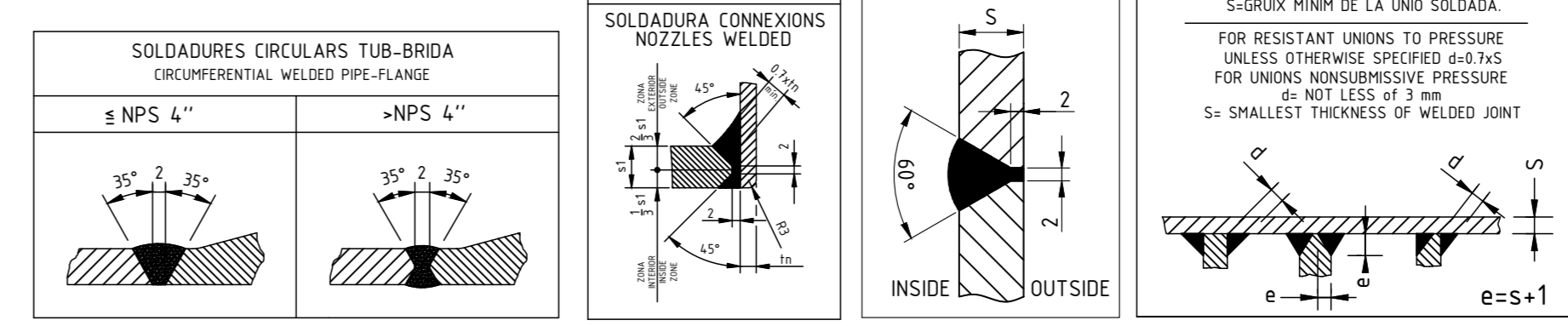
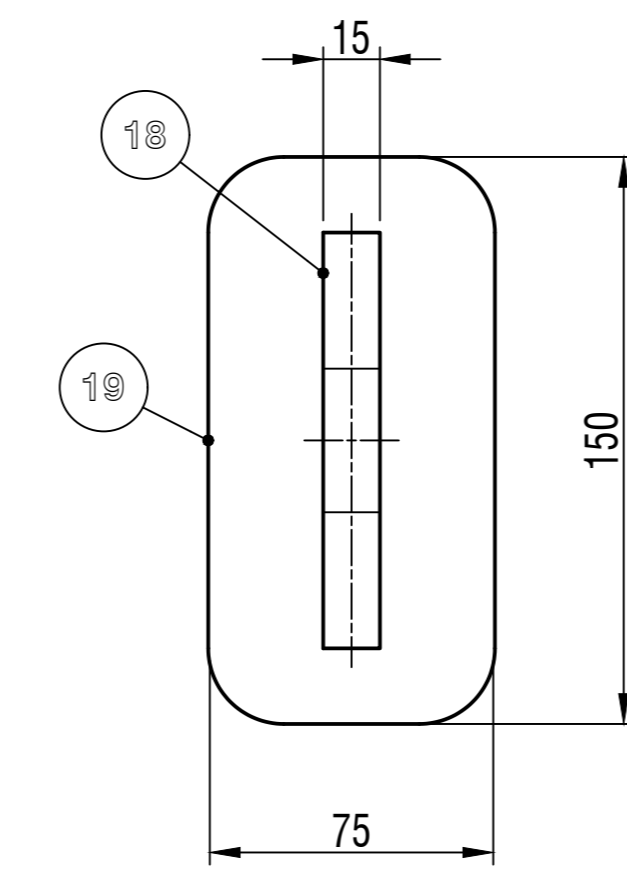
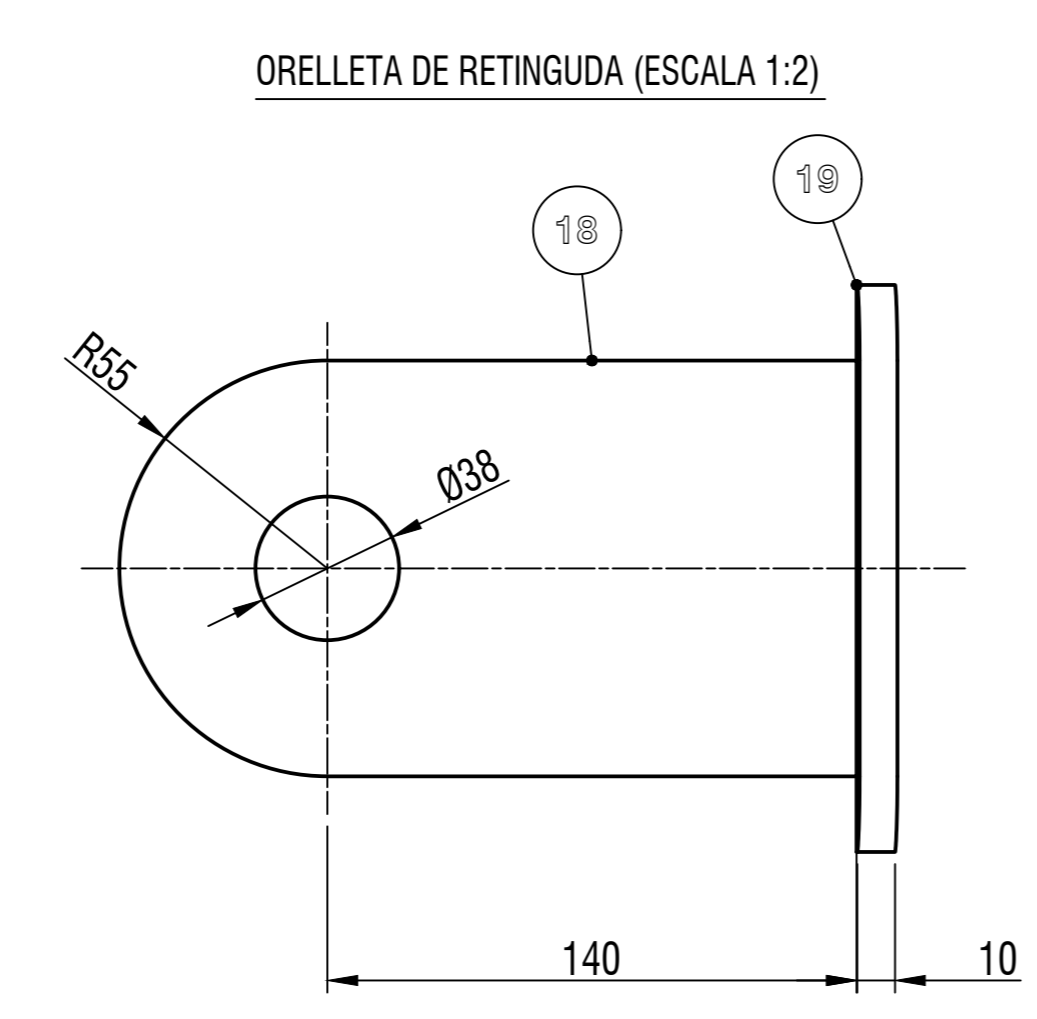
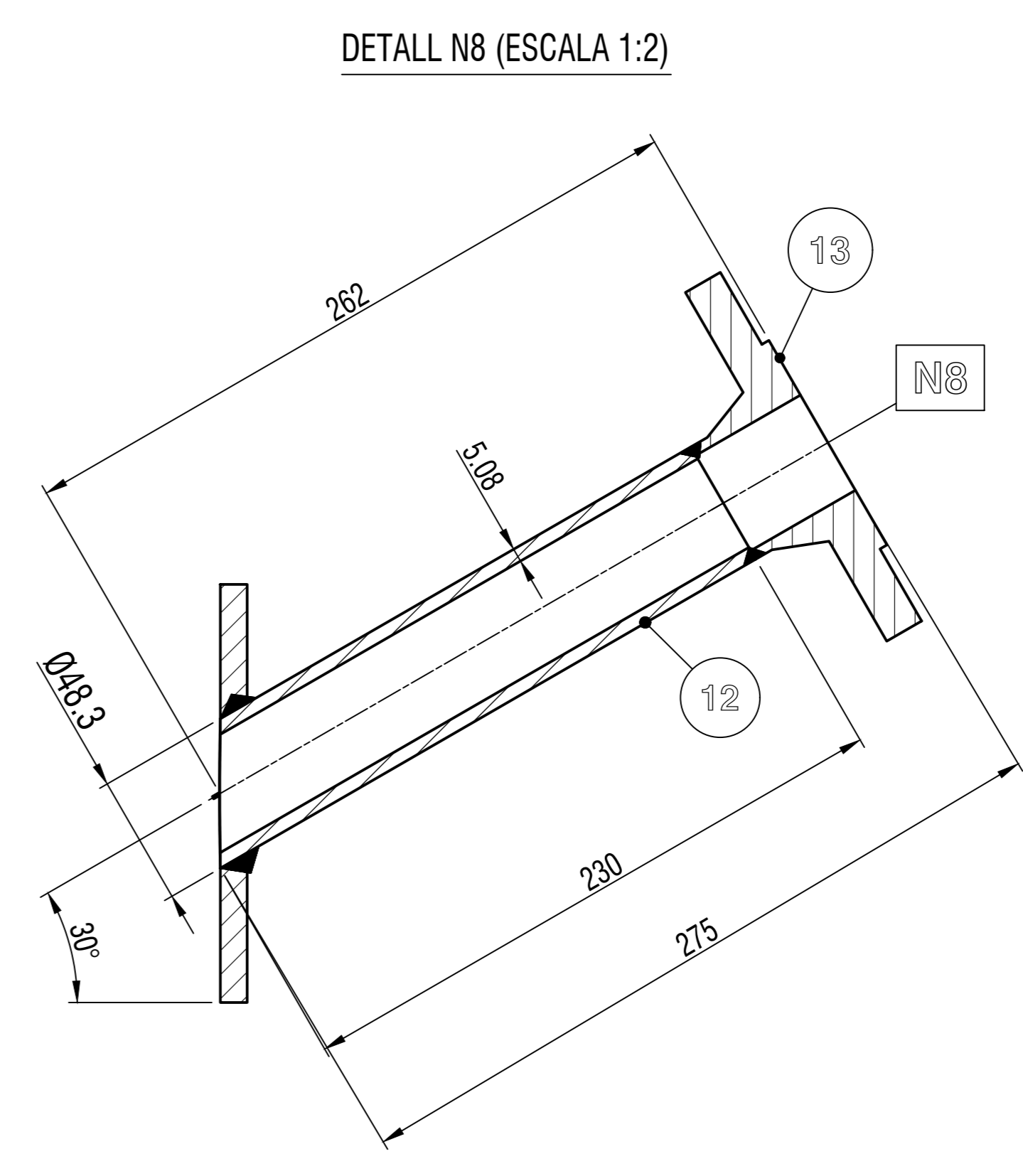
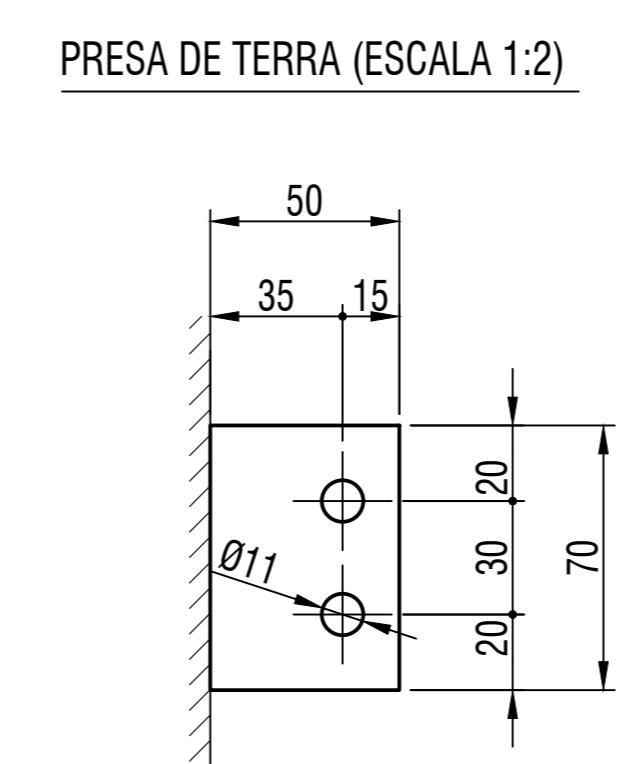
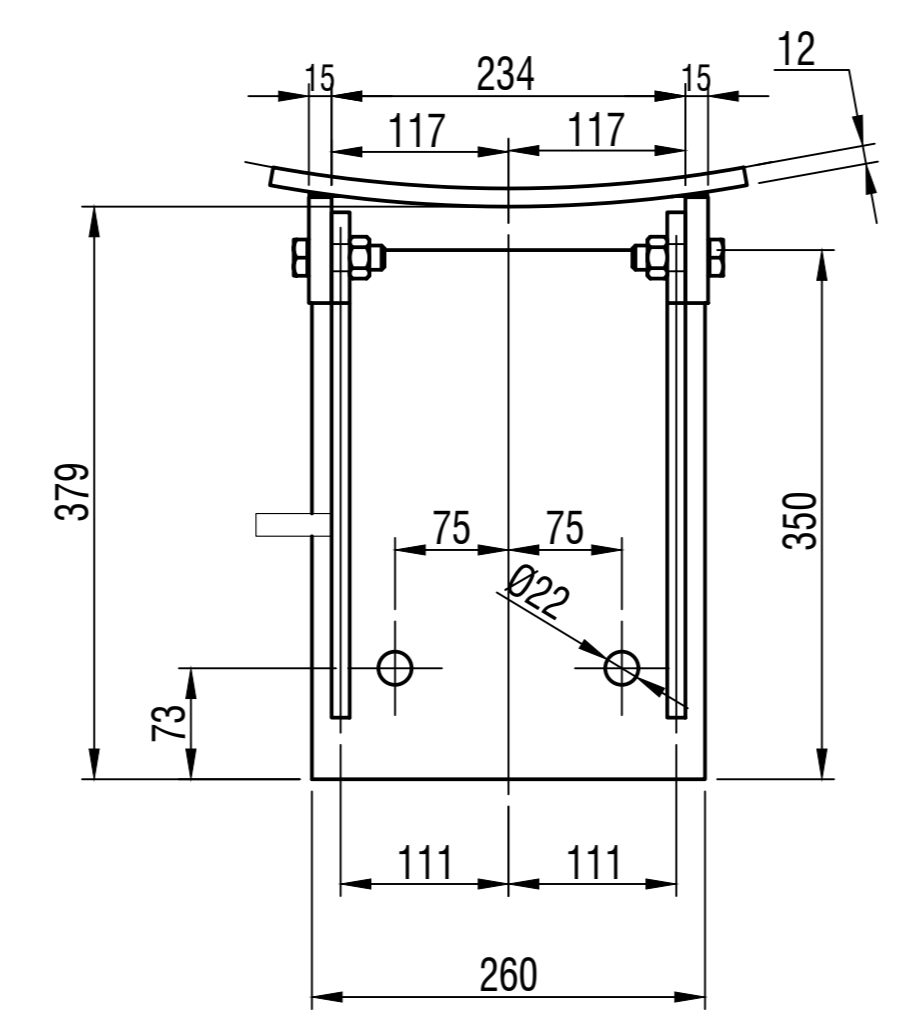
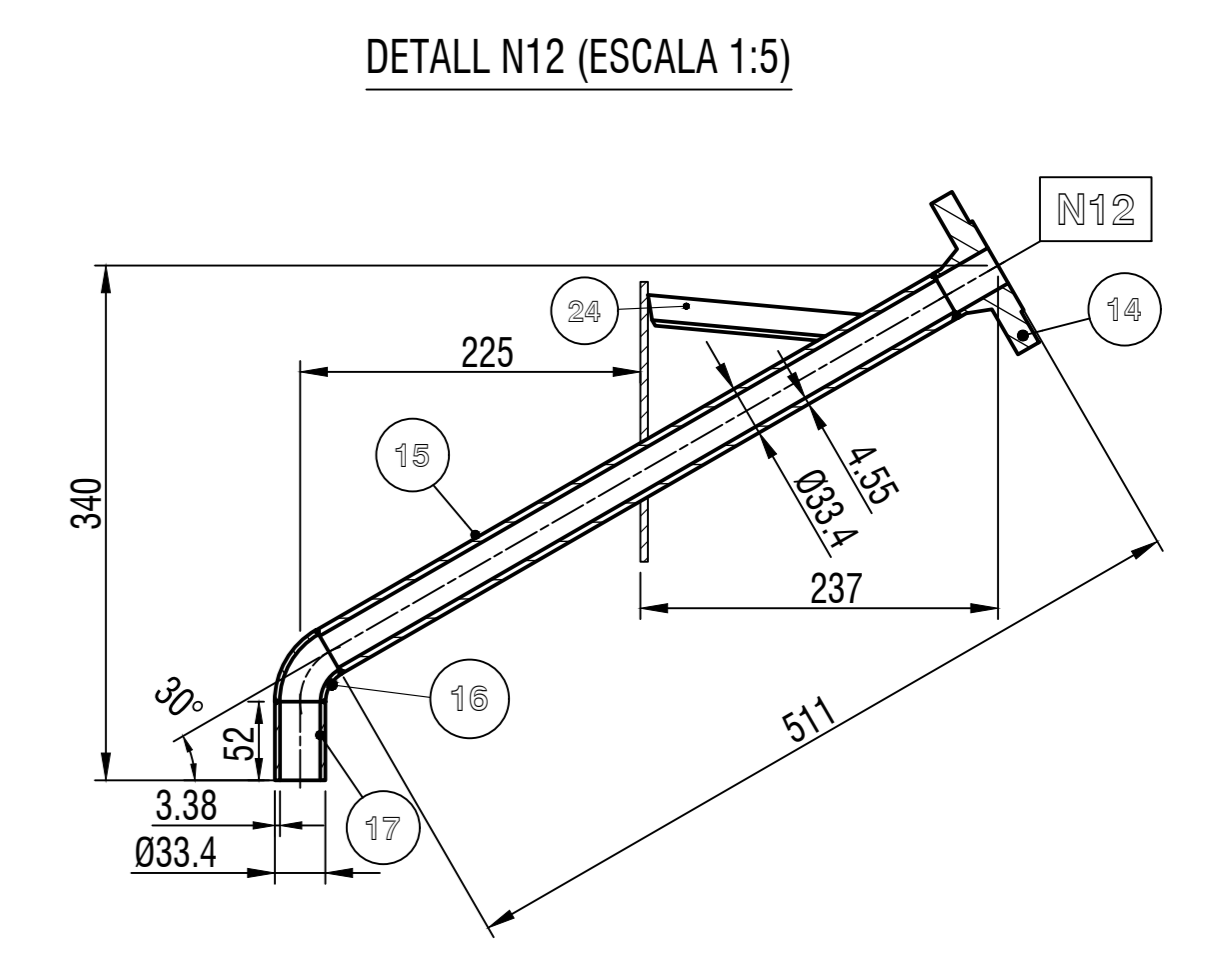
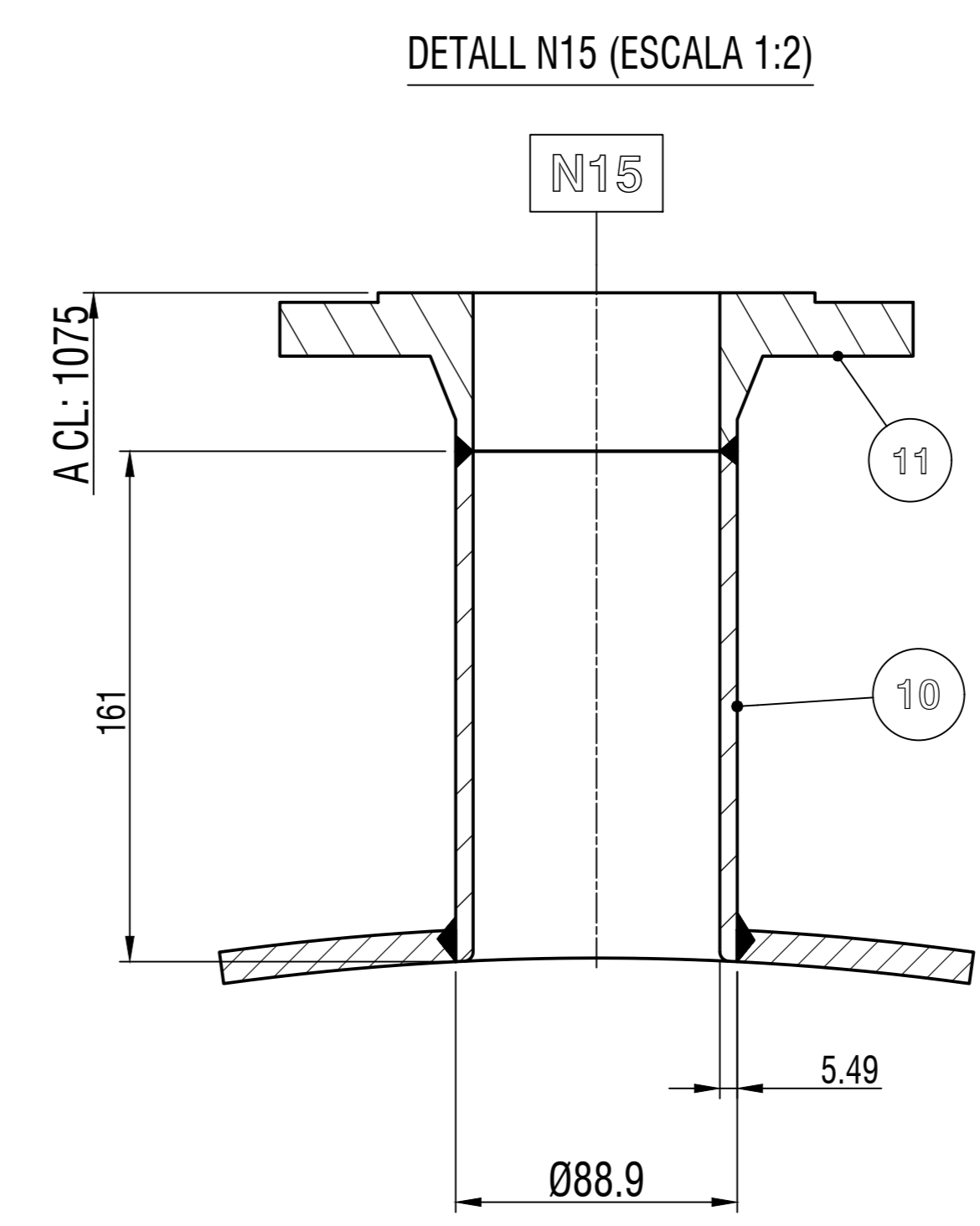
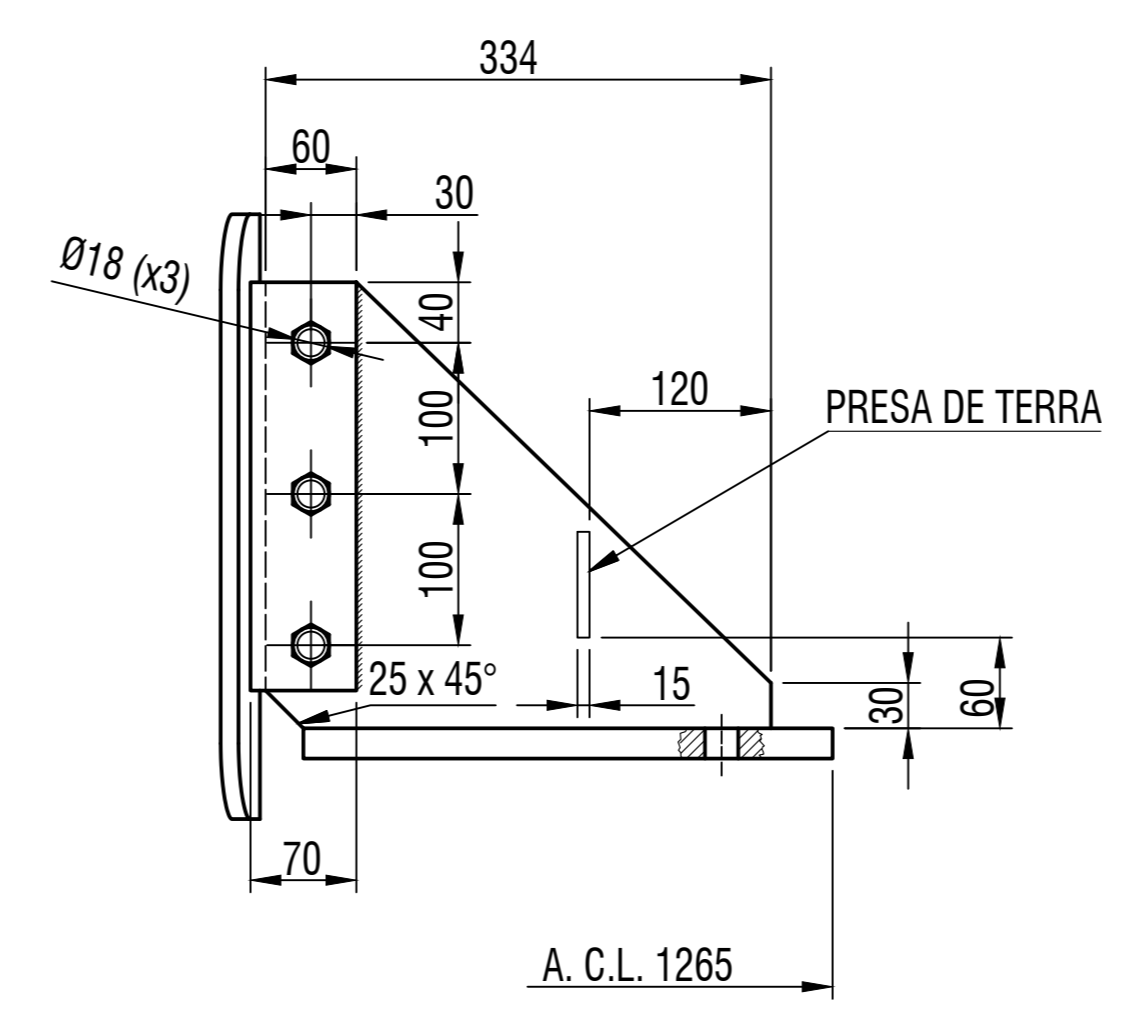
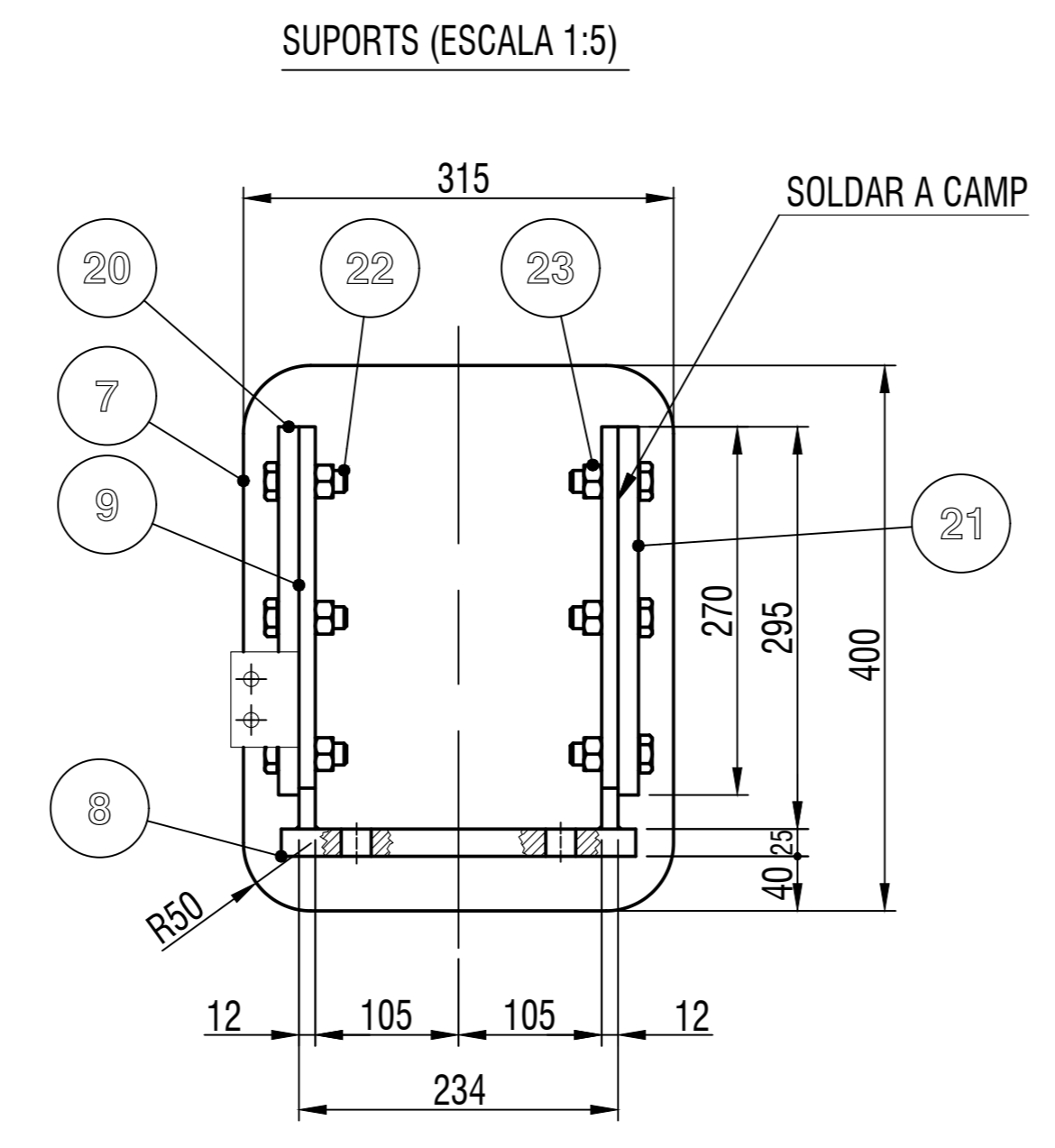
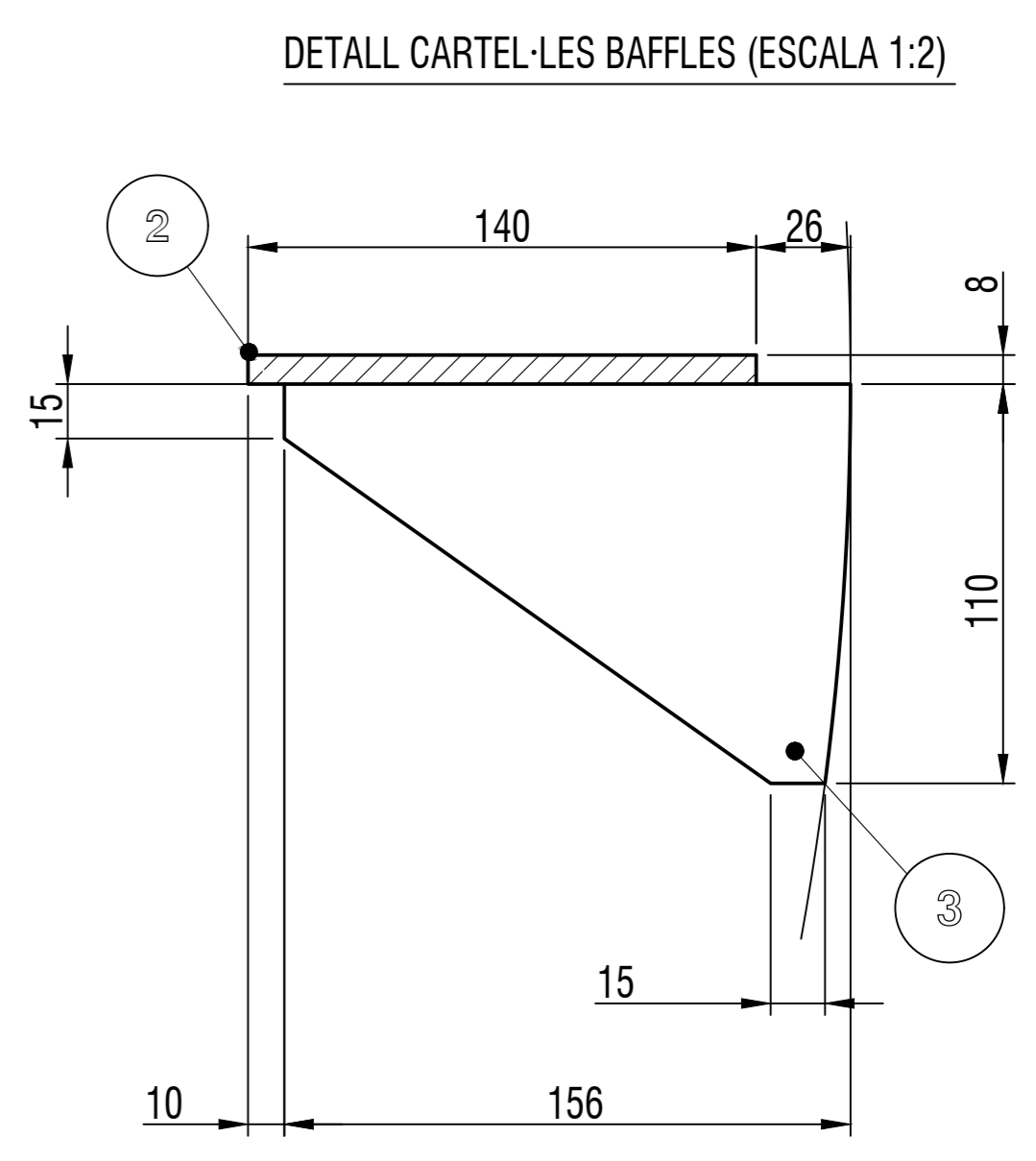
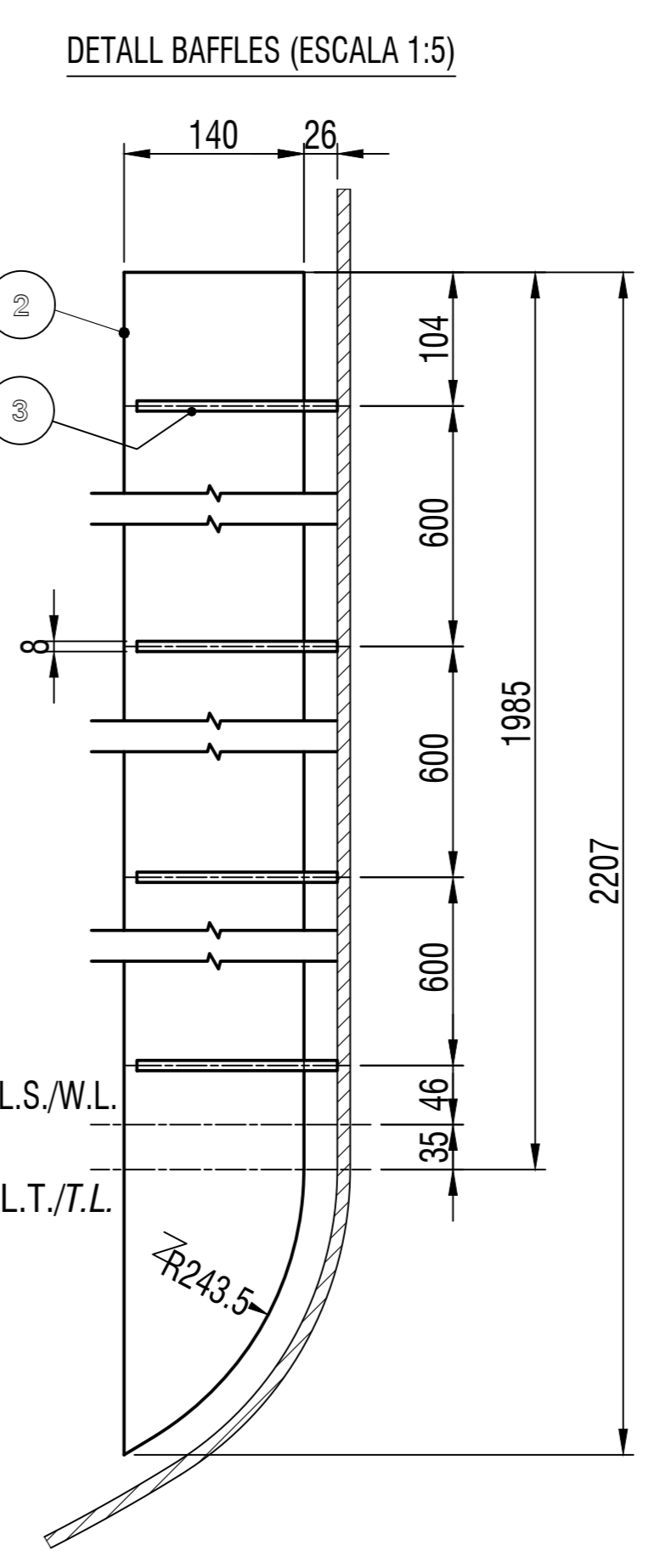
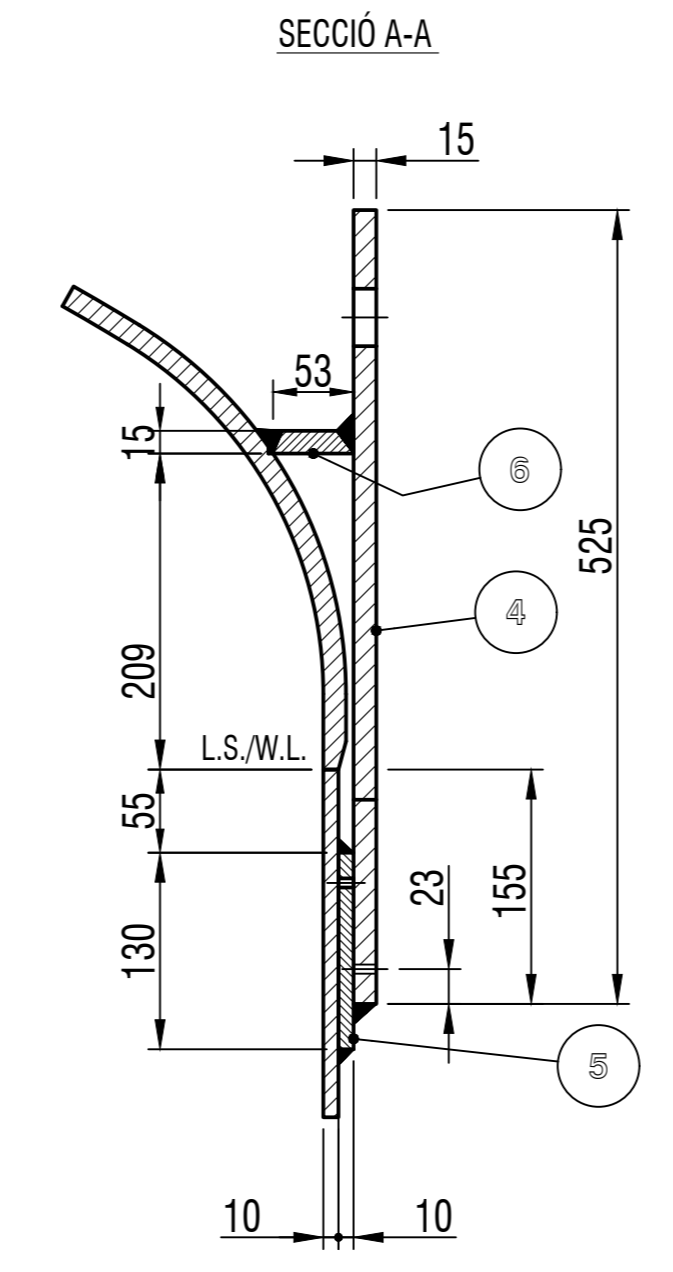
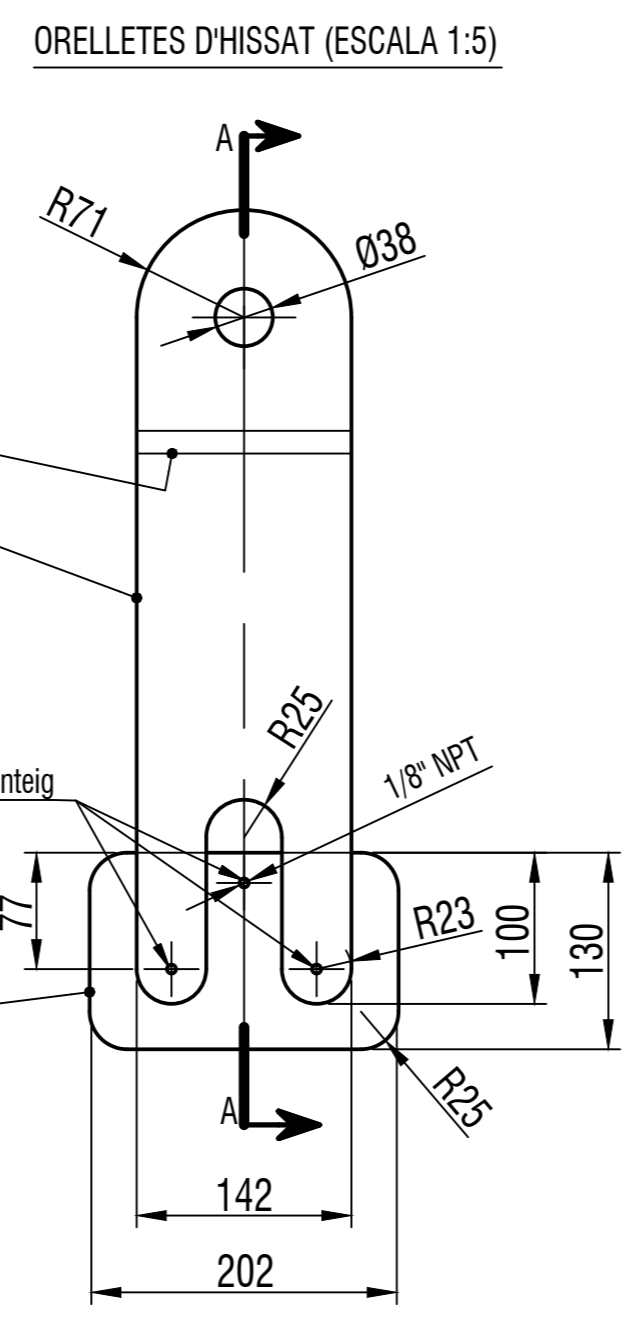
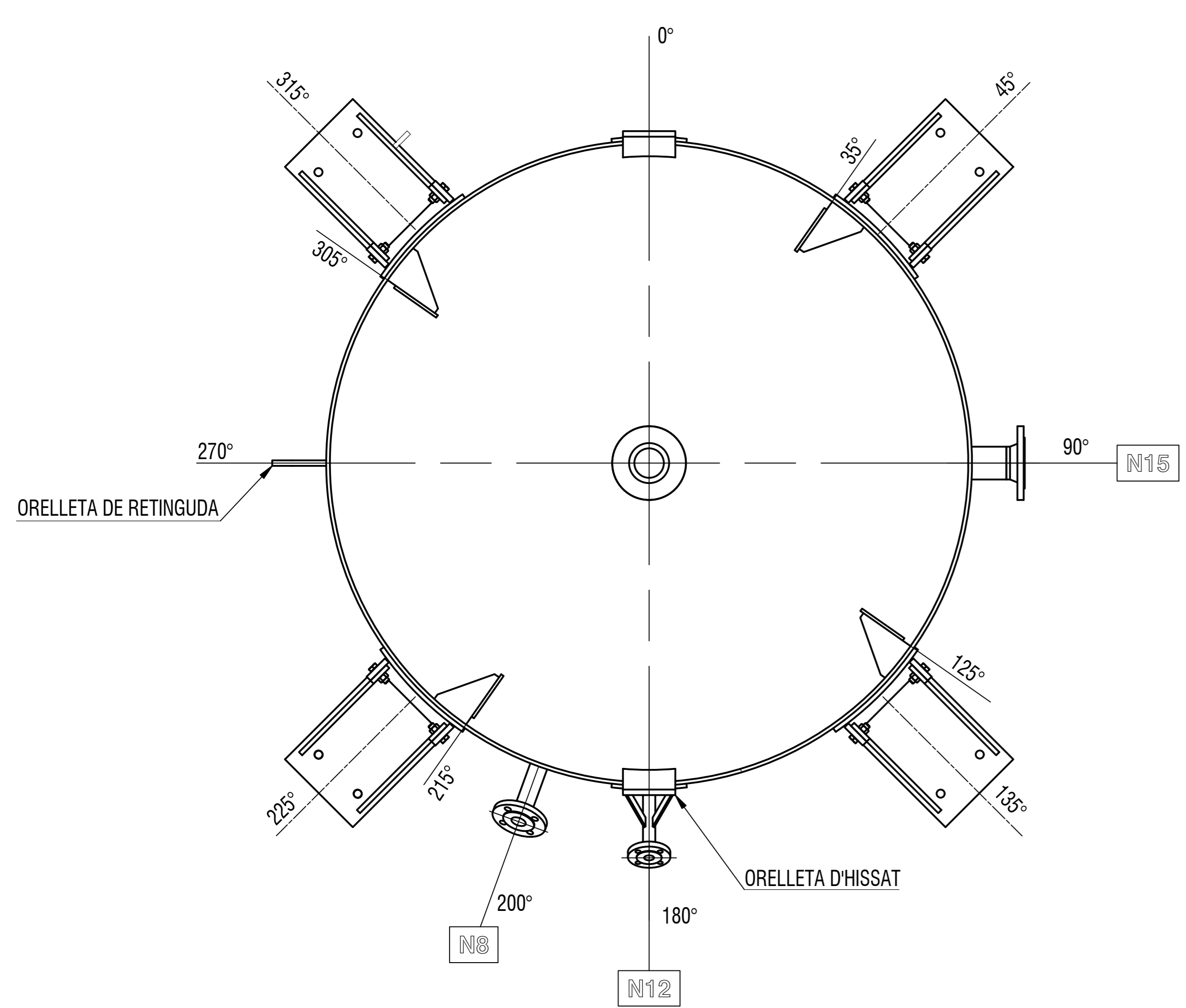
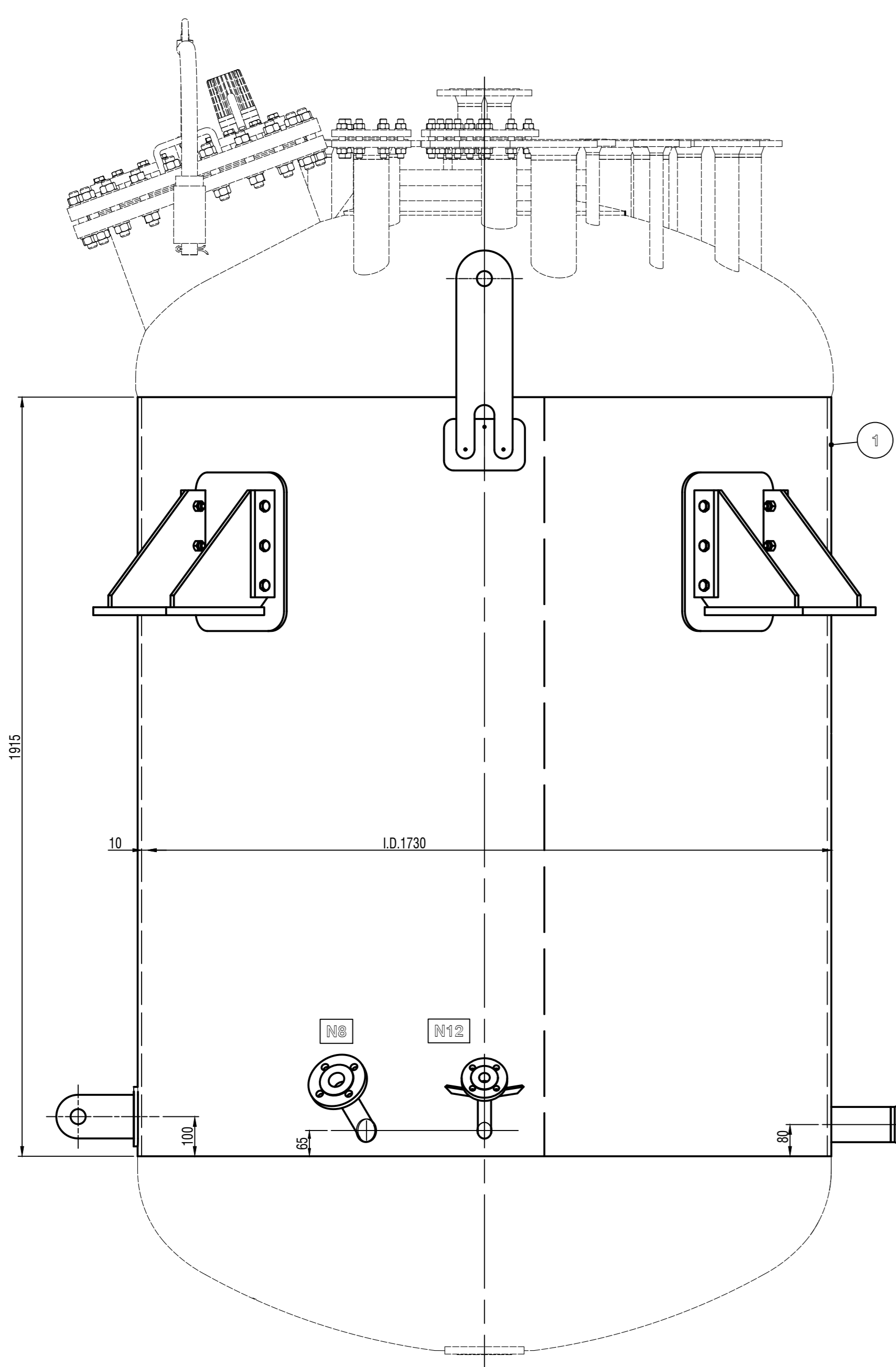
PRESA DE TERRA (ESCALA 1:2)



CONNEIXIÓ / NOZZLE	QUANT.	NPS/DN	DIM (mm)	RATING	SERVEI / SERVICE	TIPUS BRIDA / FLANGE TYPE
N1	1	DN 500	Ø508 x 6	10	BOCA D'HOME	DIN 28124-3 & 4
N23	1	2	Ø60.3 x 3.91 (Sch.40S)	16	TUB IMMERSIÓ N4	ASME B16.5 WN NPS 2 Class 150
N22	1	2	Ø60.3 x 3.91 (Sch.40S)	16	ESPERA (amb brida cega)	ASME B16.5 WN NPS 2 Class 150
N21	1	2	Ø60.3 x 3.91 (Sch.40S)	16	TUB IMMERSIÓ N20	ASME B16.5 WN NPS 2 Class 150
N20	1	3	Ø88.9 x 5.49 (Sch.40S)	16	FILTRE HEPTÀ	ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150
N19	1	3	Ø88.9 x 5.49 (Sch.40S)	16	FILTRE HEPTÀ	ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150
N18	1	2	Ø60.3 x 3.91 (Sch.40S)	16	ENTRADA OLI MINERAL	ASME B16.5 WN NPS 2 Class 150
N17	1	2	Ø60.3 x 3.91 (Sch.40S)	16	INTERRUPTOR DE NIVELL	ASME B16.5 WN NPS 2 Class 150
N16	1	3	Ø88.9 x 5.49 (Sch.40S)	16	ESPERA (amb brida cega)	ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150
N15	1	3	Ø88.9 x 5.49 (Sch.40S)	16	TRANSMISSOR DE NIVELL	ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150
N14	1	3	Ø88.9 x 5.49 (Sch.40S)	16	ESPERA (amb brida cega)	ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150
N13	1	3	Ø88.9 x 5.49 (Sch.40S)	16	TRANSMISSOR DE NIVELL	ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150
N12	1	1	Ø33.4 x 4.55 (Sch.80S)	16	MOSTRA	ASME B16.5 WN NPS 1 Class 150
N11	1	2	Ø60.3 x 3.91 (Sch.40S)	16	CÀRREGA	ASME B16.5 WN NPS 2 Class 150
N10	1	1	Ø33.4 x 4.55 (Sch.80S)	16	TRANSMISSOR DE PRESSIÓ	ASME B16.5 WN NPS 1 Class 150
N9	1	3	Ø88.9 x 5.49 (Sch.40S)	16	ALLEUJAMENT DE PRESSIÓ	ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150
N8	1	1 1/2	Ø48.3 x 5.08 (Sch.80S)	16	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA	ASME B16.5 WN NPS 1.5 Class 150
N7	1	DN 400	-	-	AGITADOR	DIN 28137-1
N6	1	4	Ø114.3 x 6.02 (Sch.40S)	16	SUSPENSIO CATALITZADOR	ASME B16.5 WN NPS 4 Class 150
N5	1	1	Ø33.4 x 4.55 (Sch.80S)	16	TRANSMISSOR DE PRESSIÓ	ASME B16.5 WN NPS 1 Class 150
N4	1	3	Ø88.9 x 5.49 (Sch.40S)	16	FILTRE HEPTÀ	ASME B16.5 WN NPS 3 Class 150
N3	1	3	Ø88.9 x 5.49 (Sch.40S)	40	SORTIDA DE PRODUCTE	DIN 28117
N2	1	2	Ø60.3 x 3.91 (Sch.40S)	16	OFF GAS	ASME B16.5 WN NPS 2 Class 150
N1	1	2	Ø60.3 x 3.91 (Sch.40S)	16	TRANSMISSOR DE NIVELL	ASME B16.5 WN NPS 2 Class 150

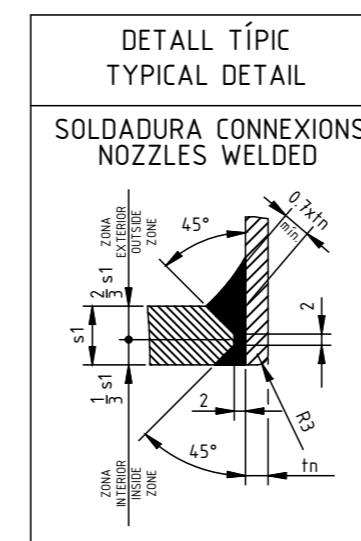
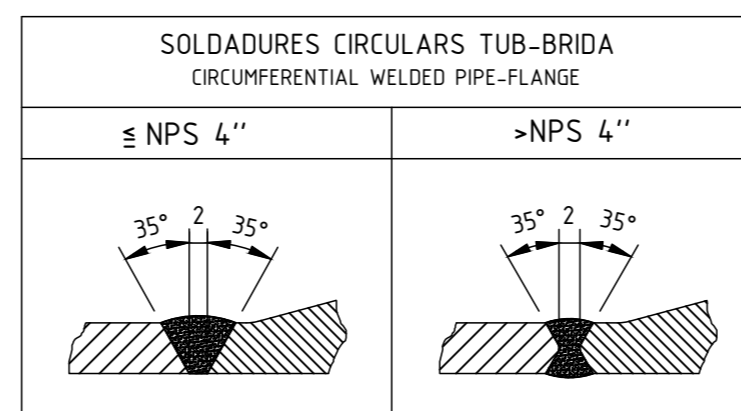
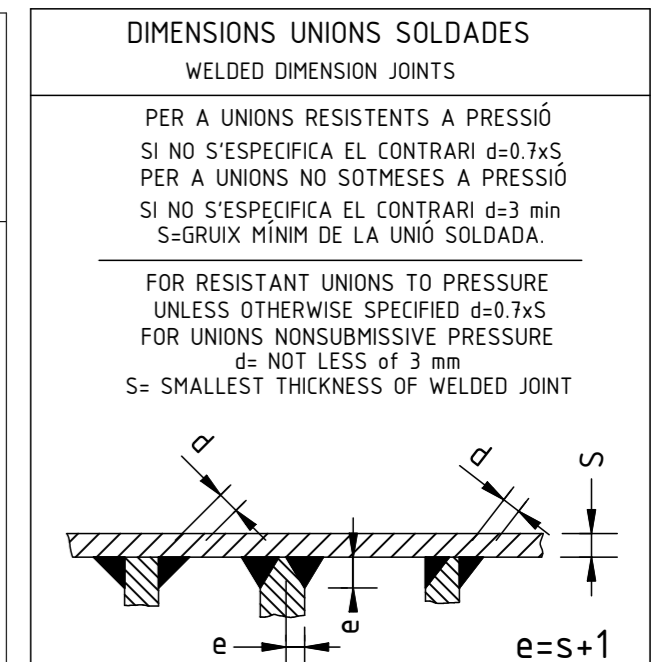
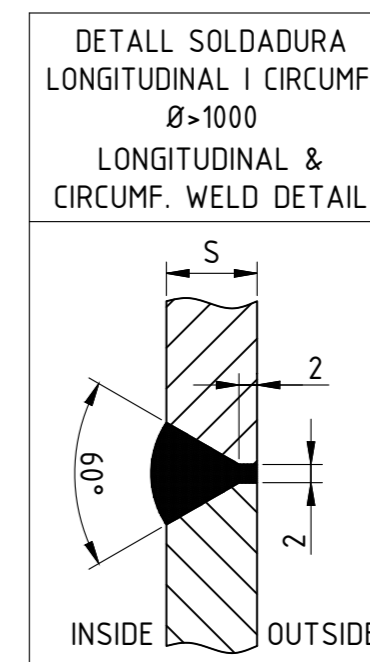
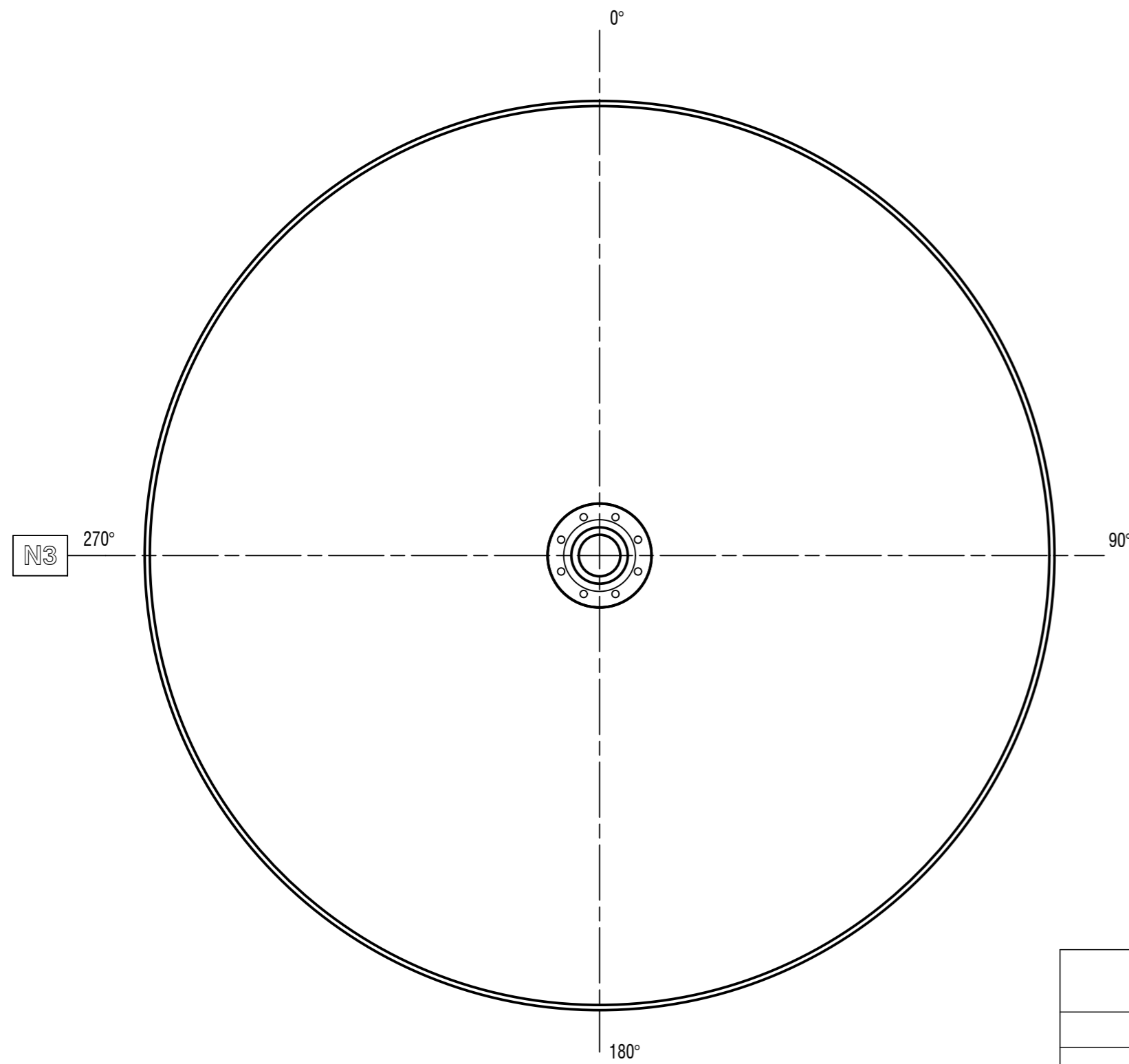
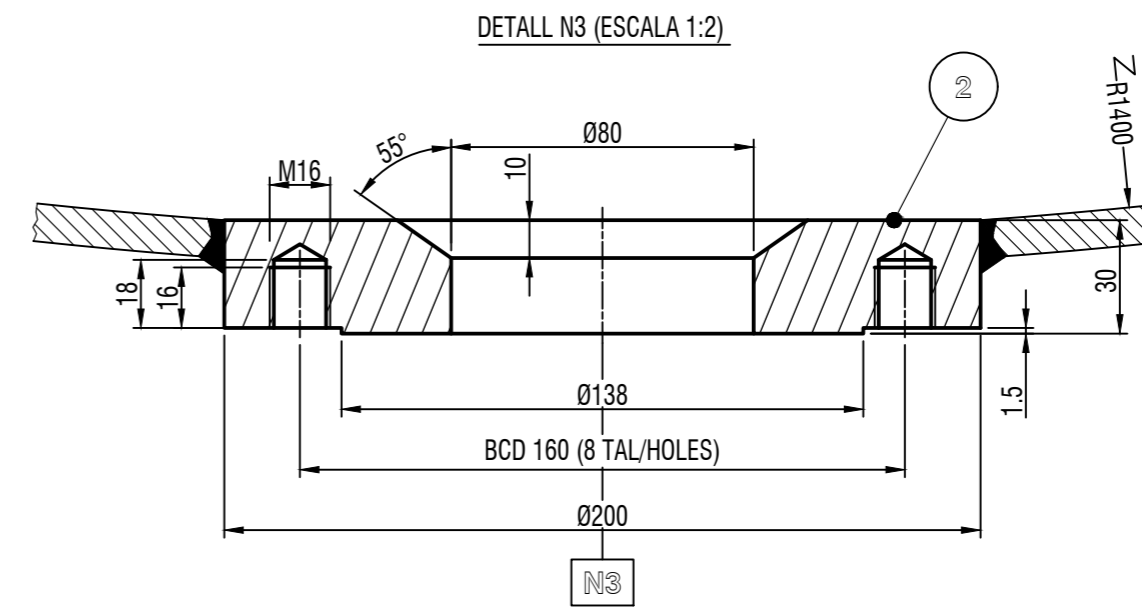
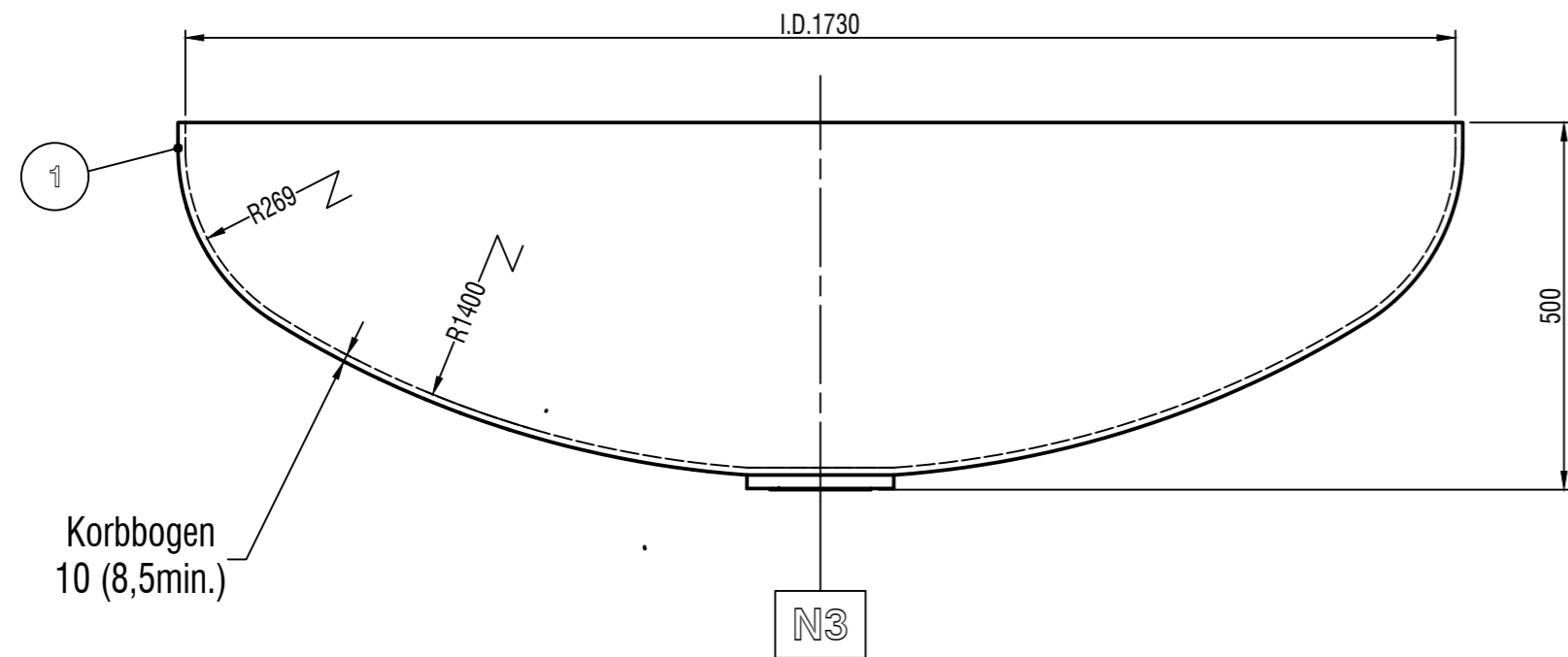
LLISTA DE MATERIALS / MATERIAL LIST	
ENVOLVENT / SHELLS	ASME SA-240 316L
FONS KORBBOKEN / KORBBOKEN HEADS	ASME SA-240 316L
CONNEXIONS / NOZZLE NECKS	ASME SA-312 TP316L
BRIDES CONNEXIONS / NOZZLE FLANGES	ASME A182 F316L
CARGOLAM / BOLTS & NUTS	ASME SA-193 B7
JUNTES CONNEXIONS / NOZZLES GASKETS	Spiral Wound Graphite
SUPORTS / SUPPORT LUGS	ASME SA-240 316L
PRESA DE TERRA / EARTHING LUG	ASME SA-240 316L
INTERNES / INTERNALS	ASME SA-240 316L

Projecte		PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS		FLUOR	
Revisió	00.a	Descripció	ASSEMBLATGE GENERAL MINERAL OIL PACKOUT VESSEL R-2000	Data	15/07/22
Format	AO	Full	1	Norm	Adrià Bustamante
Dim. en mm	1:10	Referència	FLO01	Comprovat	10/08/22
				Aprovat	Javier Diaz
				Codi de disseny	ASME Secció VIII Div.1



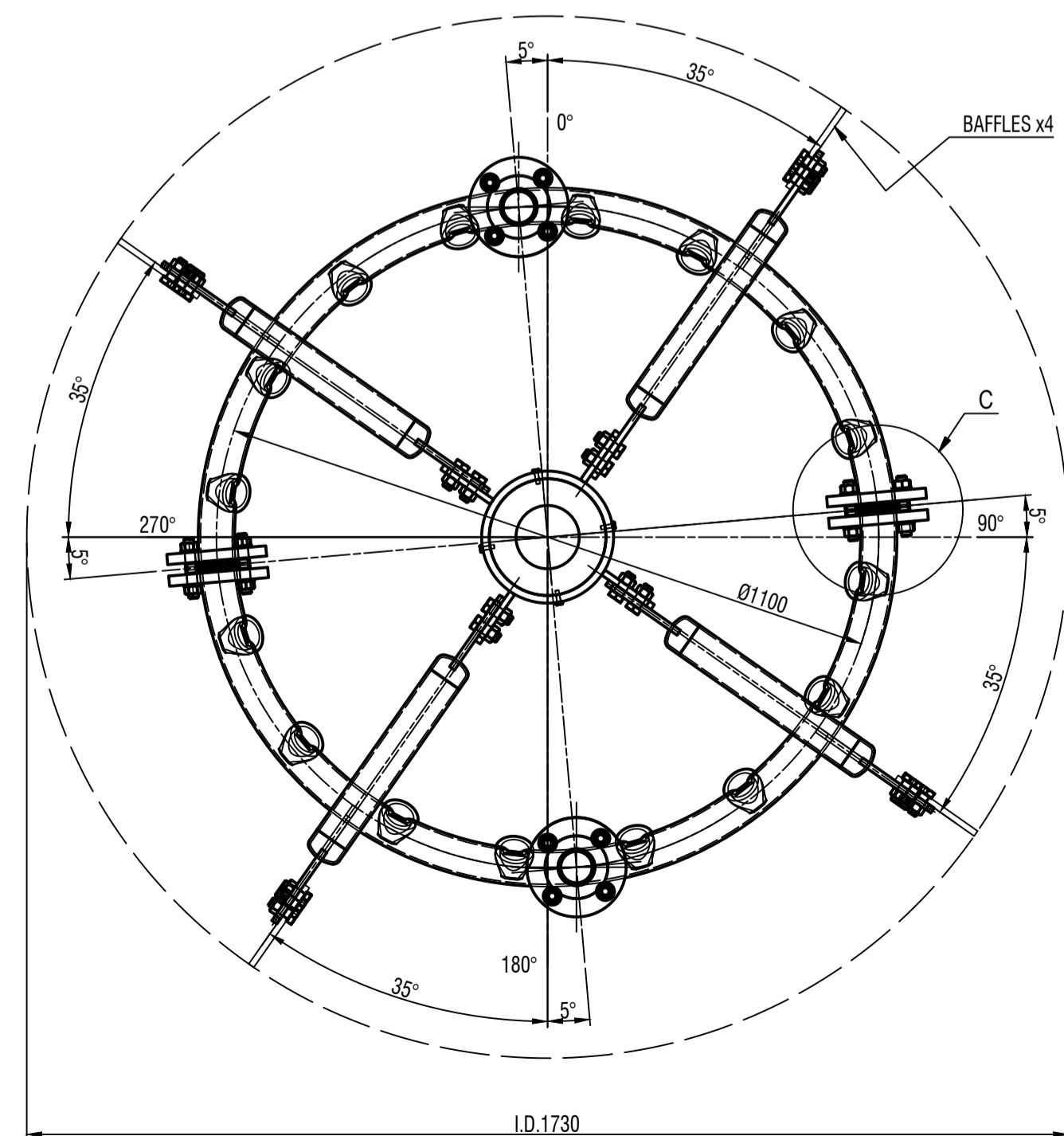
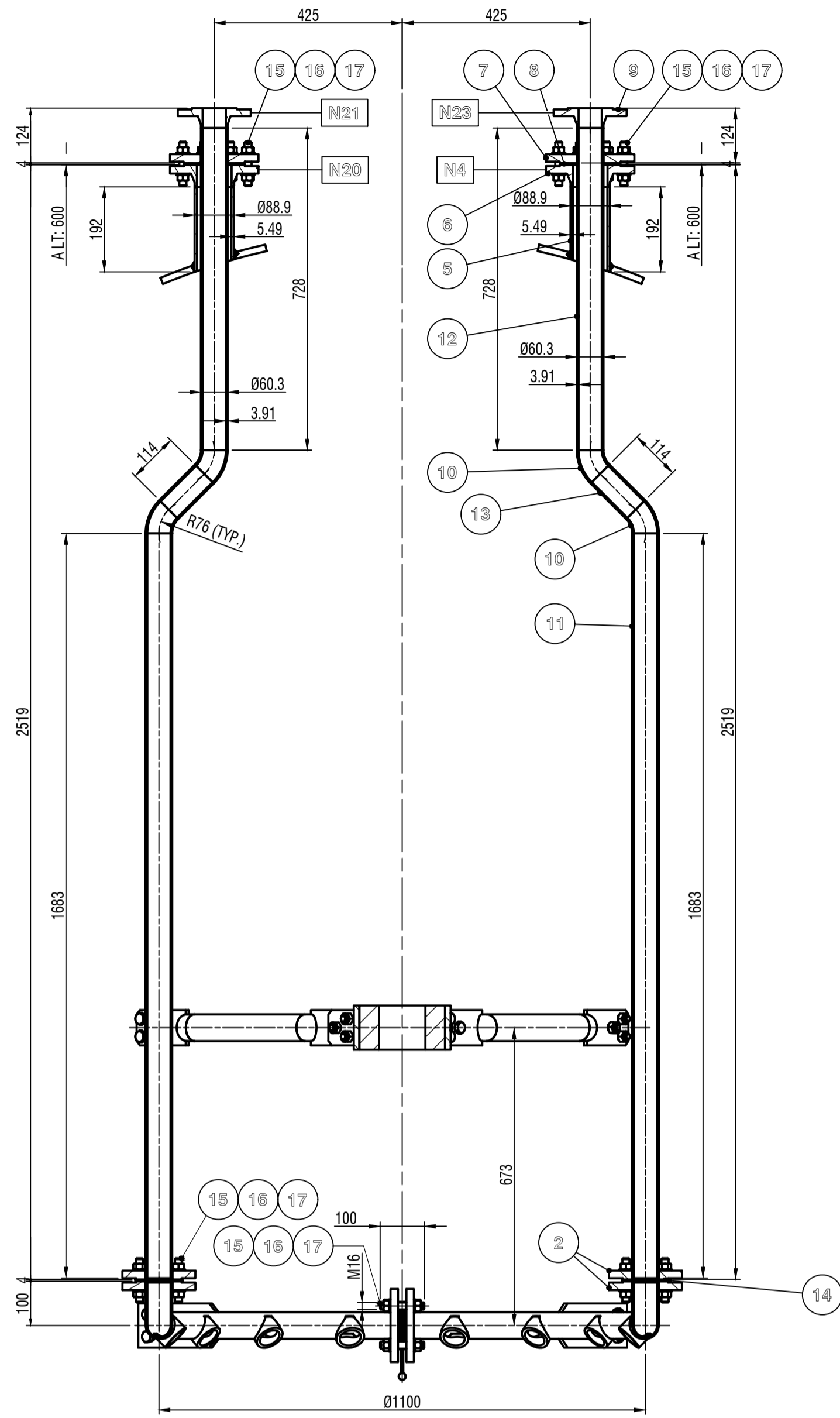
POS	DESCRIPTION	STANDARD	MATERIAL	QTY
24	Xapa/Plate 170 x 20 x 6 Esp./Thk		SA-240 316L	2
23	Femella/Nut M16	DIN 934	A2-70 (SA-193 B7) - 5.6	24
22	Cargol/Hex. Head Bolt M16 x 50	DIN 933	A2-70 (SA-193 B7) - 5.6	24
21	Xapa/Plate 70 x 270 x 15 Esp./Thk		SA-240 316L	4
20	Xapa/Plate 70 x 270 x 15 Esp./Thk		SA-240 316L	4
19	Reforg/Plat 150 x 75 x 10 Esp./Thk		SA-240 316L	1
18	Orelleta/Lug 150 x 105 x 15 Esp./Thk		SA-240 316L	1
17	Tube/Pipe ø33.4 x 52 x 3.38 Esp./Thk (Sch. 40S)	ASME B36.19	SA-312 TP316L	1
16	Co/bw/Elbow 60°/LR (R=3R) ø33.7 x 3.38 Esp./Thk (Sch. 40S)	ASME B36.19	SA-312 TP316L	1
15	Tube/Pipe ø33.4 x 471 x 4.55 Esp./Thk (Sch. 40S)	ASME B36.19	SA-312 TP316L	1
14	Brida/Flange ASME B16.5 WN NPS 1" Class 150	ASME B16.5	A182 F316L	1
13	Brida/Flange ASME B16.5 WN NPS 1" Class 150	ASME B16.5	A182 F316L	1
12	Tube/Pipe ø48.3 x 0 x 5.08 Esp./Thk (Sch. 80S)	ANSI B36.19	SA-312 TP316L	1
11	Brida/Flange ASME B16.5 WN NPS 3" Class 150	ASME B16.5	A182 F316L	1
10	Tube/Pipe ø60.3 x 161 x 3.49 Esp./Thk (Sch. 40S)	ASME B36.19	SA-312 TP316L	1
9	Xapa/Plate 295 x 334 x 12 Esp./Thk		SA-240 316L	8
8	Xapa/Plate 350 x 260 x 25 Esp./Thk		SA-240 316L	4
7	Xapa/Plate 400 x 315 x 12 Esp./Thk		SA-240 316L	4
6	Xapa/Plate 142 x 56 x 15 Esp./Thk		SA-240 316L	2
5	Xapa/Plate 202 x 130 x 10 Esp./Thk		SA-240 316L	2
4	Xapa/Plate 525 x 142 x 15 Esp./Thk		SA-240 316L	2
3	Xapa/Plate 156 x 110 x 8 Esp./Thk		SA-240 316L	16
2	Xapa/Plate 2207 x 140 x 8 Esp./Thk		SA-240 316L	4
1	Envolvent/Plate ø1750 x 1915(Des. 5456) x 10 Esp./Thk		SA-240 316L	1

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIO AMB AGITACIO PER A REACIO DE PRODUCTES QUÍMICS		LISTA DE MATERIALS / MATERIAL LIST	
Revisió	Descripció	Data	Norm
00.a	ENVOLVENT MINERAL OIL PACKOUT VESSEL R-2000	15/07/22	Adrià Bustamante
Escala	Format	Full	Dim. en mm
1:10	AO	1	Referència
			FLO03
			Codi de disseny
			ASME Secció VIII Div.1

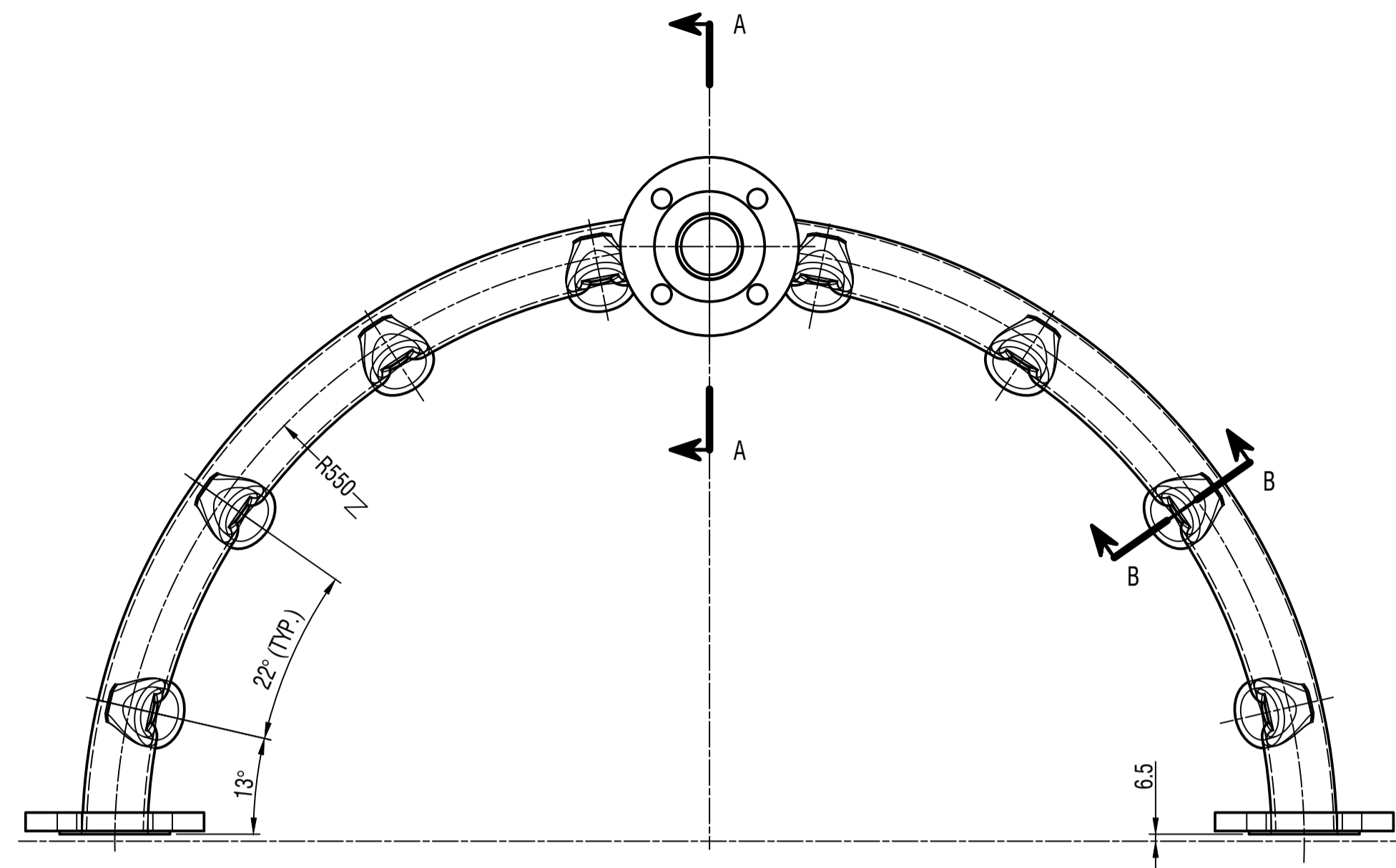


2	Brida/Pad ø200/80 x 31 Esp./Thk.	DIN 28117	1.4404 (A182 F316L)	1
1	Fons Korbogen/Korbogen Head Cover I.D.1730 x 10 Esp./Thk (8,5 Min.)	DIN 28013	1.4404 (SA-240 316L)	1
POS	DESCRIPTION	STANDARD	MATERIAL	QTY

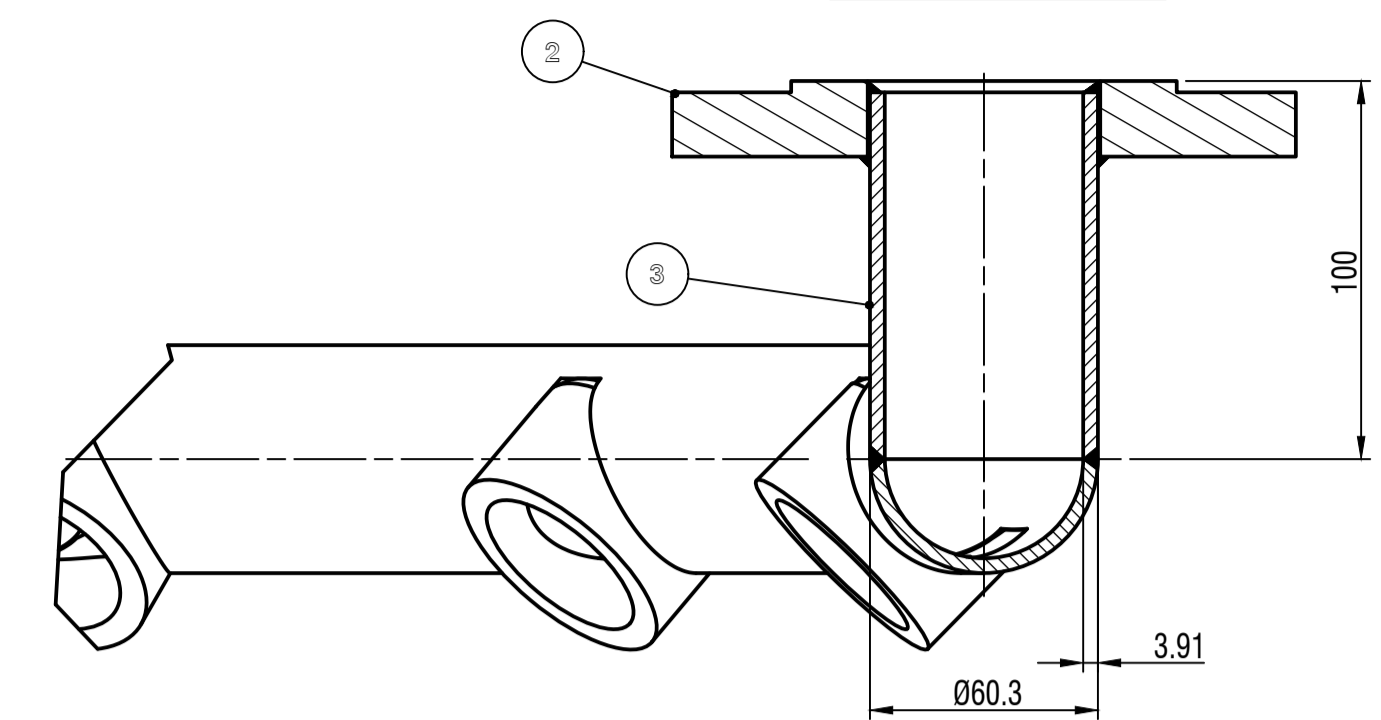
LLISTA DE MATERIALS / MATERIAL LIST				
Projecte		PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS		
Revisió		00.a		
Descripció		FONS INFERIOR MINERAL OIL PACKOUT VESSEL R-2000		Data: 15/07/22 Nom: Adrià Bustamante
Escala		Format	Full	Referència
1:10	A2	1	Dim. en mm	FLO04
Codi de disseny				ASME Secció VIII Div.1



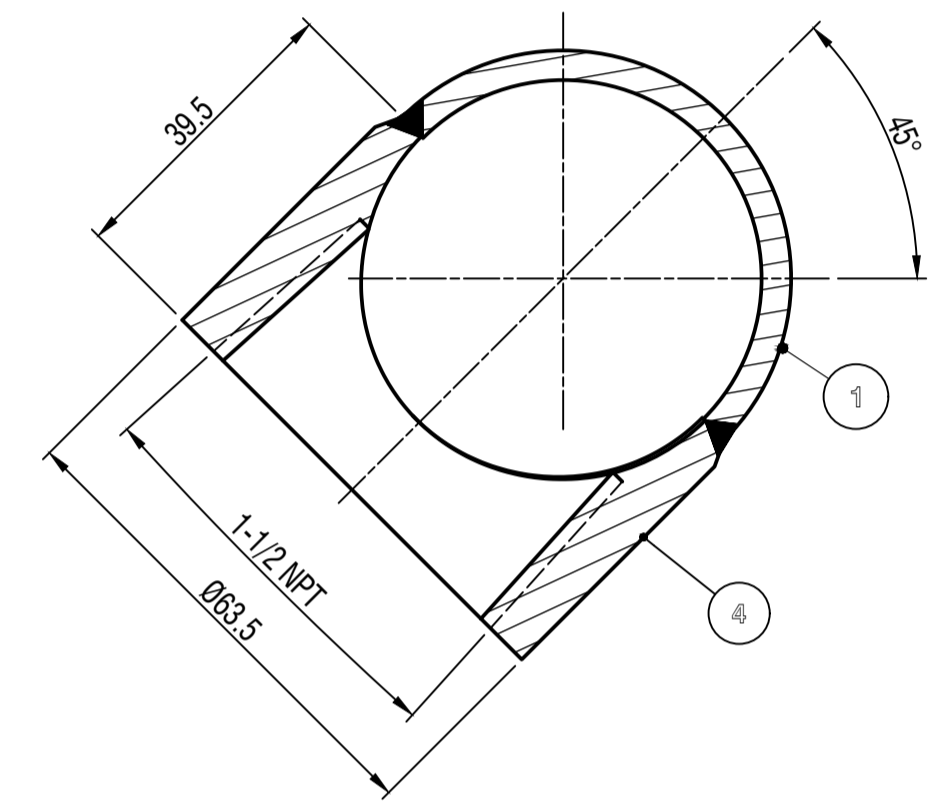
DETTALL DIFUSOR (ESCALA 1:5)



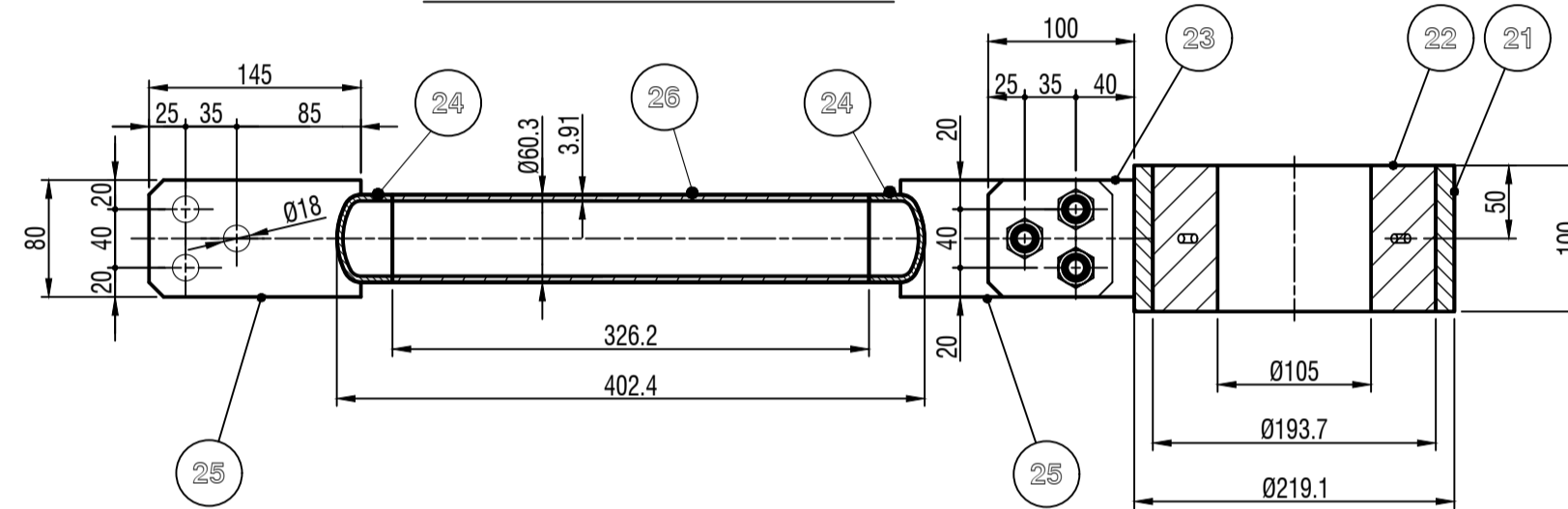
SECCIÓ A-A (ESCALA 1:2)



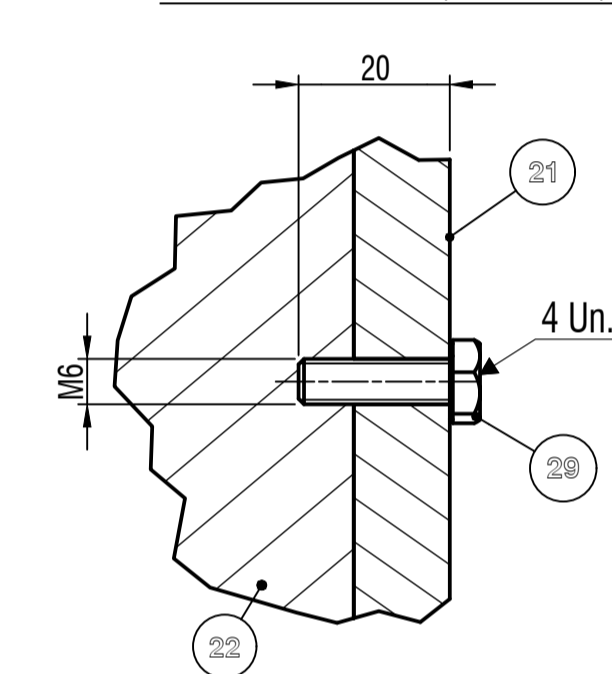
SECCIÓ B-B (ESCALA 1:1)



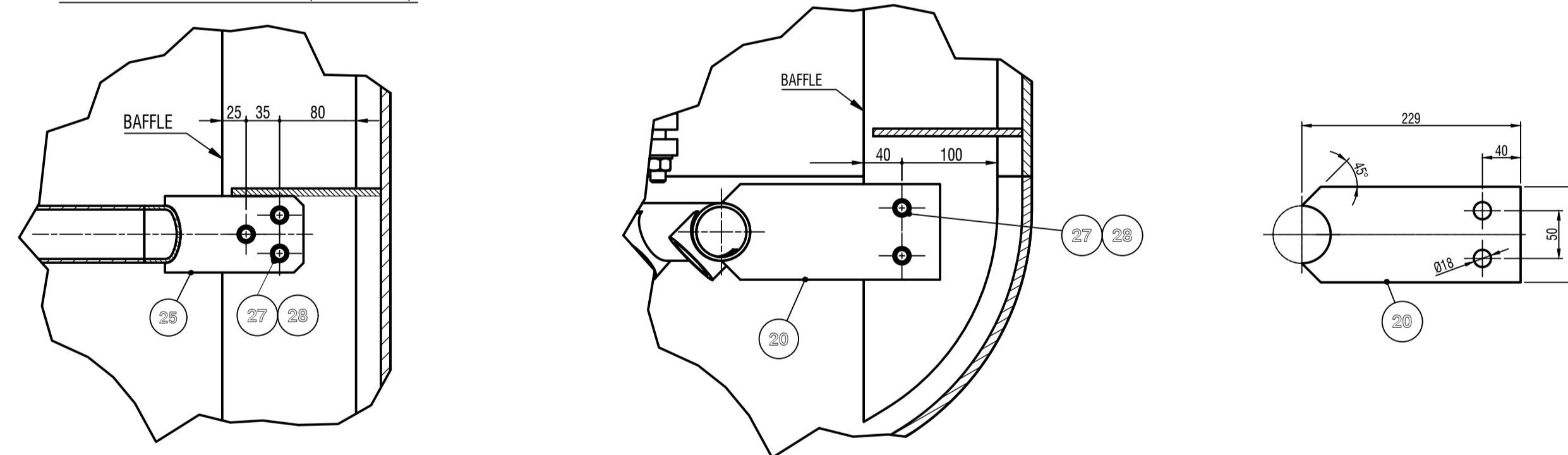
DETTALL SUPORT AGITADOR (ESCALA 1:5)



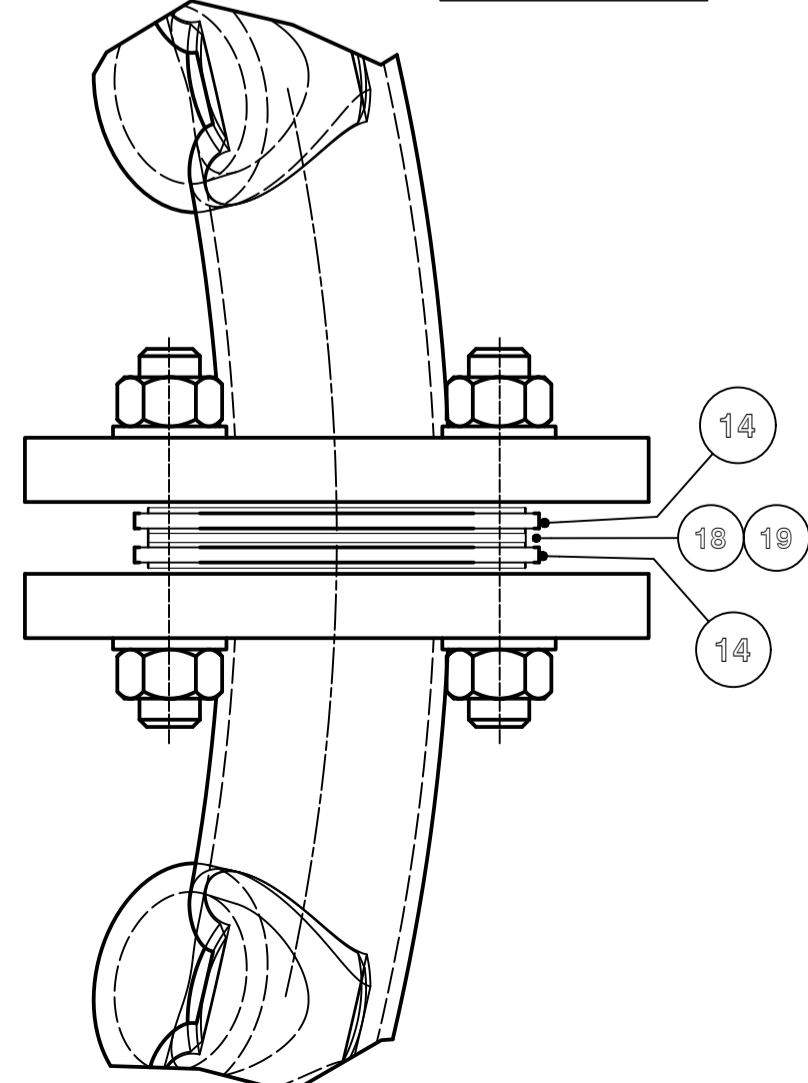
UNIÓ COXINET - TUB (ESCALA 1:1)



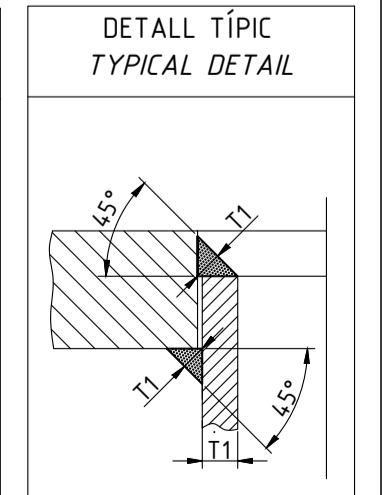
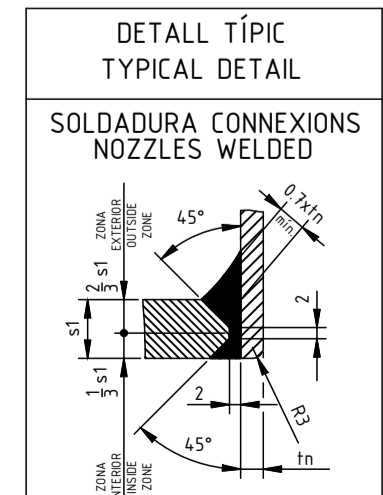
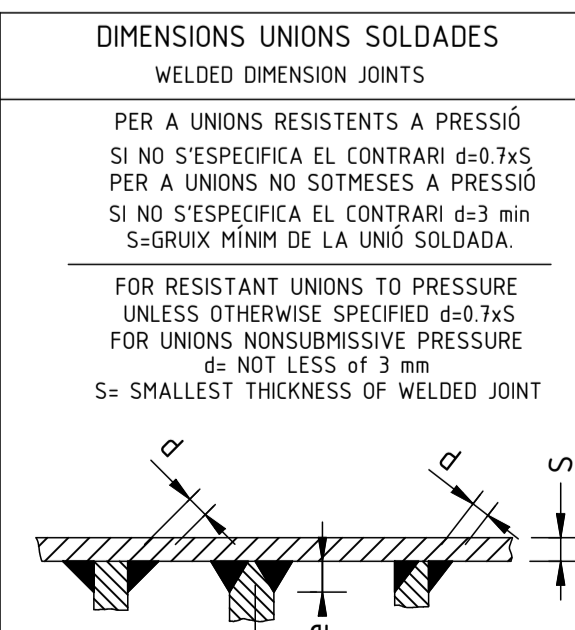
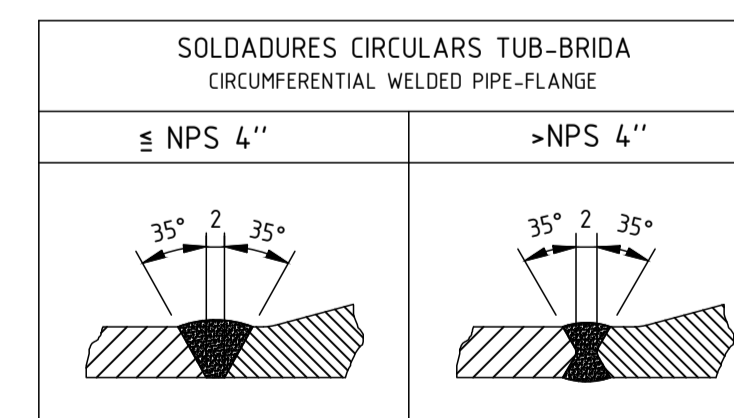
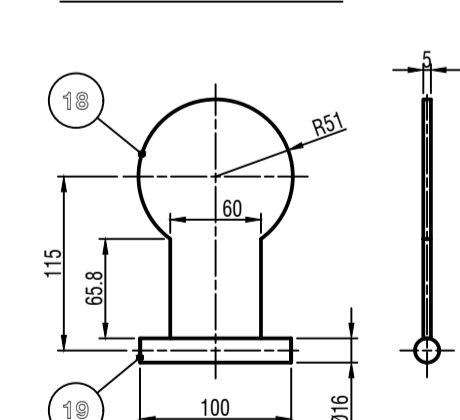
x3 DETALLS UNIONS BAFFLES (ESCALA 1:5)



DETTALL C (ESCALA 1:5)



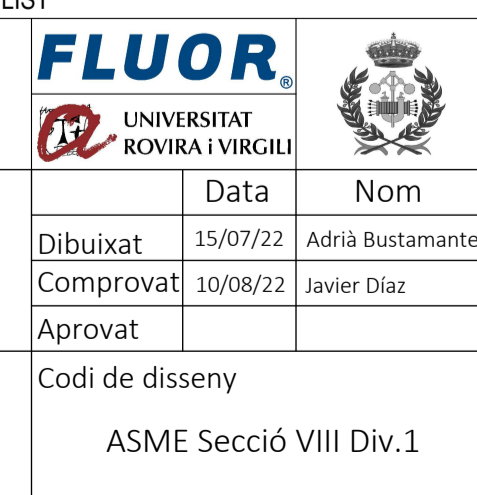
DETTALL PLACA (ESCALA 1:5)



POS	DESCRIPTION	STANDARD	MATERIAL	QTY
29	Cargol Hex./Hex. Head Bolt M6 x 20	DIN 933	A2-70 (SA-193 B7)	4
28	Femella Hex./Nut M16	DIN 934	A2-70 (SA-193 B7)	32
27	Cargol Hex./Hex. Head Bolt M16 x 40	DIN 933	A2-70 (SA-193 B7)	32
26	Tubi/Pipe ø60.3 x 326 x 3,91 Esp./Thk.(Sch.40S)	ASME B36.19	SA-312 TP316L	4
25	Xapa/Plate 80 x 145 x 10 Esp./Thk		SA-240 316L	8
24	Fons Cap/Head Cover ø60.3 x 3,91Esp./Thk. Sch.40S	ANSI B16.9	SA-240 316L	8
23	Xapa/Plate 100 x 80 x 10 Esp./Thk.		SA-240 316L	4
22	Coxinet/Bush ø193,7/ø105 x 100 Esp./Thk		PTFE	1
21	Tubi/Pipe ø219,1 x 100 x 12,7 Esp./Thk.(Sch.80S)	ASME B36.19	SA-312 TP316L	1
20	Xapa/Plate 229 x 100 x 10 Esp./Thk.		SA-240 316L	4
19	Barra/Bar ø16 x 100Long./Length		SA-479 316L	2
18	Xapa/Plate 158 x 102 x 5 Esp./Thk.		SA-240 316L	2
17	Volandera/Washer M16	DIN 125	A2-70 (SA-193 B7)	64
16	Femella Hex./Nut M16	DIN 934	A2-70 (SA-193 B7)	64
15	Espàrrec/Stud-Bolt M16 x 100	DIN 976	A2-70 (SA-193 B7)	32
14	Junta/Gasket ASME B16.21 NPS 2"	ASME B16.21	PTFE	6
13	Tubi/Pipe ø60.3 x 114 x 3,91 Esp./Thk.(Sch.40S)	ASME B36.19	SA-312 TP316L	2
12	Tubi/Pipe ø60.3 x 728 x 3,91 Esp./Thk.(Sch.40S)	ASME B36.19	SA-312 TP316L	2
11	Tubi/Pipe ø60.3 x 1683 x 3,91 Esp./Thk.(Sch.40S)	ASME B36.19	SA-312 TP316L	2
10	Cotze/Elbow 45° LR (R=76) ASME B16.9 NPS 2" (Sch.40S)	ASME B16.9	SA-312 TP316L	4
9	Brida/Flange ASME B16.5 WN NPS 2" Class 150	ASME B16.5	A182 F316L	2
8	Junta Espiro-metall/lica/Spiral-Wound Gasket NPS 3"	ASME B16.20	Graphite + SS304	2
7	Brida/Flange ASME B16.5 Blind NPS 3" Class 150	ASME B16.5	A182 F316L	2
6	Brida/Flange ASME B16.5 WN NPS 3" Class 150	ASME B16.5	A182 F316L	2
5	Tubi/Pipe ø88.9 x 192 x 5,49 Esp./Thk.(Sch.40S)	ASME B36.19	SA-312 TP316L	2
4	Maneguet/ Half Coupling 1-1/2" NPT	ASME B16.14	SA-312 TP316L	16
3	Tubi/Pipe ø60.3 x 97 x 3,91 Esp./Thk.(Sch.40S)	ASME B36.19	SA-312 TP316L	2
2	Brida/Flange ASME B16.5 Slip-On NPS 2" Class 150	ASME B16.5	A182 F316L	8
1	Tubi/Pipe ø60.3 x 1728 x 3,91 Esp./Thk.(Sch.40S)	ASME B36.19	SA-312 TP316L	2

LLISTA DE MATERIALS / MATERIAL LIST

Projecte		PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS		SETEMBRE 2021 - 2022	
Revisió	Descripció	Data	Nom		
00.a	ELEMENTS INTERNES MINERAL OIL PACKOUT VESSEL R-2000	15/07/22	Adrià Bustamante		
		10/08/22	Javier Diaz		
Escala	Format	Full	Dim. en mm	Referència	Codi de disseny
1:10	A1	1	100	FLO05	ASME Secció VIII Div.1



Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB
AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS**

Document 5: PLEC DE CONDICIONS

Autor: Adrià Bustamante Garriga

Director: Javier Díaz Gutiérrez

Tutor: Diego Ramos Romero

Data: Setembre 2022



**UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI**

etsEQ

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

ÍNDEX PLEC DE CONDICIONS

DOCUMENT 5. PLEC DE CONDICIONS	5
1 PLEC DE CONDICIONS FACULTATIVES I LEGALS.....	5
1.1 CONTRACTACIÓ	5
1.2 SUBCONTRACTACIÓ.....	5
1.3 RÈGIM DE LA INTERVENCIÓ.....	5
1.4 PROPIETAT INDUSTRIAL I COMERCIAL	5
1.5 PRESCRIPCIONS FACULTATIVES I LEGALS	6
1.5.1 Objecte general del plec de condicions.....	6
1.5.2 Documents importants per a la fabricació	6
1.5.3 Responsabilitat de l'enginyer tècnic.....	6
1.5.4 Tasques de l'enginyer tècnic	6
1.5.5 Disponibilitat total del llibre d'ordres	6
1.5.6 Accés al llibre d'ordres	6
1.5.7 Peces mal executades.....	7
1.5.8 Modificació de qualsevol element	7
1.5.9 Alteracions en el projecte.....	7
1.5.10 Responsable davant els tribunals de justícia.....	7
1.5.11 Compromís a l'entrega de l'equip	7
1.5.12 Estat dels materials durant la seva adquisició	7
2 PLEC DE CONDICIONS GENERALS	8
2.1 DESCRIPCIÓ GENERAL DEL PROJECTE.....	8
2.1.1 Descripció del projecte del nou reactor R-2000.....	8
2.1.2 Normatives aplicades durant l'execució del projecte	8
2.1.2.1 Normatives de dibuix tècnic.....	8
2.1.2.2 Materials utilitzats al projecte.....	8
2.2 PRESCRIPCIONS SOBRE ELS MATERIALS	9
2.2.1 Manipulació de les peces	9

2.2.2	Garantia dels materials.....	9
2.2.3	Qualitat dels materials	9
2.2.4	Propietats dels materials.....	9
2.2.5	Examinació i aprovació del material.....	9
2.2.6	Mecanització i tractament dels materials	9
2.2.7	Mecanització de talls a les peces.....	9
2.2.8	Materials laminats, extrusionats i elements tubulars.....	9
2.2.9	Resultats dels assajos	10
2.2.10	Normativa referent a les proves de tracció.....	10
2.2.11	Control funcional o dinàmic de les deformacions.....	10
2.3	PRESCRIPCIONS SOBRE ELS ASSAJOS.....	10
2.3.1	Normes de control i verificació pel fabricant	10
2.3.2	Control de l'equip	10
2.3.3	Responsabilitat de l'inspector	10
2.3.4	Procés de verificació	10
2.3.5	Recepció provisional.....	11
2.3.6	Inspecció realitzada pel director tècnic.....	11
2.3.7	Acceptació de la revisió definitiva	11
3	PLEC DE CONDICIONS ECONÒMIQUES.....	11
3.1	Formalització del contracte	11
3.2	Responsabilitat de contractació pel director tècnic.....	11
3.3	Firma dels documents contractuals	11
3.4	Fases del pagament del projecte.....	12
3.5	Drets del fabricant durant la fabricació de l'equip.....	12
3.6	Entrega de duració limitada	12
3.7	Causes suficients de rescissió de contracte	12
4	PLEC DE CONDICIONS PARTICULARS I TÈCNIQUES.....	13
4.1	Obligacions amb la utilització dels materials	13

4.2 Vestimenta de treball	13
4.3 Ulleres de seguretat	13
4.4 Manipulació d'encenalls	13
4.5 Eines, útils i calibres.....	13
4.6 Polseres i aliances.....	13
4.7 Proteccions especials en màquines.....	14
4.8 Modificació de màquines	14
4.9 Extintor d'incendis.....	14
5 PLEC DE CONDICIONS DE SEGURETAT I HIGIÈNE	15
5.1 Responsabilitat del fabricant en front als accidents	15
5.2 Compliment de les lleis del reglament de caràcter oficial	15



DOCUMENT 5. PLEC DE CONDICIONS

1 PLEC DE CONDICIONS FACULTATIVES I LEGALS

1.1 CONTRACTACIÓ

En referència a l'execució dels treballs, la data d'inici de les mateixes s'especificarà al plec de condicions particular. De la mateixa manera, la data d'ordre d'inici de les tasques també serà especificada al respectiu plec de condicions.

El contracte serà firmat per part del fabricant, del seu representant legal o apoderat, el qual haurà d'estar en possessió de les acreditacions corresponents.

1.2 SUBCONTRACTACIÓ

El fabricant de l'equip podrà subcontractar qualsevol servei per tal de continuar amb el treball de les diferents operacions imposades pel projecte.

La subcontractació corresponent serà comunicada prèviament a l'empresa FLUOR. A la mateixa comunicació caldrà informar de l'objectiu que es vol assolir i de les condicions tècniques i econòmiques de la subcontractació.

1.3 RÈGIM DE LA INTERVENCIÓ

El fabricant de l'equip tindrà la obligació de complir les ordres d'intervenció que siguin imposades per FLUOR. En el cas que s'exigeixi unes condicions d'urgència, la durada de la intervenció no serà inferior a 10 dies.

D'aquesta manera, segons la durada d'ordres exigides per FLUOR, el fabricant haurà de disposar del nombre d'operaris necessaris per a intervenir de forma ràpida i correcta.

1.4 PROPIETAT INDUSTRIAL I COMERCIAL

Una vegada firmat el contracte, el fabricant comunicarà a l'empresa propietària (client) tota classe de reivindicacions en quant al subministrament d'eines i materials, als procediments i mitjans utilitzats i, a la disposició dels plànols.

En el cas que fos necessari, correspondrà al contracte de la obtenció de les llicències i dels permisos precisos i, suportar la càrrega dels drets i de la identificació corresponents.

En el cas d'estar en front d'accions dirigides contra la Propietat per tercers (titulars de llicències, autoritzacions, plànols, models, marques de fàbrica, etc.), el fabricant respondrà davant de l'empresa propietària sobre el resultat d'aquestes accions, estant obligat a presentar la seva ajuda en l'exercici de les excepcions que no pugui afrontar l'empresa propietària.

1.5 PRESCRIPCIONS FACULTATIVES I LEGALS

1.5.1 Objecte general del plec de condicions

El plec de condicions fa referència al contracte del projecte de disseny i fabricació del reactor R-2000.

1.5.2 Documents importants per a la fabricació

La fabricació dels diferents elements dissenyats s'ajustarà tant a la memòria com als plànols que conté el mateix projecte.

1.5.3 Responsabilitat de l'enginyer tècnic

L'enginyer tècnic serà el responsable de tots els defectes, els accidents i les conseqüències que es produeixin, a causa del càlcul erroni d'algun dels components del sistema.

1.5.4 Tasques de l'enginyer tècnic

L'enginyer tècnic tindrà el permís de poder realitzar proves, assajos i inspeccions que cregui oportunes, durant la fabricació i el muntatge dels diferents elements que componen l'equip a pressió.

1.5.5 Disponibilitat total del llibre d'ordres

El fabricant de l'equip estarà obligat a atendre i a complir les ordres verbals o escrites, que li hagin estat dirigides per qualsevol enginyer tècnic de FLUOR. D'aquesta manera, es facilitarà que hi hagi una millora en el procés de fabricació.

1.5.6 Accés al llibre d'ordres

El fabricant de l'equip disposarà en tot moment del llibre d'ordres per a la seva consulta. També quedaran per escrit totes les ordres verbals.

1.5.7 Peces mal executades

Si l'enginyer tècnic considera que existeixen peces mal executades, tindrà el dret de rebutjar-les. L'empresa fabricant de l'equip tindrà el deure de fabricar les peces mal executades, les vegades que faci falta, fins a aconseguir l'aprovació corresponent. El fabricant no tindrà dret a cap compensació econòmica, ni a cap augment del cost, sobre el que s'ha projectat inicialment.

1.5.8 Modificació de qualsevol element

En el cas de formalitzar-se la modificació de qualsevol element que intervingui en l'equip i aquesta hagi sigut aprovada per FLUOR, es donarà coneixement al fabricant de la variació corresponent. Per part d'aquest, no se li admetran reclamacions que depenguin de la fixació dels preus.

1.5.9 Alteracions en el projecte

El fabricant té completament prohibit realitzar qualsevol tipus d'alteració en qualsevol part del projecte aprovat, sense l'autorització de FLUOR. D'aquesta manera, no es realitzaria l'abonament dels augments que poguessin resultar a conseqüència de les modificacions no autoritzades.

1.5.10 Responsable davant els tribunals de justícia

El fabricant serà el responsable davant dels tribunals de justícia, respecte als accidents o desperfectes que es derivin dels elements fabricats de l'equip.

1.5.11 Compromís a l'entrega de l'equip

El fabricant es comprometrà a entregar l'equip durant el règim de temps projectat, fent front a les despeses i a les conseqüències originades en l'endarreriment de l'entrega.

1.5.12 Estat dels materials durant la seva adquisició

Els materials seran adquirits per l'empresa fabricant en un perfecte estat de subministrament i conservació, comprovant la qualitat i les característiques dels mateixos, al realitzar la recepció d'aquests.

2 PLEC DE CONDICIONS GENERALS

2.1 DESCRIPCIÓ GENERAL DEL PROJECTE

2.1.1 Descripció del projecte del nou reactor R-2000

El present projecte consisteix en el disseny i la fabricació del reactor R-2000.

Els materials dels elements dissenyats i els diferents elements normalitzats han de ser exactament els indicats a la memòria de càlcul. En cas de no complir-ho, s'imposarien amonestacions econòmiques que més endavant s'indicaran.

L'equip dissenyat compta amb la documentació acreditativa de compliment de la Directiva 2014/68/UE, la qual regula els recipients a pressió. En el cas d'incompliment de normativa, s'ocasionaria la pèrdua de la corresponent acreditació.

2.1.2 Normatives aplicades durant l'execució del projecte

En aquest apartat es mostra una còpia de les normes, els reglaments i les lleis de caràcter general que siguin d'aplicació en l'execució d'aquest projecte:

2.1.2.1 Normatives de dibuix tècnic

- UNE 1032: Principis generals de representació.
- UNE 1037: Indicacions dels estats superficials en els dibuixos.
- UNE 1039: Acotació, principis generals, definicions i mètodes.
- UNE 1135: Llista d'elements.
- UNE 1166-1: Documentació tècnica de productes del vocabulari (Part 1: Termes relatius a les generalitats dels dibuixos tècnics i respecte al tipus de dibuix.)
- UNE-EN ISO 6410-1: Rosques i peces roscades (Part 1: Convenis generals).
- UNE-EN ISO 6410-2: Rosques i peces roscades (Part 2: Inserts roscats).
- UNE-EN ISO 6410-3: Rosques i peces roscades (Part 3: Representació simplificada).
- UNE-EN ISO 6433: Referència en els elements.

2.1.2.2 Materials utilitzats al projecte

- ASME SA-240 316L, per a la fabricació dels elements de xapa en acer inoxidable.
- ASME A182 F316L, per a la fabricació de brides de connexió B16.5.
- ASME SA-312 TP316L, per a la fabricació de canonades B36.16.

- ASME SA-193 B7, per a la fabricació de cargolam.

2.2 PRESCRIPCIONS SOBRE ELS MATERIALS

2.2.1 Manipulació de les peces

La manipulació de les peces es realitzarà amb la major atenció possible, no desembolicant res fins al moment d'utilitzar-ho. Es comprovarà que no hagin sofert cap desperfecte, sinó serà retornada al magatzem.

2.2.2 Garantia dels materials

Tots els materials que siguin utilitzats durant la fabricació, han de ser d'absoluta garantia.

2.2.3 Qualitat dels materials

Els elements estaran fabricats principalment en acer inoxidable. Estaran exempts d'impureses i de qualsevol altre defecte de fàbrica que modifiquin les seves propietats. La seva estructura serà de gra fi i la superfície serà neta i sense cap defecte.

2.2.4 Propietats dels materials

Els materials a emprar en cada un dels elements correspondran a la seva composició i propietats, citats en aquest projecte.

2.2.5 Examinació i aprovació del material

Qualsevol altre material que vulgui ser empleat, tindrà que ser sotmès a examen i ser aprovat per la direcció tècnica FLUOR.

2.2.6 Mecanització i tractament dels materials

Les característiques i les propietats dels materials s'han de substituir després del mecanitzat i dels tractaments corresponents.

2.2.7 Mecanització de talls a les peces

Els talls que es realitzin que siguin necessaris per a procedir al mecanitzat de les peces, es farà en fred.

2.2.8 Materials laminats, extrusionats i elements tubulars

Els materials laminats, extrusionats i els elements tubulars seran sotmesos a assaig de tracció, una peça de cada lot de 25 o bé de menor quantitat depenent de l'estat en que

es rebin els materials o respecte a la possible arbitrarietat que puguin presentar les seves característiques.

2.2.9 Resultats dels assajos

En el cas que els resultats dels assajos no corresponguin als establerts en aquest plec de condicions, es sotmetran a nous assajos. Si els resultats obtinguts no són satisfactoris, aquests seran rebutjats.

2.2.10 Normativa referent a les proves de tracció

Les proves a tracció s'especificaran segons les normes DIN: 1542, 1543, 1602 i 1622.

2.2.11 Control funcional o dinàmic de les deformacions

L'objecte del control funcional o dinàmic és la determinació de les deformacions que puguin presentar-se i que poguessin comprometre la precisió geomètrica i dimensional dels elements elaborats. Aquest control ha d'oferir les suficients garanties per a la seguretat de les peces, a més de precisió geomètrica i de forma.

2.3 PRESCRIPCIONS SOBRE ELS ASSAJOS

2.3.1 Normes de control i verificació pel fabricant

Les normes presents de control i de verificació seran representades pel fabricant, amb la finalitat d'establir la correspondència del productor amb els requisits exigits de producció, precisió i funcionament. Qualsevol falta del compliment de les presents normes repercutirà en el comportament del client, en el sentit de alliberar-lo d'aquest o d'eximir-lo d'alguna de les clàusules que poguessin afectar.

2.3.2 Control de l'equip

El control de l'equip es realitzarà pel fabricant a mesura que es fabriquin els diferents elements que constitueixen l'equip i a mesura que s'efectua el muntatge.

2.3.3 Responsabilitat de l'inspector

Totes les despeses normals ocasionades pels processos de verificació i comprovació a les que es refereix aquest plec de condicions, serà dut a terme per l'inspector.

2.3.4 Procés de verificació

Durant el procés de verificació no es podrà realitzar cap separació de les parts que constitueixen el sistema, on es sotmetrà al control tal i com s'hagi muntat definitivament.

Qualsevol anormalitat que no assegurï el compliment exacte d'aquest article, anul·la les proves que en aquestes condicions s'estiguin executant.

2.3.5 Recepció provisional

La recepció provisional es durà a terme quan s'hagin acabat els treballs objecte del present contracte, mitjançant una sol·licitud del fabricant dirigida al propietari i al director tècnic.

2.3.6 Inspecció realitzada pel director tècnic

El director tècnic procedirà a la inspecció dels treballs mencionats i si aquests estan en estat d'haver sigut rebuts, estendrà una acta fent-ho constar o bé els motius de la no acceptació en el seu cas.

2.3.7 Acceptació de la revisió definitiva

Una vegada es realitzi i s'accepti la revisió definitiva, el fabricant quedarà lliure de tota responsabilitat en tot el que estigui relacionat amb l'elaboració del projecte present.

3 PLEC DE CONDICIONS ECONÒMIQUES

3.1 Formalització del contracte

Realització d'un contracte fent constar tots els tipus de condicions generals i econòmiques i, la responsabilitat general que aquest té davant d'ell, respecte tot el referent a l'execució material del que consta el present projecte.

3.2 Responsabilitat de contractació pel director tècnic

El director tècnic contractarà l'empresa fabricant i aquesta quedarà així relacionada amb ell i serà responsable davant del mateix, de tot el que afecti o sigui la seva incumbència en lo relacionat amb l'execució del conjunt de les peces.

3.3 Firma dels documents contractuals

Tots els documents del contracte aniran segellats i registrats pel propi fabricant. Qualsevol multa que es derivi de l'incompliment d'aquests requisits serà per càrrec del fabricant.

3.4 Fases del pagament del projecte

El pagament del cost del present projecte, s'efectuarà de la següent manera:

- El 20% en el moment en que es realitza l'entrega del projecte i de la firma del contracte.
- El 50%, que en total fan el 70%, a la meitat aproximadament de la fabricació del conjunt de les peces, segons el que cregui convenient l'enginyer tècnic de fabricació.
- El 30% restant una vegada s'efectuï la recepció definitiva.

3.5 Drets del fabricant durant la fabricació de l'equip

Durant l'execució dels elements, el fabricant no tindrà el dret a la indemnització pel major preu que pogués costar o pels errors comesos durant l'execució.

3.6 Entrega de duració limitada

Tal i com constarà al contracte, existirà una entrega de duració limitada per a la finalització en l'elaboració de les peces. Aquest límit de temps, acceptat pel director tècnic i el fabricant, no podrà ser sobrepassat.

3.7 Causes suficients de rescissió de contracte

Es considerarà causes suficients de rescissió de contracte les que a continuació es senyalen:

1. La fallida del mateix.
2. Les alteracions del contracte per les següents causes:
 - a. La modificació del projecte en forma tal que presenti alteracions fonamentals del mateix, sota la visió de la direcció tècnica i, en qualsevol cas, sempre que la variació del pressupost d'execució com a conseqüència d'aquestes variacions, representant més o menys el 25% de l'import total.
 - b. La modificació d'unitats sempre que aquestes siguin d'un 40%.
3. La suspensió de la construcció començada sempre que el termini de suspensió hagi excedit de tres mesos, com a mínim.
4. El no donar començament al contractista als treballs dins del termini assenyalat en les condicions particulars del següent projecte.



5. La finalització del termini d'execució de l'equip sense arribar al final d'aquest.
6. L'abandonament de l'execució sense cap causa justificada, a jutge de la direcció tècnica.
7. La mala fe en l'execució dels treballs, a judici d'aquesta direcció.

4 PLEC DE CONDICIONS PARTICULARS I TÈCNIQUES

4.1 Obligacions amb la utilització dels materials

Es procurarà ser ordenat tant en els materials emmagatzemats, com en els retalls i residus que es puguin derivar, amb la finalitat d'evitar que es bloquegi el pas durant la realització de les diferents operacions que es duuguin a terme al voltant de l'equip.

4.2 Vestimenta de treball

El vestit de treball serà tancat i ignífug. Les mànigues estaran botonades o arromangades per davant. La jaqueta de treball no disposarà de butxaques al pit, donat que podria ser enganxat i arrencat. No es podrà portar cinturó. Ús obligatori de botes i ulleres de seguretat.

4.3 Ulleres de seguretat

Les ulleres com a mesura de seguretat preventiva són indispensables en les operacions de tornejat, afilat d'eines, desbarbat, llimat, etc.

4.4 Manipulació d'encenalls

La manipulació dels encenalls es realitzarà mitjançant ganxos o pales depenent de l'estat de la màquina que les produeix: corbadora, màquina de tall, etc.

4.5 Eines, útils i calibres

Les eines, els útils i els calibres hauran d'estar col·locats al lloc de treball corresponent i pròxims a l'operari, en el cas d'utilitzar-se en cada operació. Tot i això, està completament prohibit recolzar o deixar damunt de qualsevol òrgan de l'equip.

4.6 Polseres i aliances

Estarà prohibit portar polseres o aliances durant la realització dels treballs, ja que es poden quedar enganxats en qualsevol òrgan de l'equip.

4.7 Proteccions especials en màquines

En aquelles màquines que degut a l'elevada velocitat de tall a l'efectuar el treball o degut a la naturalesa del material, els encenalls despresos que saltin sobre l'operari, les màquines hauran d'estar previstes d'una protecció o pantalla.

4.8 Modificació de màquines

Sota ningun concepte s'eliminarà de la màquina aquelles carcasses, proteccions, òrgans de seguretat,... que posseeixin originalment, les màquines-eina citades.

4.9 Extintor d'incendis

Al taller i, en un lloc fàcilment accessible, a la paret i a una altura d'1,20 metres fins a la seva base, hi haurà un extintor d'incendis amb les seves instruccions de maneig ben visibles.

5 PLEC DE CONDICIONS DE SEGURETAT I HIGIÈNE

5.1 Responsabilitat del fabricant en front als accidents

El fabricant serà el responsable dels accidents que es produeixin per inexperiència o deixadesa, sobrevinguessin en la realització dels treballs davant dels Tribunals de justícia.

5.2 Compliment de les lleis del reglament de caràcter oficial

El fabricant està obligat a complir amb tot lo estipulat en totes les lleis de reglament de caràcter oficial, així com a la resta de lleis i disposicions vigents que siguin d'aplicació durant els treballs.

El projectista:

Adrià Bustamante Garriga



Tarragona, 20 de juliol del 2022

Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB
AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS**

Document 6: AMIDAMENTS

Autor: Adrià Bustamante Garriga

Director: Javier Díaz Gutiérrez

Tutor: Diego Ramos Romero

Data: Setembre 2022



**UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI**

etsEQ

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

AMIDAMENTS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI RESUM UTS LONGITUT AMPLADA ALÇADA QUANTITAT

CAPÍTOL 01 FONS SUPERIOR

01.01	u	Fons Korbogon I.D. 1730 x 15 mm Thk.				1,00
						1,00
01.02	u	Boca d'home DIN 28124-3				1,00
						1,00
01.03	u	Canonades ASME B36.19				1,00
						1,00
01.04	u	Brides ASME B16.5				1,00
						1,00
01.05	u	Brides DIN 28137				1,00
						1,00
01.06	u	Juntes ASME B16.20				1,00
						1,00
01.07	u	Cargolam				1,00
						1,00

AMIDAMENTS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI RESUM UTS LONGITUT AMPLADA ALÇADA QUANTITAT

CAPÍTOL 02 ENVOLVENT

02.01	u	Envolvent I.D. 1730 x 10 mm Thk.				1,00
						1,00
02.02	u	Canonades ASME B36.19				1,00
						1,00
02.03	u	Brides ASME B16.5				1,00
						1,00
02.04	u	Suports laterals DIN 28083				4,00
						4,00
02.05	u	Orelletes d'hissat				2,00
						2,00
02.06	u	Orelleta de retinguda				1,00
						1,00
02.07	u	Cargolam				1,00
						1,00

AMIDAMENTS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	UTS	LONGITUT	AMPLADA	ALÇADA	QUANTITAT
------	-------	-----	----------	---------	--------	-----------

CAPÍTOL 03 FONS INFERIOR

03.01	u	Fons Korbogen I.D. 1730 x 10 Thk.				
-------	---	-----------------------------------	--	--	--	--

1,00

1,00

03.02	u	Brides DIN 28117				
-------	---	------------------	--	--	--	--

1,00

1,00

AMIDAMENTS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	UTS	LONGITUT	AMPLADA	ALÇADA	QUANTITAT
------	-------	-----	----------	---------	--------	-----------

CAPÍTOL 04 ELEMENTS INTERNS

04.01	u	Canonades ASME B36.19				
-------	---	-----------------------	--	--	--	--

1,00

1,00

04.02	u	Brides ASME B16.5				
-------	---	-------------------	--	--	--	--

1,00

1,00

04.03	u	Cargolam				
-------	---	----------	--	--	--	--

1,00

1,00

04.04	u	Juntes ASME B16.20				
-------	---	--------------------	--	--	--	--

1,00

1,00

04.05	u	Juntes ASME B16.21				
-------	---	--------------------	--	--	--	--

1,00

1,00

AMIDAMENTS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	UTS	LONGITUT	AMPLADA	ALÇADA	QUANTITAT
CAPÍTOL 05 ELECTRICITAT						
05.01	h	Mà d'obra d'electricitat				1,00
						1,00
05.02	u	Materials d'electricitat				1,00
						1,00

AMIDAMENTS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	UTS	LONGITUT	AMPLADA	ALÇADA	QUANTITAT
------	-------	-----	----------	---------	--------	-----------

CAPÍTOL 06 INSTRUMENTACIÓ

06.01	h	Mà d'obra d'instrumentació				
-------	---	----------------------------	--	--	--	--

1,00

1,00

06.02	u	Materials d'instrumentació				
-------	---	----------------------------	--	--	--	--

1,00

1,00

AMIDAMENTS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	UTS	LONGITUT	AMPLADA	ALÇADA	QUANTITAT
------	-------	-----	----------	---------	--------	-----------

CAPÍTOL 07 FABRICACIÓ I MUNTATGE

07.01	u	Assemblatge del Fons Superior				1,00
-------	---	-------------------------------	--	--	--	------

1,00

07.02	u	Assemblatge de l'envolvent				1,00
-------	---	----------------------------	--	--	--	------

1,00

07.03	u	Assemblatge del Fons Inferior				1,00
-------	---	-------------------------------	--	--	--	------

1,00

07.04	u	Assemblatge dels suports laterals				1,00
-------	---	-----------------------------------	--	--	--	------

1,00

07.05	u	Assemblatge dels elements d'hissat				1,00
-------	---	------------------------------------	--	--	--	------

1,00

1,00

AMIDAMENTS

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	UTS	LONGITUT	AMPLADA	ALÇADA	QUANTITAT
------	-------	-----	----------	---------	--------	-----------

CAPÍTOL 08 EMBALATGE I TRANSPORT

08.01	u	Embalatge de l'equip				
-------	---	----------------------	--	--	--	--

1,00

1,00

08.02	u	Transport de l'equip				
-------	---	----------------------	--	--	--	--

1,00

1,00

Treball de Fi de Grau
Enginyeria Mecànica



**PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB
AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS**

Document 7: PRESSUPOST

Autor: Adrià Bustamante Garriga

Director: Javier Díaz Gutiérrez

Tutor: Diego Ramos Romero

Data: Setembre 2022



**UNIVERSITAT
ROVIRA i VIRGILI**

etsEQ

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

ÍNDEX PRESSUPOST

DOCUMENT 7. PRESSUPOST.....	2
1 QUADRE DE PREUS 1	2
2 QUADRE DE PREUS 2	10
3 PRESSUPOST GENERAL	18
4 RESUM DEL PRESSUPOST	26

QUADRE DE PREUS 1

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM	PREU
CAPÍTOL 01 FONS SUPERIOR			
01.01	u	Fons Korbogon I.D. 1730 x 15 mm Thk.	15.249,95
			QUINZE MIL DOS-CENTS QUARANTA-NOU EUROS amb NORANTA-CINC CÈNTIMS
01.02	u	Boca d'home DIN 28124-3	141,91
			CENT QUARANTA-UN EUROS amb NORANTA-UN CÈNTIMS
01.03	u	Canonades ASME B36.19	96,00
			NORANTA-SIS EUROS
01.04	u	Brides ASME B16.5	679,80
			SIS-CENTS SETANTA-NOU EUROS amb VUITANTA CÈNTIMS
01.05	u	Brides DIN 28137	482,65
			QUATRE-CENTS VUITANTA-DOS EUROS amb SEIXANTA-CINC CÈNTIMS
01.06	u	Juntes ASME B16.20	184,40
			CENT VUITANTA-QUATRE EUROS amb QUARANTA CÈNTIMS
01.07	u	Cargolam	139,57
			CENT TRENTA-NOU EUROS amb CINQUANTA-SET CÈNTIMS

QUADRE DE PREUS 1

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM	PREU
CAPÍTOL 02 ENVOLVENT			
02.01	u	Envolvent I.D. 1730 x 10 mm Thk.	6.738,43
			SIS MIL SET-CENTS TRENTA-VUIT EUROS amb QUARANTA-TRES CÈNTIMS
02.02	u	Canonades ASME B36.19	25,26
			VINT-I-CINC EUROS amb VINT-I-SIS CÈNTIMS
02.03	u	Brides ASME B16.5	101,00
			CENT UN EUROS
02.04	u	Suports laterals DIN 28083	502,58
			CINC-CENTS DOS EUROS amb CINQUANTA-VUIT CÈNTIMS
02.05	u	Orelletes d'hissat	110,04
			CENT DEU EUROS amb QUATRE CÈNTIMS
02.06	u	Orelleta de retinguda	35,10
			TRENTA-CINC EUROS amb DEU CÈNTIMS
02.07	u	Cargolam	31,92
			TRENTA-UN EUROS amb NORANTA-DOS CÈNTIMS

QUADRE DE PREUS 1

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM	PREU
CAPÍTOL 03 FONS INFERIOR			
03.01	u	Fons Korbogen I.D. 1730 x 10 Thk.	7.861,59
			SET MIL VUIT-CENTS SEIXANTA-UN EUROS amb CINQUANTA-NOU CÈNTIMS
03.02	u	Brides DIN 28117	322,14
			TRES-CENTS VINT-I-DOS EUROS amb CATORZE CÈNTIMS

QUADRE DE PREUS 1

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM	PREU
CAPÍTOL 04 ELEMENTS INTERNS			
04.01	u	Canonades ASME B36.19	109,20
04.02	u	Brides ASME B16.5	CENT NOU EUROS amb VINT CÈNTIMS 474,00
04.03	u	Cargolam	QUATRE-CENTS SETANTA-QUATRE EUROS 133,56
04.04	u	Juntes ASME B16.20	CENT TRENTA-TRES EUROS amb CINQUANTA-SIS CÈNTIMS 84,00
04.05	u	Juntes ASME B16.21	VUITANTA-QUATRE EUROS 216,00
			DOS-CENTS SETZE EUROS

QUADRE DE PREUS 1

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM	PREU
CAPÍTOL 05 ELECTRICITAT			
05.01	h	Mà d'obra d'electricitat	2.107,50
05.02	u	Materials d'electricitat	DOS MIL CENT SET EUROS amb CINQUANTA CÈNTIMS 12.500,00
			DOTZE MIL CINC-CENTS EUROS

QUADRE DE PREUS 1

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM	PREU
CAPÍTOL 06 INSTRUMENTACIÓ			
06.01	h	Mà d'obra d'instrumentació	3.372,00
			TRES MIL TRES-CENTS SETANTA-DOS EUROS
06.02	u	Materials d'instrumentació	14.000,00
			CATORZE MIL EUROS

QUADRE DE PREUS 1

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM	PREU
CAPÍTOL 07 FABRICACIÓ I MUNTATGE			
07.01	u	Assemblatge del Fons Superior	3.404,90
		TRES MIL QUATRE-CENTS QUATRE EUROS amb NORANTA CÈNTIMS	
07.02	u	Assemblatge de l'envolvent	2.703,20
		DOS MIL SET-CENTS TRES EUROS amb VINT CÈNTIMS	
07.03	u	Assemblatge del Fons Inferior	2.964,48
		DOS MIL NOU-CENTS SEIXANTA-QUATRE EUROS amb QUARANTA-VUIT CÈNTIMS	
07.04	u	Assemblatge dels suports laterals	1.750,38
		MIL SET-CENTS CINQUANTA EUROS amb TRENTA-VUIT CÈNTIMS	
07.05	u	Assemblatge dels elements d'hissat	2.387,50
		DOS MIL TRES-CENTS VUITANTA-SET EUROS amb CINQUANTA CÈNTIMS	

QUADRE DE PREUS 1

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM	PREU
CAPÍTOL 08 EMBALATGE I TRANSPORT			
08.01	u	Embalatge de l'equip	524,56
			CINC-CENTS VINT-I-QUATRE EUROS amb CINQUANTA-SIS CÈNTIMS
08.02	u	Transport de l'equip	594,00
			CINC-CENTS NORANTA-QUATRE EUROS

QUADRE DE PREUS 2

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM		PREU
CAPÍTOL 01 FONS SUPERIOR				
01.01	u	Fons Korbogen I.D. 1730 x 15 mm Thk.		
			Materials	15.249,95
			TOTAL PARTIDA	15.249,95
01.02	u	Boca d'home DIN 28124-3		
			Materials	141,91
			TOTAL PARTIDA	141,91
01.03	u	Canonades ASME B36.19		
			Materials	96,00
			TOTAL PARTIDA	96,00
01.04	u	Brides ASME B16.5		
			Materials	679,80
			TOTAL PARTIDA	679,80
01.05	u	Brides DIN 28137		
			Materials	482,65
			TOTAL PARTIDA	482,65
01.06	u	Juntes ASME B16.20		
			Materials	184,40
			TOTAL PARTIDA	184,40
01.07	u	Cargolam		
			Materials	139,57
			TOTAL PARTIDA	139,57

QUADRE DE PREUS 2

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM		PREU
CAPÍTOL 02 ENVOLVENT				
02.01	u	Envolvent I.D. 1730 x 10 mm Thk.		
			Materials	6.738,43
			TOTAL PARTIDA	6.738,43
02.02	u	Canonades ASME B36.19		
			Materials	25,26
			TOTAL PARTIDA	25,26
02.03	u	Brides ASME B16.5		
			Materials	101,00
			TOTAL PARTIDA	101,00
02.04	u	Suports laterals DIN 28083		
			Materials	502,58
			TOTAL PARTIDA	502,58
02.05	u	Orelletes d'hissat		
			Materials	110,04
			TOTAL PARTIDA	110,04
02.06	u	Orelleta de retinguda		
			Materials	35,10
			TOTAL PARTIDA	35,10
02.07	u	Cargolam		
			Materials	31,92
			TOTAL PARTIDA	31,92

QUADRE DE PREUS 2

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM		PREU
CAPÍTOL 03 FONS INFERIOR				
03.01	u	Fons Korbogen I.D. 1730 x 10 Thk.		
			Materials	7.861,59
			TOTAL PARTIDA	7.861,59
03.02	u	Brides DIN 28117		
			Materials	322,14
			TOTAL PARTIDA	322,14

QUADRE DE PREUS 2

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM		PREU
CAPÍTOL 04 ELEMENTS INTERNS				
04.01	u	Canonades ASME B36.19		
			Materials	109,20
			TOTAL PARTIDA	109,20
04.02	u	Brides ASME B16.5		
			Materials	474,00
			TOTAL PARTIDA	474,00
04.03	u	Cargolam		
			Materials	133,56
			TOTAL PARTIDA	133,56
04.04	u	Juntes ASME B16.20		
			Materials	84,00
			TOTAL PARTIDA	84,00
04.05	u	Juntes ASME B16.21		
			Materials	216,00
			TOTAL PARTIDA	216,00

QUADRE DE PREUS 2

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM		PREU
CAPÍTOL 05 ELECTRICITAT				
05.01	h	Mà d'obra d'electricitat		
			Mà d'obra.....	2.107,50
			TOTAL PARTIDA	2.107,50
05.02	u	Materials d'electricitat		
			Materials.....	12.500,00
			TOTAL PARTIDA	12.500,00

QUADRE DE PREUS 2

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM		PREU
CAPÍTOL 06 INSTRUMENTACIÓ				
06.01	h	Mà d'obra d'instrumentació		
			Mà d'obra.....	3.372,00
			TOTAL PARTIDA	3.372,00
06.02	u	Materials d'instrumentació		
			Materials.....	14.000,00
			TOTAL PARTIDA	14.000,00

QUADRE DE PREUS 2

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM		PREU
CAPÍTOL 07 FABRICACIÓ I MUNTATGE				
07.01	u	Assemblatge del Fons Superior		
			Mà d'obra.....	2.267,40
			Maquinària.....	1.137,50
			TOTAL PARTIDA	3.404,90
07.02	u	Assemblatge de l'envolvent		
			Mà d'obra.....	1.462,80
			Maquinària.....	1.240,40
			TOTAL PARTIDA	2.703,20
07.03	u	Assemblatge del Fons Inferior		
			Mà d'obra.....	1.924,48
			Maquinària.....	1.040,00
			TOTAL PARTIDA	2.964,48
07.04	u	Assemblatge dels suports laterals		
			Mà d'obra.....	1.197,88
			Maquinària.....	552,50
			TOTAL PARTIDA	1.750,38
07.05	u	Assemblatge dels elements d'hissat		
			Mà d'obra.....	1.575,00
			Maquinària.....	812,50
			TOTAL PARTIDA	2.387,50

QUADRE DE PREUS 2

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	UT	RESUM		PREU
CAPÍTOL 08 EMBALATGE I TRANSPORT				
08.01	u	Embalatge de l'equip		
			TOTAL PARTIDA	524,56
08.02	u	Transport de l'equip		
			Maquinària.....	594,00
			TOTAL PARTIDA	594,00

PRESSUPOST

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT	PREU	IMPORT
CAPÍTOL 01 FONS SUPERIOR				
01.01	u Fons Korbogon I.D. 1730 x 15 mm Thk.	1,00	15.249,95	15.249,95
01.02	u Boca d'home DIN 28124-3	1,00	141,91	141,91
01.03	u Canonades ASME B36.19	1,00	96,00	96,00
01.04	u Brides ASME B16.5	1,00	679,80	679,80
01.05	u Brides DIN 28137	1,00	482,65	482,65
01.06	u Juntes ASME B16.20	1,00	184,40	184,40
01.07	u Cargolam	1,00	139,57	139,57
TOTAL CAPÍTOL 01				16.974,28

PRESSUPOST

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT	PREU	IMPORT
CAPÍTOL 02 ENVOLVENT				
02.01	u Envolvent I.D. 1730 x 10 mm Thk.	1,00	6.738,43	6.738,43
02.02	u Canonades ASME B36.19	1,00	25,26	25,26
02.03	u Brides ASME B16.5	1,00	101,00	101,00
02.04	u Suports laterals DIN 28083	4,00	502,58	2.010,32
02.05	u Orelletes d'hissat	2,00	110,04	220,08
02.06	u Orelleta de retinguda	1,00	35,10	35,10
02.07	u Cargolam	1,00	31,92	31,92
TOTAL CAPÍTOL 02.....				9.162,11

PRESSUPOST

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT	PREU	IMPORT
CAPÍTOL 03 FONS INFERIOR				
03.01	u Fons Korbogen I.D. 1730 x 10 Thk.	1,00	7.861,59	7.861,59
03.02	u Brides DIN 28117	1,00	322,14	322,14
TOTAL CAPÍTOL 03.....				8.183,73

PRESSUPOST

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT	PREU	IMPORT
CAPÍTOL 04 ELEMENTS INTERNS				
04.01	u Canonades ASME B36.19	1,00	109,20	109,20
04.02	u Brides ASME B16.5	1,00	474,00	474,00
04.03	u Cargolam	1,00	133,56	133,56
04.04	u Juntes ASME B16.20	1,00	84,00	84,00
04.05	u Juntes ASME B16.21	1,00	216,00	216,00
TOTAL CAPÍTOL 04				1.016,76

PRESSUPOST

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT	PREU	IMPORT
CAPÍTOL 05 ELECTRICITAT				
05.01	h Mà d'obra d'electricitat	1,00	2.107,50	2.107,50
05.02	u Materials d'electricitat	1,00	12.500,00	12.500,00
TOTAL CAPÍTOL 05.....				14.607,50

PRESSUPOST

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT	PREU	IMPORT
CAPÍTOL 06 INSTRUMENTACIÓ				
06.01	h Mà d'obra d'instrumentació	1,00	3.372,00	3.372,00
06.02	u Materials d'instrumentació	1,00	14.000,00	14.000,00
TOTAL CAPÍTOL 06.....				17.372,00

PRESSUPOST

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT	PREU	IMPORT
CAPÍTOL 07 FABRICACIÓ I MUNTATGE				
07.01	u Assemblatge del Fons Superior	1,00	3.404,90	3.404,90
07.02	u Assemblatge de l'envolvent	1,00	2.703,20	2.703,20
07.03	u Assemblatge del Fons Inferior	1,00	2.964,48	2.964,48
07.04	u Assemblatge dels suports laterals	1,00	1.750,38	1.750,38
07.05	u Assemblatge dels elements d'hissat	1,00	2.387,50	2.387,50
TOTAL CAPÍTOL 07				13.210,46

PRESSUPOST

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CODI	RESUM	QUANTITAT	PREU	IMPORT
CAPÍTOL 08 EMBALATGE I TRANSPORT				
08.01	u Embalatge de l'equip	1,00	524,56	524,56
08.02	u Transport de l'equip	1,00	594,00	594,00
TOTAL CAPÍTOL 08.....				1.118,56
TOTAL.....				81.645,40

RESUM DE PRESSUPOST

PROJECTE D'UN RECIPIENT A PRESSIÓ AMB AGITACIÓ PER A REACCIÓ DE PRODUCTES QUÍMICS

CAPÍTOL	RESUM	IMPORT
CAPÍTOL 01	FONS SUPERIOR.....	16.974,28
CAPÍTOL 02	ENVOLVENT.....	9.162,11
CAPÍTOL 03	FONS INFERIOR.....	8.183,73
CAPÍTOL 04	ELEMENTS INTERNS.....	1.016,76
CAPÍTOL 05	ELECTRICITAT.....	14.607,50
CAPÍTOL 06	INSTRUMENTACIÓ.....	17.372,00
CAPÍTOL 07	FABRICACIÓ I MUNTATGE.....	13.210,46
CAPÍTOL 08	EMBALATGE I TRANSPORT.....	1.118,56
	PRESSUPOST D' EXECUCIÓ MATERIAL	81.645,40
	13,00 % Despeses generals	10.613,90
	6,00 % Benefici industrial.....	4.898,72
	Suma.....	15.512,62
	PRESSUPOST BASE DE LICITACIÓ SENSE IVA	97.158,02
	21% IVA.....	20.403,18
	PRESSUPOST BASE DE LICITACIÓ	117.561,20

Puja el pressupost l'esmentada quantitat de CENT DISSET MIL CINC-CENTS SEIXANTA-UN EUROS amb VINT CÈNTIMS