

ALEXANDRE KAZUO NOTOMI

PROJETO DE TANQUE DE DESCARGA CONTÍNUA

Orientador: Gilberto Francisco M. Souza

1996

DEDICATÓRIA

Aos meu pais que tanto me apoiaram

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. Gilberto Francisco M. Souza por me incentivar e dar todo o suporte necessário a este trabalho.

Ao meu computador por estar quase sempre disposto a me acompanhar e auxiliar na elaboração do trabalho.

A todos que de alguma forma colaboraram na realização deste trabalho.

RESUMO

Neste trabalho é apresentado o projeto de um tanque de descarga contínua, aplicado em instalações que contém caldeira, tendo a função de eliminar partículas sólidas presentes na água da descarga do tubulão de vapor de caldeiras. São detalhados os procedimentos de seleção de materiais para todos os componentes do tanque, incluindo o material a ser empregado quando da execução das uniões soldadas. Apresenta-se o dimensionamento estrutural do tanque incluindo a região de transição entre o casco cilíndrico e a tampa elipsoidal. Tendo em vista a importância da junta soldada localizada nesta região de transição, sob o aspecto de garantir a integridade estrutural do tanque, é apresentada uma análise da possibilidade de ocorrência de fratura neste cordão de solda, tendo em vista a presença de defeitos introduzidos pela soldagem e a presença de concentração de tensões devido a própria transição entre a estrutura cilíndrica e elipsoidal, quando o tanque é submetido a ação de pressão interna.

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - FUNÇÃO E FUNCIONAMENTO DO PRODUTO	2
3 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PRODUTO	5
4 - METODOLOGIA DO PROJETO	8
5 - DETERMINAÇÃO DE EFICIÊNCIAS DAS JUNTAS SOLDADAS	9
6 - SELEÇÃO DE MATERIAIS	11
6.1 - MATERIAL DO CASCO CILÍNDRICO E DOS TAMPO	11
6.2 - MATERIAL DOS BOCAIS	16
6.3 - MATERIAL DAS CONEXÕES E FLANGES FORJADOS	18
6.4 - MATERIAL DOS PARAFUSOS E PORCAS PARA FLANGES	19
6.5 - MATERIAL PARA A ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO	21
6.6 - RESUMO DOS MATERIAIS SELECIONADOS	21
7 - CASCO CILÍNDRICO	22
8 - TAMPOS ELIPSOIDAI 2:1	24
9 - BOCA DE VISITA	26
10 - POSICIONAMENTO DOS BOCAIS	30
11 - CONFIGURAÇÕES DOS BOCAIS	33
11.1 - BOCAL A (SAÍDA DE VAPOR)	34
11.2 - BOCAL B (VÁLVULA DE SEGURANÇA)	36
11.3 - BOCAL C (SAÍDA DE ÁGUA)	39
11.4 - BOCAL D (ENTRADA DE DESCARGA)	43
11.5 - BOCAL E (VENTILAÇÃO)	46
11.6 - BOCAL F (DRENO)	48
11.7 - BOCAL G (MANÔMETRO)	50
11.8 - BOCAIS I ₁ E I ₂ (MEDIDOR DE NÍVEL)	52
12 - VERIFICAÇÃO DE NECESSIDADE DE TESTE DE IMPACTO NOS MATERIAIS	55
13 - VERIFICAÇÃO DE NECESSIDADE DE TRATAMENTO TÉRMICO APÓS CONFORMAÇÃO	58
13.1 - CASCO CILÍNDRICO	58
13.2 - TAMPOS	58
13.4 - PESCOÇO DA BOCA DE VISITA	59

14 - SEQUÊNCIA DE FABRICAÇÃO.....	60
14.1 - MONTAGEM DO CASCO CILÍNDRICO	61
14.2 - FABRICAÇÃO DOS TAMPOS SUPERIOR E INFERIOR.....	61
15 - FABRICAÇÃO DO CASCO CILÍNDRICO.....	62
16 - FABRICAÇÃO DO PESCOÇO DA BOCA DE VISITA.....	65
17 - FABRICAÇÃO DOS TAMPOS	65
18 - FURAÇÃO DAS ABERTURAS DOS BOCAIS.....	68
19 - SELEÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM	69
19.1 - MATERIAIS A SEREM SOLDADOS	69
19.2 - ESPESSURA DAS PEÇAS A SEREM SOLDADAS	71
19.3 - POSIÇÃO DAS SOLDAS	72
19.3.1 - Juntas Longitudinais no Casco	73
19.3.2 - Juntas Circunferenciais no Casco	74
19.3.3 - Juntas entre os bocal, parede do vaso (casco ou tampo) e reforço de abertura de bocal.....	75
19.3.4 - Juntas do pescoço da Boca de Visita com o flange	76
19.3.5 - Resumo.....	77
19.4 - CUSTO DOS PROCESSOS	77
19.5 - SELEÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM.....	80
20 - SELEÇÃO DO ELETRODO.....	81
21 - GEOMETRIA DAS JUNTAS SOLDADAS	83
21.1 - JUNTAS LONGITUDINAIS E CIRCUNFERENCIAIS DO CASCO E TAMPO.....	84
21.1.1 - Geometria da Junta Longitudinal.....	84
21.1.2 - Geometria das Juntas Circunferenciais.....	85
21.2 - JUNTAS DO BOCAL A	87
21.3 - JUNTAS DO BOCAL B	88
21.4 - JUNTAS DO BOCAL C	89
21.5 - JUNTAS DO BOCAL D	90
21.6 - JUNTAS DO BOCAL E.....	91
21.7 - JUNTAS DO BOCAL F.....	92
21.8 - JUNTAS DO BOCAL G	93
21.9 - JUNTAS DO BOCAL H	94
21.10 - JUNTAS DOS BOCAIS I ₁ E I ₂	95
22 - PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM.....	96
22.1 - JUNTAS DE PENETRAÇÃO TOTAL	99
22.2 - SOLDAS DE FILETES.....	100
23 - PARÂMETROS DE SOLDAGEM.....	101
23.1 - POLARIDADE, TENSÃO, CORRENTE ELÉTRICA E VELOCIDADE DE SOLDAGEM.....	101
23.2 - ÂNGULO DE TRABALHO E ÂNGULO DE ATAQUE	101
23.3 - TEMPERATURA DE INTERPASSE E DE PRÉ-AQUECIMENTO.....	102
23.4 - NÚMERO DE SOLDADORES	102
23.5 - SEQUÊNCIA DE DEPOSIÇÃO	103

24 - QUALIFICAÇÃO E INSPEÇÃO DA SOLDAGEM	104
24.1 - QUALIFICAÇÃO.....	104
24.1.1 - <i>Qualificação do Soldador</i>	104
24.1.2 - <i>Qualificação do Procedimento de Soldagem</i>	105
24.2 - INSPEÇÃO.....	106
24.2.1 - <i>Inspeção das Juntas Soldadas</i>	106
25 - NÍVEL DE ACEITAÇÃO DE DEFEITOS	108
25.1 - EXAME RADIOGRÁFICO.....	108
25.2 - EXAME COM LÍQUIDO PENETRANTE.....	110
25.3 - EXAME VISUAL	110
26 - ANÁLISE DO REGIÃO DE TRANSIÇÃO ENTRE O TAMPO E O CASCO CILÍNDRICO....	112
27 - ANÁLISE DE FRATURA FRÁGIL.....	115
28 - TESTE HIDROSTÁTICO	118
29 - ACABAMENTO E PINTURA.....	120
30 - CONCLUSÕES	125
31 - BIBLIOGRAFIA.....	126
APÊNDICE I - DIMENSIONAMENTO DO CASCO CILÍNDRICO.....	128
APÊNDICE II - DIMENSIONAMENTO DOS TAMPO ELIPSÓIDAI 2:1	130
APÊNDICE III - EPSSURA DO PESCOÇO DA BOCA DE VISITA	131
APÊNDICE IV - VERIFICAÇÃO DAS ESPSSURAS DOS BOCAIS	133
BICAL A (SAÍDA DE VAPOR)	134
BICAL C (SAÍDA DE ÁGUA)	134
BICAL D (ENTRADA DE DESCARGA)	135
BICAL E (VENTILAÇÃO).....	135
BICAL F (DRENO)	136
BICAL G (MANÔMETRO)	136
BOCAIS I ₁ E I ₂ (MEDIDOR DE NÍVEL)	137
APÊNDICE V - REFORÇOS DE ABERTURA DE BICAL.....	138
ÁREA REQUERIDA AO REFORÇO	138
RESISTÊNCIA DO REFORÇO R SOLDAS DO REFORÇO.....	140
BICAL A (SAÍDA DE VAPOR)	141
BICAL B (VÁLVULA DE SEGURANÇA)	143
BICAL C (SAÍDA DE ÁGUA)	144
BICAL D (ENTRADA DE DESCARGA)	147
BICAL E (VENTILAÇÃO).....	148
BICAL F (DRENO)	148
BICAL G (MANÔMETRO)	149
BICAL I (BOCA DE VISITA).....	149
BOCAIS I ₁ E I ₂ (MEDIDOR DE NÍVEL)	151

APÊNDICE VI - MODELOS DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	153
VI.1 - MODELO DO TAMPO ELIPSOIDAL 2:1 SEM A SAIA	153
VI.2 - MODELO DA SAIA DO TAMPO	155
VI.3 - MODELO DO CASCO CILÍNDRICO	157
VI.4 - CONEXÃO E CASCO CILÍNDRICO E A SAIA TAMPO ELIPSOIDAL	158
APÊNDICE VII - CÁLCULO DE K_I A PARTIR DO RESULTADOS DO M.E.F.....	159
VII.1 - CÁLCULO DE K_I PARA TRINCA DE 1,588MM	160
VII.2 - CÁLCULO DE K_I PARA TRINCA DE 1,235 MM	161
VII.3 - CÁLCULO DE K_I PARA TRINCA DE 0,705 MM	161
APÊNDICE VIII - RESULTADOS DO M.E.F. PARA TRINCA DE 0,705 MM	
APÊNDICE IX - RESULTADOS DO M.E.F. PARA TRINCA DE 1,235 MM	
APÊNDICE VIII - RESULTADOS DO M.E.F. PARA TRINCA DE 1,588 MM	

1 - Introdução

Estagio em uma empresa que atua na área de calderaria, projetando e construindo caldeiras a vapor, eletroprecipitadores, silos de armazenagens e vários outros tipos de equipamentos para indústrias químicas, petroquímicas e alimentícias.

Atuo na área de Projetos Detalhados, onde tenho contato com projeto destes vários tipos de equipamentos. Com objetivo de aliar os conhecimentos adquiridos no Estágio Supervisionado e os conhecimentos adquiridos na Escola, foi escolhido a execução de um projeto de um equipamento acessório de caldeiras, o Tanque de Descarga Contínua.

Neste trabalho, foi desenvolvido o projeto completo do Tanque de Descarga Contínua, que basicamente é um vaso de pressão. Foi dimensionado os componentes destes equipamento. E ainda, foi especificado os procedimentos para fabricação e montagem do equipamento.

Atualmente, há várias normas técnicas e códigos para projeto de vaso de pressão. Entre eles, destaca-se: o código ASME (American Society of Mechanical Engineers), o código da API (American Petroleum Institute) e o código da BS (British Standard). No projeto, foi utilizado principalmente o código ASME, que é o código mais difundido e utilizado atualmente em projetos de vasos de pressão e caldeiras. Além do código ASME, respeitou-se as normas de projeto, fabricação e montagem da Petrobrás. Por ser esta uma empresa da área petrolífera, as normas da Petrobrás são baseadas no código API e, também, no código ASME.

Além do projeto completo do Tanque de Descarga Contínuo, foi feito com o auxílio do Método de Elementos Finitos a análise da suscetibilidade a fratura frágil da junta soldada circunferencial entre o casco e o tampo do equipamento. Sendo escolhida para esta análise a junta circunferencial entre o casco e o tampo devido a região, onde está localizada esta junta, estar sob o efeito de concentração de tensão devido a transição entre o casco cilíndrico e o tampo elipsoidal.

2 - FUNÇÃO E FUNCIONAMENTO DO PRODUTO

O produto é denominado Tanque de Descarga Contínua. Basicamente, é um vaso de pressão que é um acessório de caldeira.

O Tubulão de Vapor da caldeira contém água em forma de vapor saturado e líquido saturado. Esta água líquida no tubulão de vapor contém partículas sólidas em suspensão. Estes particulados em suspensão devem ser eliminados. A eliminação destas partículas é feita através da descarga do tubulão de vapor. A descarga do tubulão de vapor é feito por um tubo posicionado ao nível do líquido no tubulão. Este tubo coleta água e vapor juntamente com as partículas que estão na superfície e descarrega-os continuamente para o Tanque de Descarga Contínua.

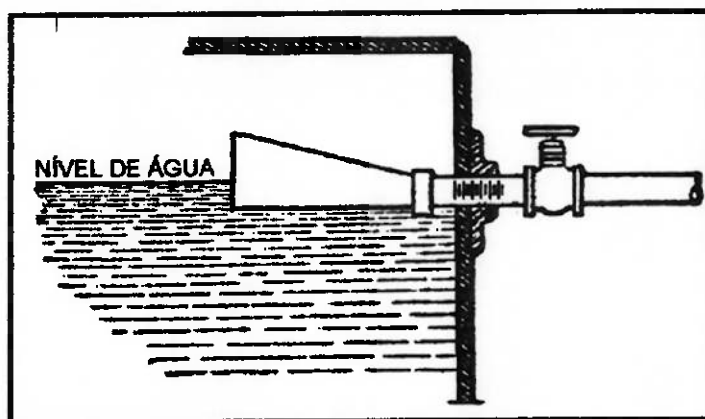


Fig. 2.1 - Descarga do Tubulão de Vapor

O Tanque de Descarga Contínua tem a função retirar as partículas sólidas da descarga proveniente do tubulão de vapor da caldeira e liberar o vapor "limpo" para ser reaproveitado na caldeira novamente.

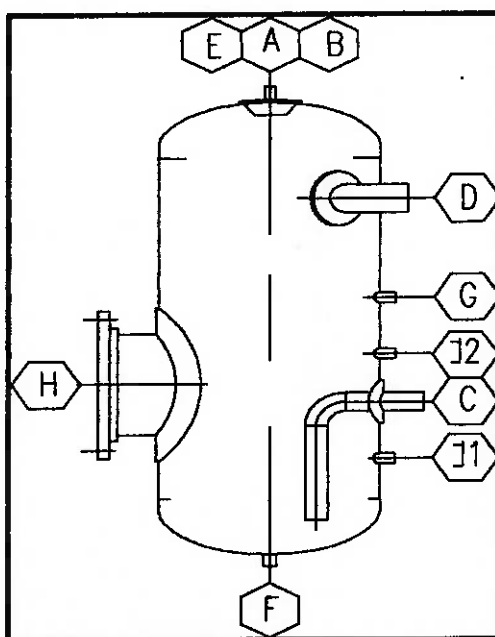


Fig. 2.2 - Esboço do Tanque de Descarga Contínua

Os bocais tem as seguintes funções:

- Bocal A - saída de vapor
- Bocal B - válvula de segurança
- Bocal C - saída de água
- Bocal D - entrada de descarga
- Bocal E - ventilação
- Bocal F - dreno
- Bocal G - manômetro
- Bocal H - boca de visita
- Bocais I₁ e I₂ - medidor de nível de água

A descarga proveniente do tubulão de vapor é admitido pelo bocal D. Ao entrar no Tanque de Descarga, a parte da descarga se condensa. A descarga ao se condensar provoca o acúmulo de água no fundo do Tanque de Descarga. Porém, existe um nível de água ideal para o funcionamento do Tanque de Descarga. Para controlar este nível de água, controla-se o fluxo de saída de água pelo bocal C. Em geral, o controle do fluxo de água pelo bocal C é feito através de uma válvula controlada pelo nível de água, medido pelos bocais I₁ e I₂.

Ao condensar a descarga proveniente da caldeira, as partículas sólida precipitam ao fundo do Tanque de Descarga Contínua. Periodicamente, deve-se limpar o Tanque de Descarga para eliminar estas partículas. Por isso, existe a Boca de Visita (bocal H) para que possa entrar uma pessoa para limpar o fundo do Tanque. E ainda a Boca de Visita serve também para fazer inspeções internas para se verificar as condições internas de corrosão e condições internas das juntas soldadas.

Com a precipitação da partículas sólidas ao fundo do Tanque de Descarga Contínua, o vapor se torna livre de impurezas sólidas e pode sair pelo bocal A, situado no topo do Tanque.

A drenagem de toda a água do Tanque de Descarga não é possível pelo bocal C (saída de água). A drenagem deve ser feita pelo bocal F (dreno) posicionada no fundo do Tanque.

Para evitar acidentes com o Tanque de Descarga Contínua, há uma válvula de pressão de segurança, que impede que a pressão chegue a valores inadmissíveis de pressão interna. A válvula de segurança é conectada ao bocal B.

Para evitar um “curto-circuito” do bocal D (entrada de descarga) com o bocal A (saída de vapor), há um quebra-jato na entrada do bocal A (saída de vapor). O quebra-jato consiste numa espécie de “concha” perfurada que cobre a entrada do bocal na parte interna do vaso (figura abaixo).

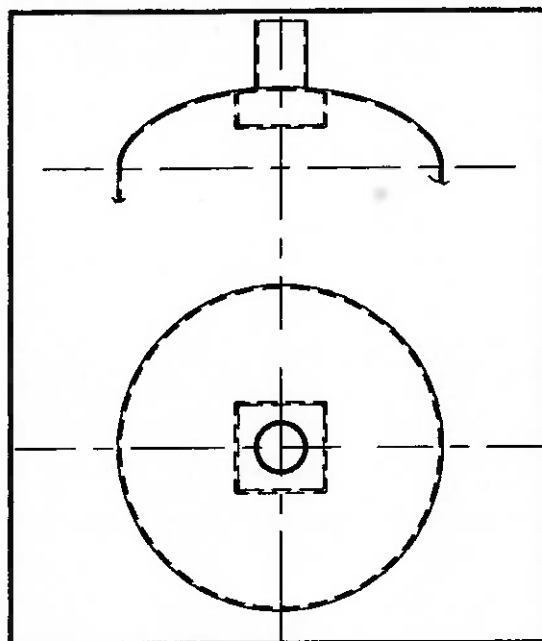


Fig. 2.3 - Detalhe do "Quebra-Jato"

3 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE PROJETO

As pressões e as temperaturas de operação mínimas e máximas são calculadas através de balanços termodinâmicos do Tanque de Descarga Contínua e da Caldeira. Tem-se, então:

Pressão normal de operação (pressão relativa)	343,2 kPa (3,5 kgf/cm ²)
Pressão máxima de operação (pressão relativa)	490,3 kPa (5,0 kgf/cm ²)

Como a pressão atmosférica é cerca de 1 kgf/cm² (1 atm). Então, tem-se:

Pressão norma de operação (pressão absoluta)	441,3 kPa (4,5 kgf/cm ²)
Pressão máxima de operação (pressão absoluta)	588,4 kPa (6,0 kgf/cm ²)

O Tanque de Descarga Contínua é um vaso de pressão em que coexistem em seu interior vapor de água e água em estado líquido. Então, a o vapor e o líquido em seu interior está saturado. As temperaturas máxima e normal de operação podem ser obtidas através nas tabelas de propriedades do vapor de água saturado. Pelo Van Wylen^[1], tem-se os seguintes valores para vapor saturado:

Pressão	Temperatura
400 kPa	143,63°C
450 kPa	147,93°C
550 kPa	155,48°C
600 kPa	158,85°C

Interpolando os dados da tabela acima, obtém-se o valores temperaturas de operação.

Pressão normal de operação (relativa)	343,2 kPa (49,8 psi)
Pressão máxima de projeto (relativa)	490,3 kPa (71,1 psi)
Temperatura normal de operação	147°C (297°F)
Temperatura máxima de projeto	158°C (316°F)

Será considerado as condições (temperatura e pressão) extremas como as condições de projeto, logo:

Pressão máxima de projeto (relativa)	490,3 kPa (71,1 psi)
Temperatura máxima de projeto	158°C (316°F)
Temperatura mínima de projeto	0°C (32°F)

As especificações para um tanque de diâmetro interno de 700 mm (Tanque de Descarga Contínuo Tipo CF-700) são dadas a partir do Padrão de Tanque de Descarga Contínua para os projetos de tanque de descarga contínua da empresa, em que estagio.

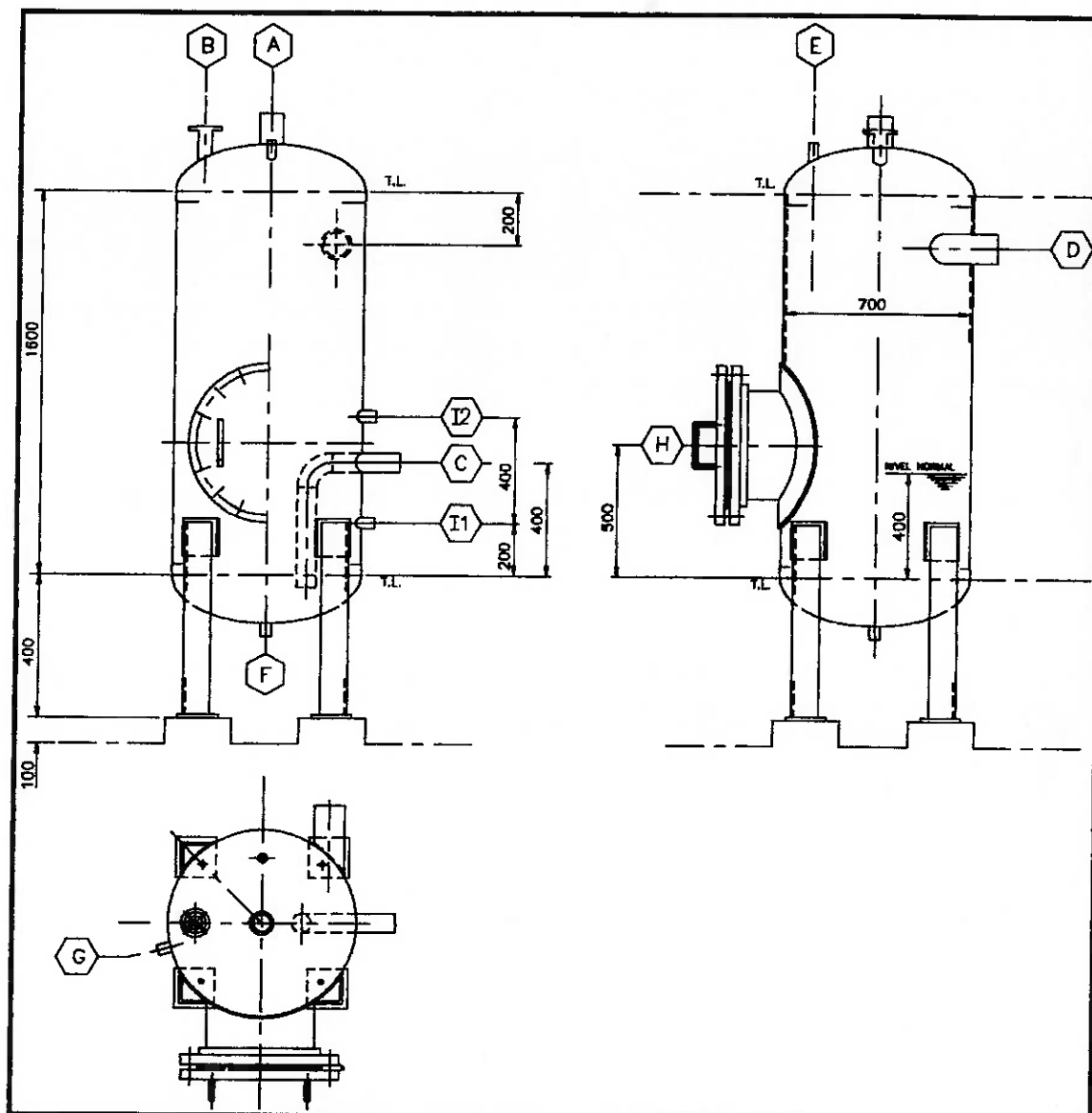


Fig. 3.1 - Posicionamento dos Bocais

Tipo de vaso de pressão	Vertical
Tipo de tampos	Elipsoidais 2:1

Altura (Linha Tangente a Linha Tangente)	1600 mm
Diâmetro interno	700 mm
Sobre-espessura de corrosão ("Corrosion allowance")	3mm

	Diâmetro Nominal	Serviço	Tipo de Conexão
A	4 pol.	Saída de vapor	BW (tubo biselado)
B	2 pol.	Válvula de segurança	RF (flange)
C	2½ pol.	Saída de água	BW (tubo biselado)
D	4 pol.	Entrada de condensado	BW (tubo biselado)
E	½ pol.	Ventilação	SW (meia-luva)
F	¾ pol.	Dreno	SW (meia-luva)
G	½ pol.	Manômetro	SW (meia-luva)
H	16 pol.	Boca de visita	RF (flange)
I₁ e I₂	1 pol.	Medidor de Nível	SW (meia-luva)

4 - METODOLOGIA DE PROJETO

O projeto foi feito segundo as normas técnicas de fabricação de vasos de pressão do ASME (American Society of Mechanics Engineers). Foi utilizado o código ASME, seção VIII, divisão 1^[2]. Do ASME, seção VIII, divisão 1 foram utilizados as seguintes partes:

- parte UG (General Requirements) - requisitos gerais para vasos de pressão;
- parte UW (Requirements for Pressure Vessels Fabricated by Welding) - requisitos para vasos de pressão fabricados por soldagem; e
- parte UCS (Requirements for Pressure Vessels Constructed of Carbon and Low Alloy Steels) - requisitos para vasos de pressão construídos de aços-carbonos ou aços de baixa liga.

A tubulações e a conexões de tubulações seguem padrão ANSI (American National Standards Institute):

- ASME/ANSI B16.5^[3] (Pipe flanges and flanged fittings)
- ASME/ANSI B16.11^[4] (Forged fittings, socket-welding and threaded)
- ASME/ANSI B16.25^[5] (Buttwelding ends)
- ASME/ANSI B16.28^[6] (Wrought steel buttwelding short radius elbows and returns)
- ASME/ANSI B36.10^[7] (Welded and seamless wrought steel pipe)

O material utilizado no projeto está conforme o ASME/ASTM (ASME, Seção II, Parte A - Ferrous Materials^[8]), que é uma recompilação feita pelo ASME do padrão de materiais do ASTM (American Society for Testing and Materials); diferindo apenas nas denominações dos materiais. Por exemplo, o aço A-36 do ASTM tem todas as especificações iguais ao aço SA-36 do ASME/ASTM. O material especificado seguirá sempre o padrão de material ASME/ASTM, mas sempre o material especificado poderá ser substituído sem prejuízos pelo seu equivalente do padrão ASTM.

Respeitará ainda as normas da Petrobrás de projeto, construção, ensaios e soldas de vasos de pressão. Das normas da Petrobrás foram consultadas:

- N-253f^[9] (Projeto de vaso de pressão)
- N-266c^[10] (Apresentação de projeto de vaso de pressão)
- N-268^[11] (Fabricação de vasos de pressão)
- N-269a^[12] (Montagem de vasos de pressão)

Grande parte dos cálculos foram feitos em unidades americanas (polegadas, psi), mas sempre convertendo as medidas finais em S.I.

5 - DETERMINAÇÃO DE EFICIÊNCIAS DAS JUNTAS SOLDADAS

Segundo o parágrafo UG-3 (ASME, Seção VIII, Divisão 1)^[2], as juntas soldadas podem ser classificadas em diferentes categorias de acordo com a posição a junta soldada no vaso de pressão.

Tem-se para o vaso de pressão em projeto:

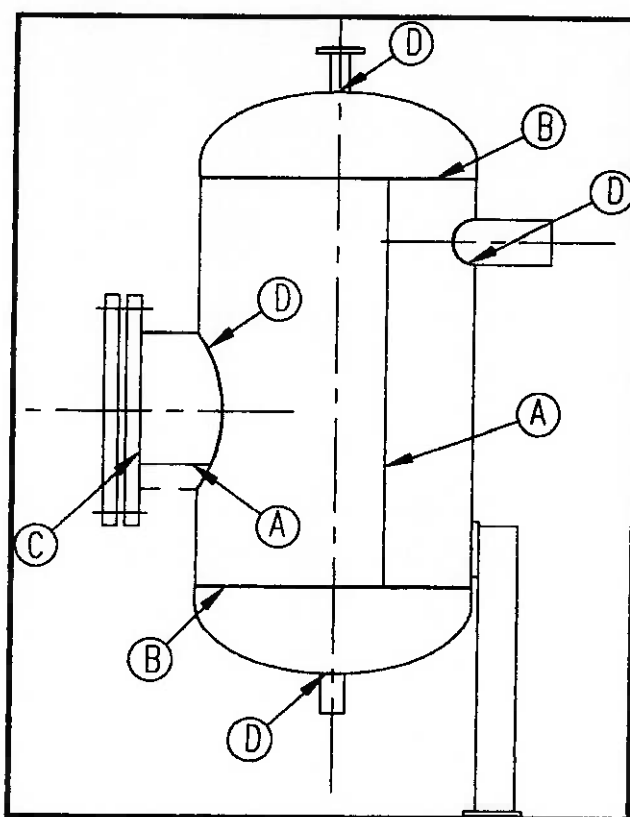


Fig. 5.1 - Categorias de Juntas Soldadas do Vaso

Para as condições de projeto (faixa de temperatura de operação, substâncias contidas no vaso de pressão não tóxicas), pela UW-2b (ASME, Seção VIII, Divisão 1)^[2], tem-se:

- todas as juntas da Categoria A devem ser do Tipo No. (1);
- todas as juntas da Categoria B devem ser do Tipo No. (1) ou No. (2);
- todas as juntas da Categoria C devem soldas de penetração total estendendo por toda seção da junta; e
- todas as juntas da Categoria D devem soldas de penetração total estendendo por espessura da parede do vaso de pressão ou parede dos bocais.

As soldas da Tipo No. (1) são soldas com penetração total que devem possuir a mesma qualidade de deposição no lado interno e no lado externo das

superfícies de solda. As soldas do Tipo No. (2) são juntas soldadas com penetração total feitas com o auxílio de um "back strip".

Segundo a norma de projeto da Petrobrás para vasos de pressão (N-253-f⁹¹, item 12.2), tem-se:

- as soldas dos tampos e do casco devem ser de penetração total, feitas pelos dois lados, radiografáveis; e
- as soldas dos pescoços dos bocais e da boca de visita com o casco devem ter penetração total.

Conforme acima, a Petrobrás exige que a Categoria B seja uma junta soldada do Tipo No. (1). O tipo de soldas entre pescoços de bocais e casco segundo a Petrobrás confere com o ASME.

O parágrafo UW-11 (ASME, Seção VIII, Divisão 1)^[2] determina o grau de inspeção radiográfica necessária para cada categoria de junta soldada, como mostrado abaixo:

Categoria da Junta Soldada	Tipo da Junta	Grau de Inspeção	Eficiência de Junta
A	No. (1)	por pontos ("spot")	0,85
B	No. (1)	por pontos ("spot")	0,85
C*	-	-	-
D*	-	-	-

(*)- Para as categorias de juntas do tipo C e D, o ASME não determina grau de inspeção e nem eficiência de junta.

Pela norma de projeto da Petrobrás (N-253-f⁹¹, item 13.1), tem-se:

- a inspeção radiográfica deve ser conforme o ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2],
- todas as juntas de cascos e tampos exige pelo menos inspeção por pontos.

Portanto, as juntas dos bocais (categoria D) com o casco e os tampos serão de soldas de penetração total e devem ter inspeção por pontos. As juntas da categoria C (junta soldada do flange com o pescoço da Boca de Visita) não requerem inspeção radiográfica conforme a Petrobrás e o código ASME.

6 - SELEÇÃO DE MATERIAIS

Na seleção de materiais devem ser levados em consideração:

- resistência a corrosão no meio de serviço;
- faixa de pressão e temperatura de projeto;
- custo;
- disponibilidade no mercado (e/ou disponibilidade em estoque);
- facilidade na fabricação (usinabilidade, soldabilidade e conformabilidade); e
- experiência anterior na utilização do material.

Vaso de pressão em projeto trabalhará com um conteúdo de vapor de água e água em estado líquido, provenientes em forma de condensado da caldeira; portanto, podendo considerar como um serviço de baixa corrosão. A temperatura máxima de operação do interior é de 158°C, temperatura baixa, não provocando a dissociação das moléculas de água em Hidrogênio, que poderia fragilizar o material.

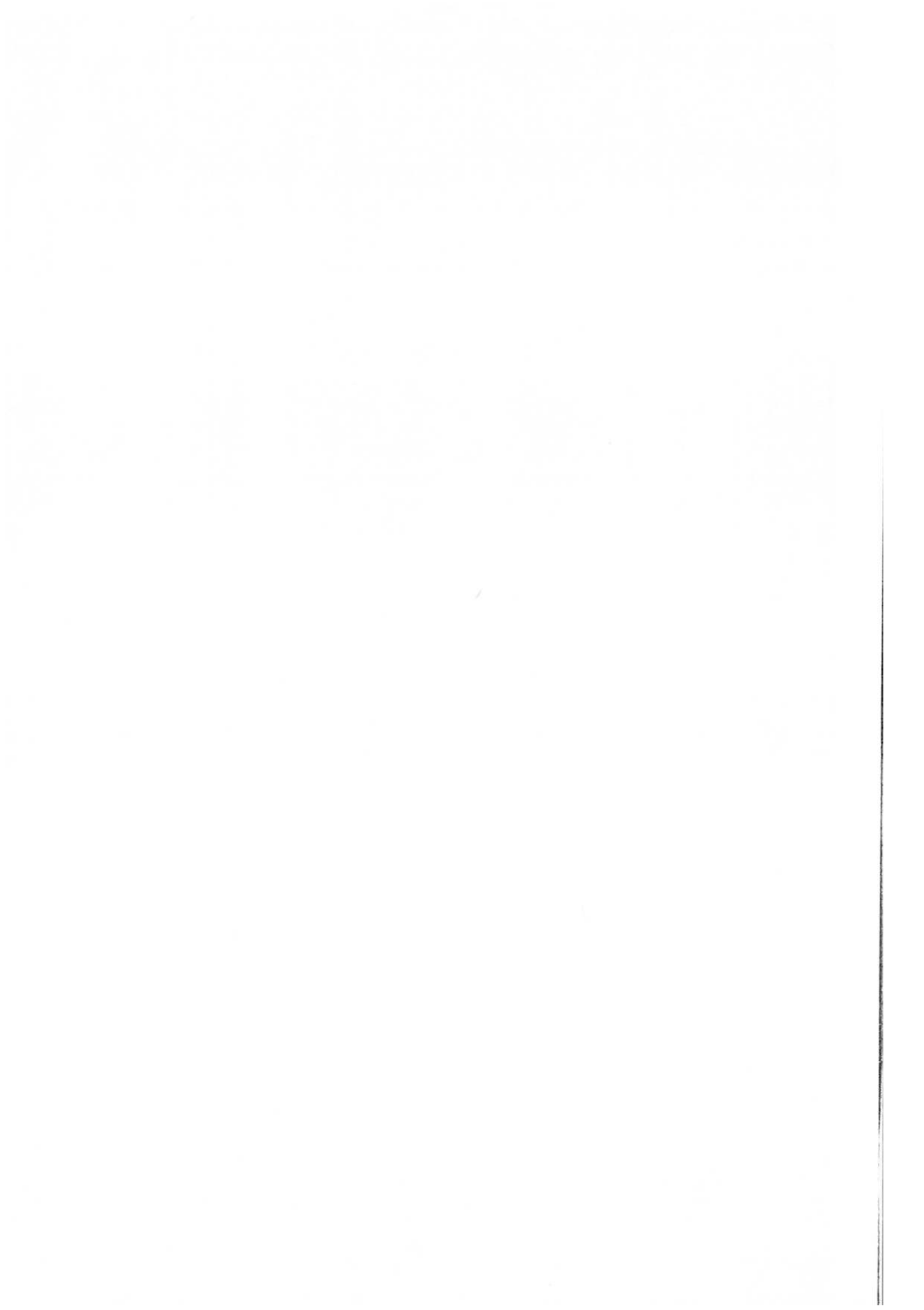
Como o serviço não é muito corrosivo, a temperatura máxima de projeto não é elevada e a temperatura mínima não é tão baixa, pode-se utilizar de aços-carbonos em todas as partes do vaso de pressão, não se justificando o uso de materiais com custos maiores como aços cladeados, aço-ligas, aços inoxidáveis e materiais não-ferrosos.

6.1 - Material do Casco Cilíndrico e dos Tampos

Também do mesmo material do casco e dos tampos serão feitos o corpo da Boca de Visita e os reforços da abertura dos bocais.

Os materiais ferrosos indicados para uso em vasos de pressão na forma de chapas grossas conforme ASME, Seção II, Parte A (Ferrous Materials)^[8] são os seguintes:

SA-20/SA-20M	General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels
SA-202/SA-202M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Chromium-Manganese-Silicon
SA-203/SA-203M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Nickel
SA-204/SA-204M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Molybdenum
SA-225/SA-225M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Manganese-Vanadium-Nickel
SA-240	Heat-Resisting Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels
SA-263	Corrosion-Resisting Chromium Steel Clad Plate, Sheet, and Strip
SA-264	Stainless Chromium-Nickel Steel Clad Plate, Sheet, and Strip
SA-265	Nickel and Nickel-Base Alloy Clad Steel Plate
SA-285/SA-285M	Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Low- and Intermediate-Tensile Strength
SA-299/SA-299M	Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Manganese-Silicon
SA-302/SA-302M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Manganese-Molybdenum and Manganese-Molybdenum-Nickel
SA-353/SA-353M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, 9% Nickel, Double-Normalized and Tempered
SA-387/SA-387M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Chromium-Molybdenum
SA-414/SA-414M	Steel Sheet Carbon for Pressure Vessels



SA-442/SA-442M	Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Improved Transition Properties
SA-455/SA-455M	Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, High-Strength Manganese
SA-480/SA-480M	General Requirements for Flat-Rolled Stainless and Heat-Resisting Steel Plate, Sheet, and Strip
SA-515/SA-515M	Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Intermediate- and Higher- Temperature Service
SA-516/SA-516M	Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower- Temperature Service
SA-517/SA-517M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, High Strength, Quenched and Tempered
SA-533/SA-533M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Quenched and Tempered, Manganese-Molybdenum and Manganese-Molybdenum-Nickel
SA-537/SA-537M	Pressure Vessel Plates, Heat-Treated, Carbon-Manganese-Silicon Steel
SA-542/SA-542M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Quenched and Tempered, Chromium-Molybdenum and Chromium-Molybdenum-Vanadium-Titanium-Boron
SA-543/SA-543M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Quenched and Tempered Nickel-Chromium-Molybdenum
SA-553/SA-553M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel, Quenched and Tempered, 8 and 9% Nickel
SA-562/SA-562M	Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Manganese-Titanium for Glass or Diffused Metallic Coatings
SA-612/SA-612M	Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, High Strength, for Moderate- and Lower-Temperature Service
SA-620/SA-620M	Steel Sheet, Carbon, Drawing Quality, Special Killed, Cold-Rolled
SA-645/SA-645M	Pressure Vessel Plates, 5% Nickel Alloy Steel Specially Heat Treated
SA-662/SA-662M	Pressure Vessel Plates, Carbon-Manganese, for Moderate- and Lower-Temperature Service
SA-666	Austenitic Stainless Steel, Sheet, Strip, Plate, and Flat Bar
SA-693	Precipitation Hardening Stainless and Heat-Resisting Steel Plate, Sheet, and Strip
SA-724/SA-724M	Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Quenched and Tempered for Welded Layered Pressure Vessels
SA-736/SA-736M	Pressure Vessel Plates, Low-Carbon Age-Hardening Nickel-Copper-Chromium-Molybdenum-Columbium and Nickel-Copper-Manganese-Molybdenum-Columbium Alloy Steel
SA-737/SA-737M	Pressure Vessel Plates, High-Strength, Low-Alloy Steel
SA-738/SA-738M	Pressure Vessel Plates, Heat-Treated, Carbon-Manganese-Silicon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service
SA-770/SA-770M	Through-Thickness Tension Testing of Steel Plates for Special Applications
SA-812/SA-812M	Steel Sheet, High-Strength, Low-Alloy Hot-Rolled, for Welded Layered Pressure Vessels
SA-832/SA-832M	Pressure Vessel Plates, Alloy Steel; Chromium-Molybdenum-Vanadium-Titanium-Boron
SA-841/SA-841M	Steel Plated for Pressure Vessels, Produced by the Thermo-Mechanical Control Process(TMCP)

Para serviços de baixa corrosão, indica-se o usos dos seguintes materiais para chapas para uso em vasos de pressão em função da temperatura, segundo o Bednar^[13].

Temperatura de Serviço (°F)	Material Indicado
-425 a -321	SA-240 tipos 304 , 304L e 317
-320 a -151	SA-240 tipos 304, 304L, 316, 316L SA-353
-150 a -76	SA-203 grau D ou E
-75 a -51	SA-203 grau A ou B
-50 a -21	SA-516 todo os graus, necessitam de teste de impacto
-20 a +4	SA-516 todos os graus, acima de 1 pol. necessitam de teste de impacto
+5 a +32	SA-516 todos os graus, acima de 2 pol. necessitam de teste de impacto
+33 a +60	SA-285 gr. C, espessura máx. de ½ pol. SA-515 gr. 55, 60, 65, espessura máx. de 1,5 pol. SA-516 todos os graus, qualquer espessura
+61 a +775	SA-285 gr. C, espessura máx. de ½ pol. SA-515 gr. 55, 60, 65, espessura máx. de 1,5 pol. SA-516 todos os graus, qualquer espessura SA-204 grau B, qualquer espessura
+776 a +875	SA-204 gr. B ou C
+876 a +1000	SA-387 gr. 11 C1.1 SA-387 gr. 12 C1.1
+1000 a +1100	SA-387 gr. 22 C1.1 SA-387 gr. 21
+1100 a +1500	SA-240 tipos 304, 316, 321, 347,347 preferível
acima de +1500	tipo 310 de aço inoxidável Incoloy

São os seguintes materiais indicados pela tabela acima para a faixa de temperatura de projeto, de 0°C (32°F) a 158°C (316°F):

- SA-285 grau C
- SA-515 grau 55, 50 e 65
- SA-516 graus 55,60,65,70

Porém o aço SA-515 grau 55 foi retirado do ASME, Seção II, Parte A^[8] (Ferrous Materials) na revisão da norma no ano de 1994, portando o SA-515 grau 55 não consta mais como material indicado para vasos de pressão segundo o ASME.

A quantidade de Carbono equivalente (C_{eq}), pela JIS (Japanese Industrial Standards) para fins de análise de soldabilidade do material, é dada pela fórmula:

$$C_{eq} = C + \frac{1}{6} Mn + \frac{1}{24} Si + \frac{1}{40} Ni + \frac{1}{5} Cr + \frac{1}{4} Mo + \frac{1}{14} V$$

Onde: C - porcentagem de Carbono
 Mn - porcentagem de Manganês
 Si - porcentagem de Silício
 Ni - porcentagem de Níquel
 Cr - porcentagem de Cromo
 Mo - porcentagem de Molibdênio
 V - porcentagem de Vanádio

O ASME, Seção II, Parte D^[14] (Materials Properties) fornece o valores de tensão admissível dos materiais em função da temperatura. Pode-se, então, obter as tensões admissíveis nas temperaturas de 200°F (93,3°C), 300°F (149°C) e 400°F (204°C). O código ASME permite que se faça uma interpolação para se obter a tensão admissível para uma temperatura entre as duas temperaturas tabeladas. E ainda pelo ASME, Seção II, Parte D; pode-se obter a temperatura máxima em que os materiais podem ser utilizados em vasos de pressão projetados conforme ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1].

A quantidade de Carbono e a tensão admissível varia muitas vezes com a espessura da chapa; portanto na tabela abaixo, estão tabelados valores para espessura menor que ½ pol.

Material	Carbono (C), máximo	Ceq	Tensão Admissível (ASME, sec. II, parte D) (ksi)			Temp. Limite para Vaso de Pressão (ASME, sec. II, parte D)
			200°F	300°F	400°F	
SA-285 gr. C	0,28%	0,44%	13,8	13,8	13,8	900°F (482°C)
SA-515 gr. 60	0,24%	0,42%	15,0	15,0	15,0	1000°F (538°C)
SA-515 gr. 65	0,28%	0,46%	16,3	16,3	16,3	1000°F (538°C)
SA-515 gr. 70	0,31%	0,55%	17,5	17,5	17,5	1000°F (538°C)
SA-516 gr. 55	0,18%	0,36%	13,8	13,8	13,8	1000°F (538°C)
SA-516 gr. 60	0,21%	0,39%	15,0	15,0	15,0	1000°F (538°C)
SA-516 gr. 65	0,24%	0,48%	16,3	16,3	16,3	1000°F (538°C)
SA-516 gr. 70	0,27%	0,51%	17,5	17,5	17,5	1000°F (538°C)

Verifica-se que na faixa temperatura de operação do vaso, a tensão admissível é constante com a temperatura, pois a temperatura ainda não é tão alta para que o efeito da fluência torne-se perceptível. Para faixa de temperatura de projeto, nota-se que a tensão admissível é um quarto do valor da tensão de ruptura do material (coeficiente de segurança 4).

Conforme o ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1], pode-se calcular a espessura mínima necessária para a parede de um casco cilíndrico com a seguinte fórmula:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} + C$$

Onde: P - pressão interna
 R - raio interno do casco cilíndrico
 S - tensão admissível do material
 E - eficiência das juntas do casco
 C - sobre-espessura de corrosão

Abaixo, está uma tabela com a espessura requerida e a espessura nominal (espessura padrão Usiminas de chapa) para cada tipo de material para o casco cilíndrico. A fórmula utilizadas para espessura requerida. A espessura nominal é conforme padrão de espessura Usiminas^[15] para chapas "Qualidade Caldeiras Vasos de Pressão".

Material	t_r - espessura requerida	t_n - espessura nominal
SA-285 gr. C	5,14 mm (0,203 pol.)	6,30 mm
SA-515 gr. 60	4,97 mm (0,196 pol.)	6,30 mm
SA-515 gr. 65	4,81 mm (0,190 pol.)	6,30 mm
SA-515 gr. 70	4,69 mm (0,185 pol.)	6,30 mm
SA-516 gr. 55	5,14 mm (0,203 pol.)	6,30 mm
SA-516 gr. 60	4,97 mm (0,196 pol.)	6,30 mm
SA-516 gr. 65	4,81 mm (0,190 pol.)	6,30 mm
SA-516 gr. 70	4,69 mm (0,185 pol.)	6,30 mm

Nota-se que apesar de a tensão admissível variar muito de um material para outro, a espessura nominal não variou em nada. Isto se deve ao sobre-espessura de corrosão (3 mm) representar mais de 50% da espessura requerida.

Pelo parágrafo UCS-66 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[11]), verifica-se a necessidade ou não de teste de impacto nos materiais. Para um dada espessura do material (depende para cada parte do vaso de pressão), determina-se qual temperatura mínima de operação sem a necessidade de teste de impacto. Verifica-se que:

Material	Temperatura mínima de operação sem a necessidade de teste de impacto (para casco de 6,30 mm ou ¼ pol.)
SA-285 gr. C SA-515 gr. 60 SA-516 gr. 65 e 70 (não normalizados)	-20°F
SA-516 gr. 55 e 60 (não normalizados)	-50°F

Como a temperatura mínima de operação é de 0°C (32°F), verifica-se que, pelo menos para o casco (espessura nominal de 6,30 mm), o material está acima da temperatura mínima sem que necessite de teste de impacto no material. E ainda, pela tabela acima, nota-se que os materiais SA-516 grau 55 e 60 pode ser utilizado a temperaturas mais baixas que os materiais SA-285 grau C, SA-515 grau 60, SA-516 grau 65 e SA-516 grau 70. O melhor comportamento dos materiais SA-516 grau 55 e 60 se deve a porcentagem menor de Carbono em suas composições.

Analisando os materiais pelo critério de soldabilidade, verifica-se também que os materiais com melhores soldabilidades são também os materiais SA-516 grau 55 e SA-516 grau 60, pois a porcentagem de Carbono equivalente (C_{eq}) é menor nestes materiais.

Pela norma da Petrobrás (N-2534^[9], item 5.4), não é permitido o uso de materiais com porcentagem de Carbono superior a 26% em cascos e tampos.

Portanto, podem ser utilizados apenas os materiais SA-515 gr. 60, SA-516 gr. 55, SA-516 gr. 60 e SA-516 gr. 65 em cascos e tampos segundo a Petrobrás.

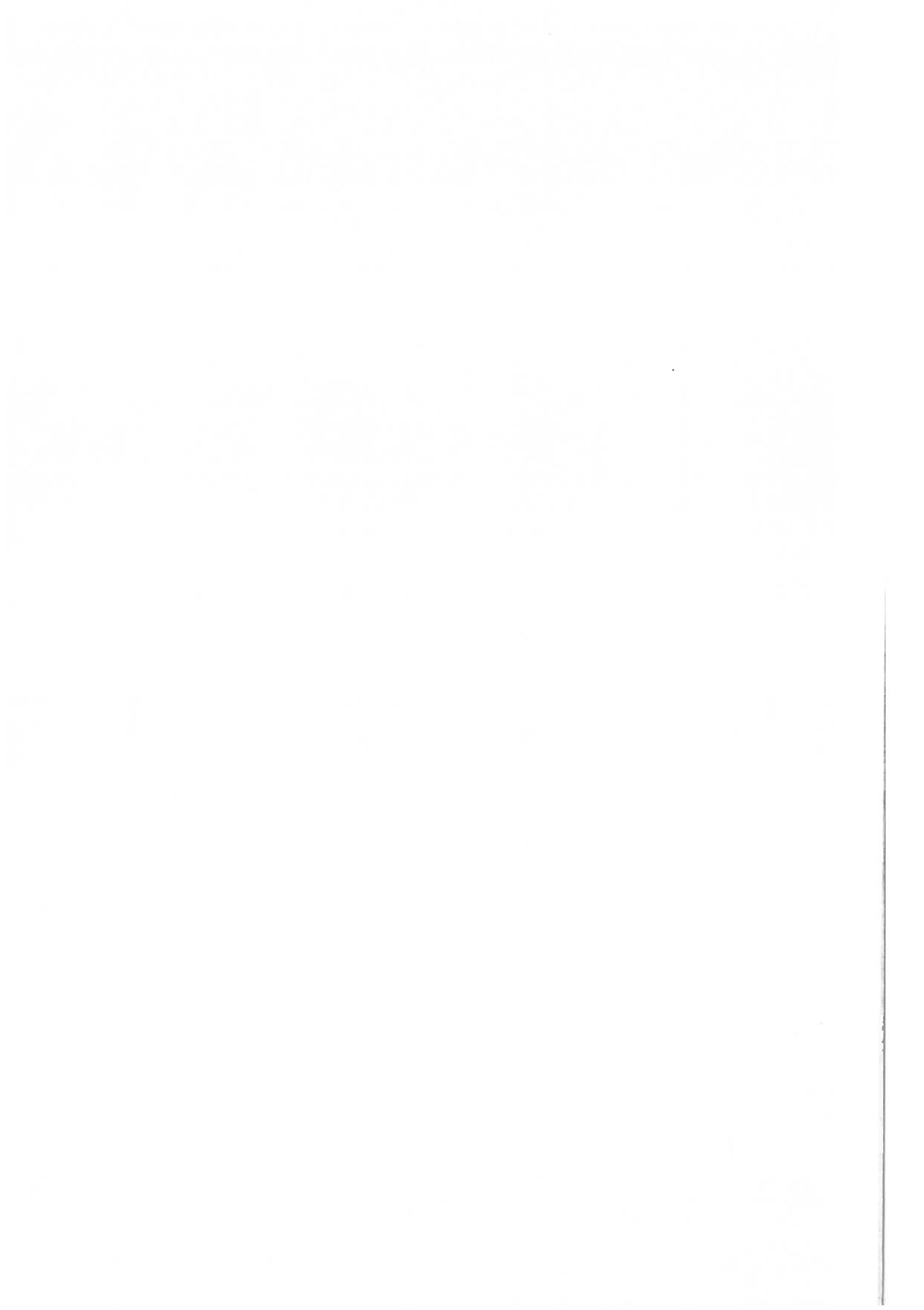
Os aços SA-516 grau 55 e grau 65 não são de uso comum no Brasil, estes aços não tem uma boa disponibilidade no mercado. No Brasil, o aço SA-516 tem maior disponibilidade no mercado no graus 60 e 70.

Considerando que a disponibilidade, o comportamento a baixas temperaturas, soldabilidade, seleciona-se o aço SA-516 grau 60 para uso no casco cilíndrico e tampos.

6.2 - Material dos Bocais

Os materiais ferrosos indicados para uso em vasos de pressão na forma de dutos conforme ASME, Seção II, Parte A^[8] (Ferrous Materials) são:

SA-53	Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated Welded and Seamless
SA-106	Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service
SA-134	Pipe, Steel, Electric-Fusion (Arc)-Welded (Sizes NPS 16 and Over)
SA-135	Electric-Resistance-Welded Steel Pipe
SA-312/SA-312M	Seamless and Welded Austenitic Stainless Steel Pipe
SA-333/SA-333M	Seamless and Welded Steel Pipe for Low-Temperature Service
SA-335/SA-335M	Seamless Ferritic Alloy Steel Pipe for High-Temperature Service
SA-358/SA-358M	Electric-Fusion-Welded Austenitic Chromium-Nickel Alloy Steel Pipe for High-Temperature Service
SA-369/SA-369M	Carbon and Ferritic Alloy Steel Forged and Bored Pipe for High-Temperature Service
SA-376/SA-376M	Seamless Austenitic Steel Pipe for High-Temperature Central-Station Service
SA-409/SA-409M	Welded Large Diameter Austenitic Steel Pipe for Corrosive or High-Temperature Service
SA-426	Centrifugally Cast Ferritic Alloy Steel Pipe for High-Temperature Service
SA-430/SA-430M	Austenitic Steel Forged and Bored Pipe for High-Temperature Service
SA-451	Centrifugally Cast Austenitic Steel Pipe for High-Temperature Service
SA-452	Centrifugally Cast Austenitic Steel Cold-Wrought Pipe for High-Temperature Service
SA-524	Seamless Carbon Steel Pipe for Atmospheric and Lower Temperatures
SA-530/SA-530M	General Requirements for Specialized Carbon and Alloy Steel Pipe
SA-587	Electric-Welded Low-Carbon Steel Pipe for the Chemical Industry
SA-660	Centrifugally Cast Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service
SA-671	Electric-Fusion-Welded Steel Pipe for Atmospheric and Lower Temperatures
SA-672	Electric-Fusion-Welded Steel Pipe for High-Pressure Service at Moderate Temperatures
SA-691	Carbon and Alloy Steel Pipe, Electric-Fusion-Welded for High-Pressure Service at High Temperatures
SA-727/SA-727M	Forgings, Carbon Steel, for Piping Components With Inherent Notch Toughness
SA-731/SA-731M	Seamless and Welded Ferritic, Martensitic Stainless Steel Pipe



SA-790/SA-790M	Seamless and Welded Ferritic Austenitic Stainless Steel Pipe
SA-813/SA-813M	Single- or Double-Welded Austenitic Stainless Steel Pipe
SA-814/SA-814M	Cold-Worked Welded Austenitic Stainless Steel Pipe

Para serviços de baixa corrosão, indica-se o usos dos seguintes materiais para tubos para uso em vasos de pressão em função da temperatura, segundo o Bednar^[13].

Temperatura de Serviço (°F)	Material Indicado
-425 a -321	SA-312 tipos 304, 304L, 347
-320 a -151	SA-312 tipos 304, 304L, 316, 316L SA-333 gr. 8
-150 a -76	SA-333 gr. 3
-75 a -51	SA-333 gr. 3
-50 a -21	SA-333 gr. 1
-20 a +60	SA-53 (só tubo sem costura) SA-106
+61 a +775	SA-53 (só tubo sem costura) SA-106 SA-335 P1
+776 a +875	SA-335 P1
+876 a +1000	SA-335 P11 SA-335 P12
+1000 a +1100	SA-335 P12
+1100 a +1500	SA-312 tipos 304H, 316H, 321H, 347H
acima de +1500	

São os seguintes materiais indicados para a faixa de temperatura de projeto, de 0°C (32°F) a 151°C (303,8°F):

- SA-53 (só tubo sem costura) (gr. A e gr. B)
- SA-106 (gr. A, gr. B e gr. C)

Material	Carbono (C), máximo	Ceq	Tensão Admissível (ASME, sec. II, parte D) (ksi)			Temp. Limite para Vaso de Pressão (ASME, sec. II, parte D ^[14])
			200°F	300°F	400°F	
SA-53 gr. A	0,25%	0,54%	12,0	12,0	12,0	900°F (482°C)
SA-53 gr. B	0,30%	0,59%	15,0	15,0	15,0	900°F (482°C)
SA-106 gr. A	0,25%	0,54%	12,0	12,0	12,0	1000°F (538°C)
SA-106 gr. B	0,30%	0,61%	15,0	15,0	15,0	1000°F (538°C)
SA-106 gr. C	0,35%	0,66%	17,5	17,5	17,5	1000°F (538°C)

Como dito antes, a Petrobrás (N-253F^[9], item 5.4) limita o uso de materiais com mais de 0,30% de Carbono em partes pressurizadas e soldadas, portanto descarta-se o uso do SA-106 gr. C.

É interessante o uso de material para os bocais com tensão admissível próxima ou igual a tensão admissível do material do casco e tampos. Pois nos cálculos dos reforços de aberturas dos bocais, utiliza-se no cálculo a tensão admissível menor dos materiais das juntas soldadas nos reforços. Portanto, entre os materiais acima, fica-se com o SA-53 gr. B e o SA-106 gr. B.

O custo do SA-53 (tubo zincados para resistência a corrosão) é maior que o custo do SA-106 gr. B, portanto escolhe-se o material SA-106 gr. B para o uso nos bocais.

6.3 -Material das Conexões e Flanges Forjados

Os materiais ferrosos indicados pela ASME, Seção II, Parte A^[8] (Ferrous Materials) para uso em flanges de aço:

SA-105/SA-105M	Forgings, Carbon Steel, for Piping Components
SA-181/SA-181M	Forgings, Carbon Steel, for General-Purpose Piping
SA-182/SA-182M	Forged or Rolled Alloy Steel Pipe Flanges, Forged Fittings, and Valves and Parts for High-Temperature Service
SA-216/SA-216M	Steel Castings, Carbon, Suitable for Fusion Welding for High-Temperature Service
SA-217/SA-217M	Steel Castings, Martensitic Stainless and Alloy, for Pressure Containing Parts Suitable for High-Temperature Service
SA-234/SA-234M	Piping Fittings of Wrought Carbon Steel and Alloy for Moderate and Elevated Temperatures
SA-350/SA-350M	Forgings, Carbon and Low-Alloy Steel, Requiring Notch Toughness Testing for Piping Components
SA-351/SA-351M	Steel Castings, Austenitic, for High-Temperature Service
SA-352/SA-352M	Steel Castings, Ferritic and Martensitic, for Pressure Containing Parts Suitable for Low-Temperature Service
SA-403/SA-403M	Wrought Austenitic Stainless Steel Piping Fittings
SA-420/SA-420M	Piping Fittings of Wrought Carbon Steel and Alloy Steel for Low- Temperature Service
SA-522/SA-522M	Forged or Rolled 8 and 9% Nickel Alloy Steel Flanges, Fittings, Valves and Parts for Low-Temperature Service
SA-592/SA-592M	High-Strength Quenched and Tempered Low-Alloy Steel Forged Fitting and Parts for Pressure Vessels
SA-815/SA-815M	Wrought Ferritic, Ferritic/Austenitic, and Martensitic Stainless Steel, Piping Fittings
SA-905	Steel Wire, Pressure Vessel Winding

Para serviços de baixa corrosão, indica-se o usos dos seguintes materiais para chapas para uso em vasos de pressão em função da temperatura, segundo o Bednar^[13].

Temperatura de Serviço (°F)	Material Indicado
-425 a -321	SA-182 gr. F304, F304L, F347
-320 a -151	SA-183 gr. F304, F304L, F316 SA-522
-150 a -76	SA-350 gr. LF3
-75 a -51	SA-350 gr. LF3
-50 a +32	SA-350 gr. LF1 ou LF2
+33 a +60	SA-181 gr. I ou II SA-105 gr. I ou II
+61 a +775	SA-181 gr. I ou II SA-105 gr. I ou II
+776 a +875	SA-182 gr. F1
+876 a +1000	SA-182 gr. F11 SA-182 gr. F12
+1000 a +1100	SA-182 gr. 22
+1100 a +1500	SA-182 graus 304H, 316H, 321H, 347H
acima de +1500	

São os seguintes materiais indicados para a faixa de temperatura de projeto, de 0°C (32°F) a 158°C (316°F):

- SA-105
- SA-181 (gr. 60 e gr. 70)

Segundo a ASME, Seção II, Parte A^[8] (Ferrous Materials), o aço SA-105 é especificado para flanges, válvulas e outros componentes e acessórios de tubulações forjados para dimensões padrões como ANSI e API (American Petroleum Institute) que não excedam 4540 kg. Enquanto que, também segundo a ASME, Seção II, Parte A (Ferrous Materials)^[8], o SA-181 é destinado a componentes de válvulas e conexões com dimensões fora do padrão.

Portanto, será usado para os flanges e outros componentes forjados o aço SA-105, já que os forjados utilizados seguem o padrão ASME/ANSI.

6.4 - Material dos Parafusos e Porcas para Flanges

O vaso possui flanges, que necessitam de parafuso e porcas no Bocal de Visita e no bocal B (válvula de pressão de segurança). Apesar dos parafusos e das porcas estarem do lado externo do vaso, considera-se que a temperatura de operação nestes elementos seja o mesmo do interior dos vasos, já que a temperatura interior de operação (0°C a 158°C) não é tão elevada.

Os materiais ferrosos destinado a uso em parafusos e porcas conforme ASME, Seção II, Parte A^[8] (Ferrous Materials) são:

SA-193/SA-193M	Alloy Steel and Stainless Steel Bolting Materials for High-Temperature Service
SA-194/SA-194M	Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High-Pressure and High-Temperature Service
SA-307	Carbon Steel Externally Threaded Standard Fasteners
SA-320/SA-320M	Alloy Steel Bolting Materials for Low-Temperature Service
SA-325	High-Strength Bolts for Structural Steel Joints
SA-354	Quenched and Tempered Alloy Steel Bolts, Studs, and Other Externally Threaded Fasteners
SA-437/SA-437M	Alloy Steel Turbine-Type Bolting Material Specially Heat Treated for High-Temperature Service
SA-449	Quenched and Tempered Steel Bolts and Studs
SA-453/SA-453M	Bolting Materials, High Temperature, 50 to 120 ksi [345 to 827 MPa] Yield Strength, With Expansion Coefficients Comparable to Austenitic Steel
SA-540/SA-540M	Alloy Steel Bolting Materials for Special Applications
SA-563	Carbon and Alloy Steel Nuts
SA-574	Alloy Steel Socket-Head Screws
SA-568	Carbon and Alloy Steel Externally Threaded Metric Fasteners

Para serviços de baixa corrosão, indica-se o usos dos seguintes materiais para parafusos e porcas para uso em vasos de pressão, segundo o Bednar^[13].

Temperatura de Serviço (°F)	Material Indicado
-425 a -151	Parafusos: SA-320 gr. B8 Porcas: SA-194 gr. 8 (S5 SA20)
-150 a -21	Parafusos: SA-320 gr. L7 Porcas: SA-194 gr. 4
-20 a +1000	Parafusos: SA-193 gr. B7 Porcas: SA-194 gr. 2H
+1000 a +1100	Parafusos: SA-193 gr. B5 Porcas: SA-194 gr. 3
+1100 a +1500	Parafusos: SA-193 gr. B8 Porcas: SA-194 gr. 8
acima de +1500	

São os seguintes materiais indicados para a faixa de temperatura de projeto, de 0°C (32°F) a 158°C (316°F):

- SA-193 gr. B7
- SA-194 gr. 2H

Pela Petrobrás (N-253f^[9], item 8.5.1), deve-se utilizar em flanges para temperaturas entre 0°C e 480°C, estojos de aço SA-193 gr. B7 e porcas de aço SA-194 gr. B8. Conforme a tabela e a norma de projeto da Petrobrás, seleciona-se:

- Parafusos: SA-193 gr. B7
- Porcas: SA-194 gr. 2H

6.5 - Material para Estrutura de Sustentação

Os materiais classificados como aços estruturais pela ASME, Seção II, Parte A^[8] (Ferrous Materials) são:

SA-36/SA-36M	Structural Steel
SA-283/AS-283M	Low- and Intermediate-Tensile Strength Carbon Steel Plates

Segundo o Bednar^[13], tem-se:

Temperatura de Serviço (°F)	Material Indicado
-425 a -21	Mesmo material da parte sob pressão (casco e tampos)
-20 a +775	SA-36
+776 a +1500	Mesmo material da parte sob pressão (casco e tampos)
acima de +1500	Mesmo material da parte sob pressão (casco e tampos)

As estrutura de sustentação será constituída, basicamente, de 4 pés (feitos de perfis L ou I, a ser decidido posteriormente) soldados sobre um reforço de mesmo material do casco soldado no casco do vaso de pressão.

Material SA-283 é apenas encontrado no forma de chapas, não podendo usá-lo em forma de perfis. O SA-36, como mostra a tabela acima, tem-se sua recomendação de uso em temperaturas de -20°F a +775°F, faixa dentro da qual está a faixa de temperatura de operação do vaso de pressão em projeto.

Portanto, será utilizado na estrutura o aço estrutural SA-36.

6.6 - Resumo do Materiais Selecionados

Localização	Material
Casco, tampos, boca de visita e reforços	SA-516 gr. 60
Bocais (exceto Boca de Visita)	SA-106 gr. B
Flange e forjados	SA-105
Parafusos	SA-193 gr. B7
Porcas	SA-194 gr. 2H
Estrutura de Sustentação	SA-36

7 - CASCO CILÍNDRICO

Para o cálculo da espessura requerida para o casco cilíndrico, tem-se o seguintes dados entrada:

Pressão de projeto:	390,3 kPa (71,1 psi)
Material do casco:	SA-516 gr. 60
Diâmetro interno do casco:	700 mm

Os cálculos para a determinação da espessura requerida do casco cilíndrico estão mostrados em detalhes no Apêndice I. Segundo estes cálculos, tem-se:

**Espessura requerida para o casco cilíndrico
(com sobre-espessura de corrosão): 4,98 mm**

O casco cilíndrico será obtido apartir uma ou mais chapas conformadas e soldadas entre si. O processo de conformação que será utilizado nas chapas é a calandragem a frio da chapa. Pela experiência da empresa em que estagio em processos de calandragem, a redução na espessura obtida experimentalmente não é maior que 10%.

Infelizmente, não se encontra chapas de aço em qualquer espessura. A Usiminas^[15] (maior empresa produtora de aço não revestido do Brasil), possui aços com "Qualidade Caldeiras Vasos de Pressão" apenas em forma de chapas grossas segundo o seu catálogo. Pela Usiminas^[15], as espessura padrões para chapa grossas são:

6,30 mm 8,00 mm 9,50 mm 12,50 mm 16,00 mm
19,00 mm 22,40 mm 25,00 mm 31,50 mm 37,50 mm
50,00 mm 63,00 mm 75,00 mm 100,00 mm

Chapas abaixo de 6,30 mm só é encontrada em forma de Laminado a Frio e Laminados a Quente conforme a figura acima. Porém, a Usiminas não fabrica aços com "Qualidade Caldeiras Vasos de Pressão" na forma de Laminados a Frio e Laminados a Quente.

Considerando uma redução máxima de 10% na espessura da chapa durante a conformação, tem-se:

Espessura da Chapa	Espessura mínima após calandragem
6,30 mm	5,67 mm
8,00 mm	7,20 mm
9,50 mm	8,55 mm

Como a espessura requerida para o casco cilíndrico é de 4,98 mm, serão utilizados na fabricação do casco cilíndrico chapas de aço SA-516 grau 60 com espessura de 6,30 mm.

Portanto:

Antes da conformação (bruto):	chapa de 6,30 mm de espessura
Após conformação (casco cilíndrico):	espessura mínima de 4,98 mm

8 - TAMPOS ELIPSÓIDAI 2:1

Para o cálculo da espessura requerida para o casco cilíndrico, tem-se o seguintes dados entrada:

Pressão de projeto:	390,3 kPa (71,1 psi)
Material dos tampos:	SA-516 gr. 60
Diâmetro interno do tampo:	16 pol.

Os cálculos para a determinação da espessura requerida dos tampos estão mostrados em detalhes no Apêndice II. Segundo os cálculos, tem-se:

**Espessura requerida para os tampos
(com sobre-espessura de corrosão):** 4,67 mm

Os dois tampos (superior e inferior) são elipsóidais 2:1. Serão fabricados através de uma conformação a frio de uma chapa. Na conformação desta chapa há uma redução na espessura. Mas mesmo após a redução de espessura depois da conformação, deve-se ter uma espessura superior a espessura requerida ao tampo.

Considerando uma redução máxima de 10% na espessura da chapa na conformação da chapa para fabricação do casco cilíndrico, tem-se:

Espessura da Chapa	Espessura mínimo após conformação
6,30 mm	5,67 mm
8,00 mm	7,20 mm
9,50 mm	8,55 mm

Como a espessura requerida para os tampos cilíndricos é de 4,67 mm, serão utilizado na fabricação dos tampos chapas de aço SA-516 grau 60 com espessura de 6,30 mm.

Deve-se ainda dimensionar o comprimento da saia do tampo. O comprimento da saia do tampo é determinado pelo parágrafo UW-13 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), que determina para tampos com espessura de parede igual ou menor que a espessura de parede do casco cilíndrico o comprimento de saia é opcional (figura 8.1).

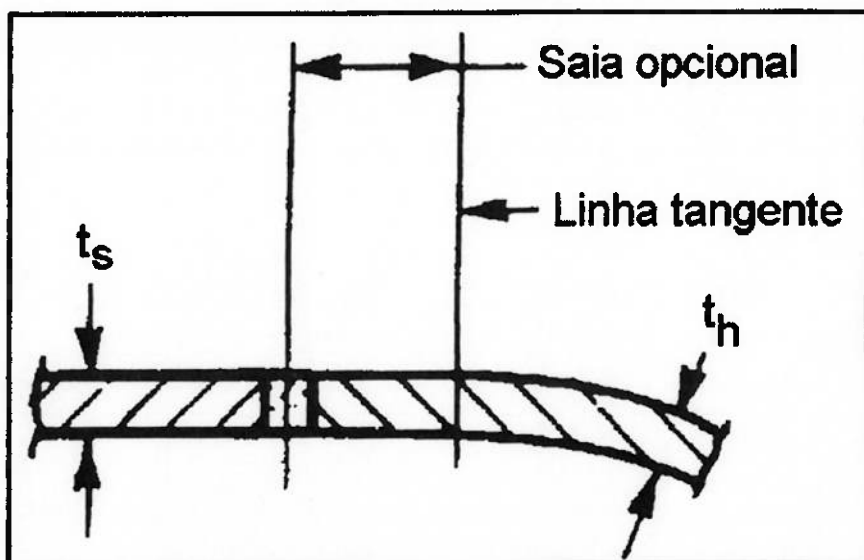


Fig. 8.1 - Comprimento da Saia do Tampo (conforme UW-13)

Na junta soldada entre o casco cilíndrico e o tampo, ocorrem concentrações de tensões devido a tendência de expansão radial diferente do casco e do tampo.

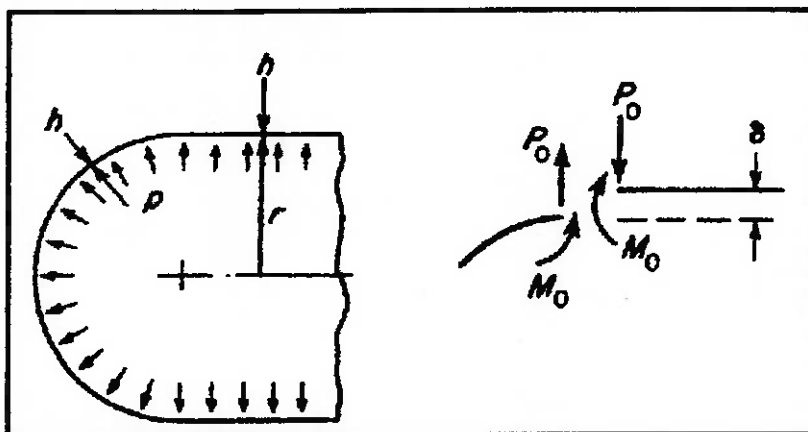


Fig. 8.2. -Expansão diferencial entre Casco e Tampo

A concentração de tensão no casco ou na saia do tampo é maior quanto mais próximo estiver o ponto Linha Tangente (início da curvatura do tampo).

O comprimento de saia do tampo deve ter comprimento convenientemente escolhido para que não ocorra concentrações de tensões muito grandes nas juntas soldadas (longitudinais e circunferenciais) do casco. Porém, o comprimento da saia do tampo não deve ser muito grande para que não inviabilize tecnicamente e economicamente a conformação do tampo elipsoidal com saia excessivamente grande.

Então, adotar-se-á um comprimento de saia de 40 mm.

Portanto:

Antes da conformação (bruto):

Após conformação (tampo):

Comprimento de saia:

chapa de 6,30 mm de espessura

espessura mínima de 4,67 mm

40 mm

9 - DIMENSIONAMENTO DA BOCA DE VISITA

A Boca de Visita é um bocal com diâmetro nominal de 16 pol. Segundo a ASME/ANSI B36.10^[7] (Welded and seamless wrought steel pipe) tem-se:

Diâmetro nominal do bocal: 16 pol.
Diâmetro externo: 406,4 mm^(*) = 16,000 pol.
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ANSI

Pela norma de projeto da Petrobrás (N-253^[9], item 8.2.8), pescoços de bocais com mais diâmetros nominais de até 10 polegadas, inclusive, devem ser feitos de tubo sem costura, a não ser quando construído de flanges tipo "long neck welding" ou de material forjado. Para diâmetros nominais de acima 12 polegadas, o pescoço pode ser fabricado de tubo com ou sem costura, ou material forjado, ou chapa calandrada, devendo nesse último caso ter uma única solda longitudinal.

Então, a Boca de Visita será fabricada de chapa calandrada com uma única solda longitudinal. Ainda que a Boca de Visita seja fabricado de chapa calandrada, esta deve seguir obrigatoriamente as dimensões padrões de tubos da ANSI B36.10. Isto se deve a utilização na Boca de Visita de um flange padrão da ANSI. Caso contrário, pode-se ocorrer incompatibilidade entre o pescoço da boca de Visita e o flange utilizado.

Os cálculos para a determinação da espessura da boca de visita (bocal H) estão mostrados no Apêndice III. Os cálculos de espessura requerida para a boca de visita segue o mesmo procedimento do cálculo da espessura do casco cilíndrico. Pelos cálculos, tem-se:

Espessura requerida para a boca de visita
(com sobre-espessura de corrosão): 4,14 mm

Como a Boca de Visita será formada a partir de chapa calandrada, deve-se levar em consideração redução de espessura da chapa na calandragem. Adotará, como na calandragem do casco cilíndrico, um redução máxima de 10% da espessura da chapa na calandragem do pescoço da Boca de Visita..

Espessura da Chapa	Espessura mínimo após conformação
6,30 mm	5,67 mm
8,00 mm	7,20 mm
9,50 mm	8,55 mm

Como mostrado anteriormente, a Usiminas^[15] fornece chapas de aço "Qualidade Caldeiras Vasos de Pressão" com espessura mínima de 6,30 mm. E também, torna-se conveniente o uso de uma chapa de 6,30 mm para fabricação da Boca de Visita, pois esta espessura de chapa também será utilizada na fabricação do casco e dos tampos.

Como a espessura requerida para os tampos cilíndricos é de 4,14 mm, serão utilizado na fabricação dos tampos chapas de aço SA-516 grau 60 com espessura de 6,30 mm.

A Boca de Visita deverá ter uma porta, que será implementada através de um flange soldado ao pescoço da Boca de Visita e um flange cego.

Pela norma de projetos da Petrobrás (N-253f^[9], item 8.4.6), flanges com diâmetro nominal igual ou maior que 14 polegadas, admitem-se uso de flanges de classe de pressão 150 e 300 do tipo sobreposto ("slip on") de aço forjado em vaso de pressão de fabricação nacional.

Então, para flange cegos e flanges do tipo sobreposto de classe de pressão 150, tem-se segundo o ANSI B16.5^[3]:

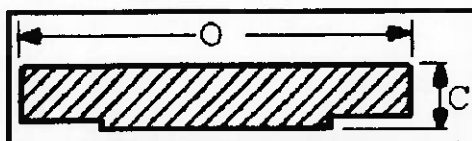


Fig. 9.1 - Flange Cego

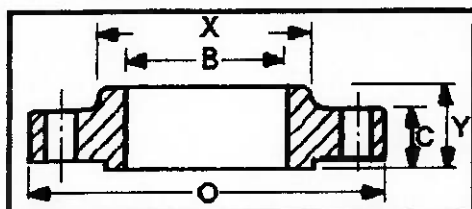


Fig. 9.2 - Flange Tipo "Slip-On"

Diâmetro Nominal	O	X	Y	B	C
16 pol.	23,50 pol.	18,00 pol.	2,50 pol.	16,16 pol.	1,44 pol.

Segundo a ASME/ANSI B16.5^[3], a face de ressalto para flanges da classe 150 e 300 geralmente tem uma altura de 1/16 pol. (0,06 pol.). E segundo a norma de projeto da Petrobrás (N-253f^[9], item 8.4.12), flanges de pressão da classe 150 e classe 300 deverão ter uma face de ressalto com altura de (1/16) pol. Adota-se, então, uma face de ressalto com altura de (1/16) pol. dentro dos padrões ANSI e da norma de projeto da Petrobrás.

Pela Petrobrás (N-253f^[9], item 8.5.1), deve-se utilizar em flanges para temperaturas entre 0°C e 480°C, estojos de aço SA-193 grau B7 e porcas de aço SA-194 grau B8.

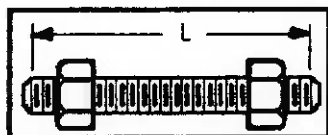


Fig. 9.3 - Estajo

Diâmetro Nominal	Diâmetro do Circulo de Furação	Diâmetro dos Furos	Número de Parafusos	Diâmetro dos Parafusos	Comprimento do Estajo para Face de Ressalto de 0,06 in.
16 pol.	21,25 pol.	1,12 pol.	16	1 pol.	4,50 pol.

Independentemente da classe do flange, tem-se as seguintes dimensões:

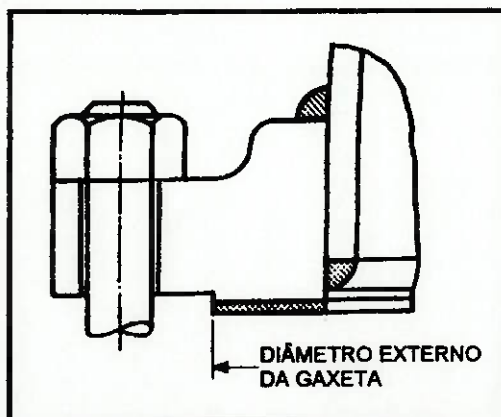


Fig. 9.4 - Ressalto da Gaxeta

Diâmetro Nominal	Diâmetro Externo da Gaxeta
16 pol.	18,50 pol.

Pela norma da Petrobrás (N-253f⁹¹), item 8.3.3), as bocas de visitas com tampa no plano vertical, de classe de pressão 150, com diâmetros menor ou igual à 24 polegadas, devem ter turco ou dobradiça para abertura da tampa.

Pelo parágrafo UG-36 ao parágrafo UG-43 (ASME, Seção VII, Divisão 1^[2]), verifica-se que o bocal H necessita de reforço de abertura de bocal. Os cálculos de verificação e necessidade de reforço de abertura de bocal no casco e o dimensionamento de reforço estão no Apêndice V. Obteve-se apartir dos cálculos, um anel reforço com diâmetro externo de 650 mm.

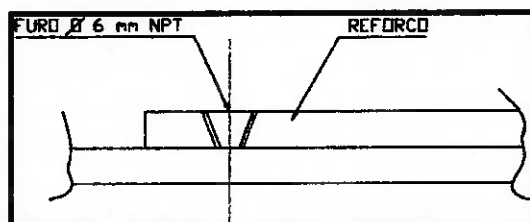


Fig. 9.5 - Furo NPT no reforço de abertura de bocal

Os reforços de abertura de bocais necessitam, pelo menos, de um furo como mostrado acima. Este furo tem a função de:

- permitir que os gases entre o reforço e o casco escapem por ele durante a soldagem do reforço;
- servir para ensaio de estanqueidade, quando é injetado ar comprimido pelo furo NPT.

O furo após o teste hidrostático deve ser preenchido com graxa para evitar acúmulo de sujeira e umidade no furo e entre o reforço e o casco.

Pela norma de projeto da Petrobrás (N-253f⁹¹), item 8.2.14), reforços de bocais com diâmetro superior a 10 pol. devem possuir dois furos de 6 mm de diâmetro com rosca NPT posicionados diametralmente opostos.

10 - POSICIONAMENTO DOS BOCAIS

Conforme os requisitos de projeto:

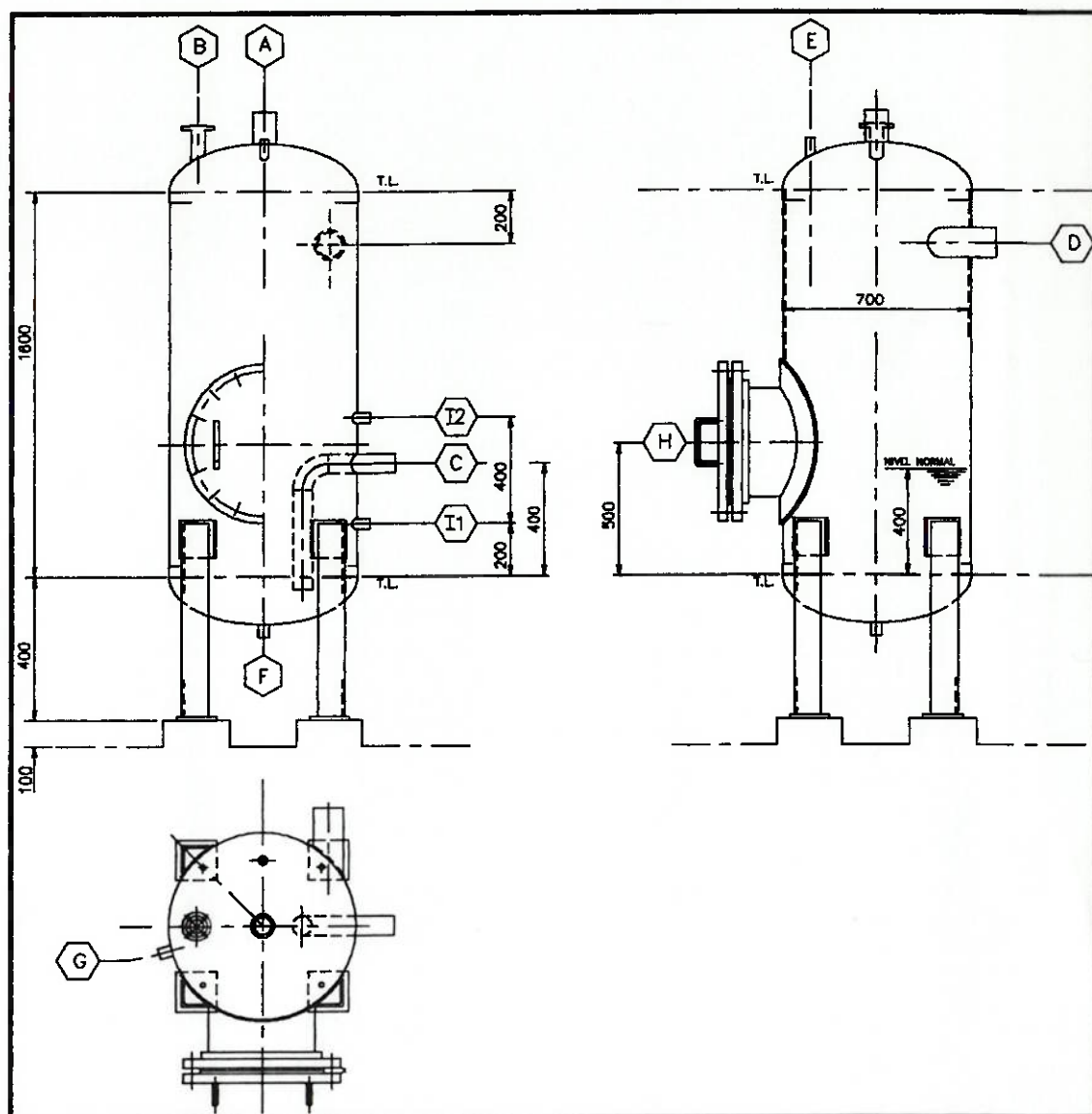


Fig. 10.1 - Posicionamento dos Bocais Segundo Requisitos de Projeto

Os bocais devem ser posicionados de forma que não fiquem muito próximos para que as concentrações de tensões no vaso não se agravem com a proximidade entre dois ou mais bocais.

O bocal A (saída de vapor) será posicionado na parte mais alta do vaso de pressão, portanto, será posicionado no centro do tampo superior.

O bocal B (válvula de segurança) também será posicionado no tampo superior. A válvula de segurança deve ficar suficientemente longe do bocal A para que não concentre tensões exageradamente e, ainda, deve-se distanciar o suficiente para que o bocal B não fique dentro do quebra-jato juntamente com o bocal A (veja figura abaixo).

O bocal E (ventilação) ficará também no tampo superior e será diametralmente oposto ao bocal B para estar distante suficientemente do bocal A e bocal B.

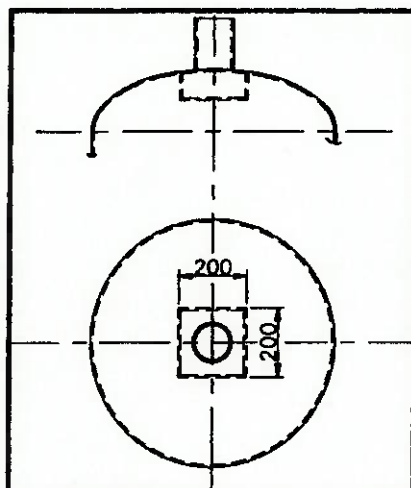


Fig. 10.2 - Quebra-Jato

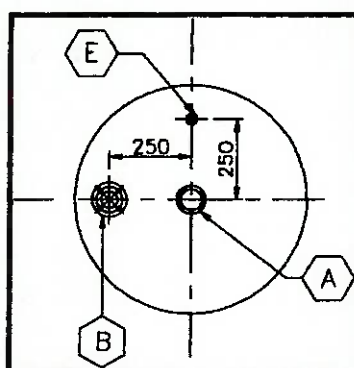


Fig. 10.3 - Vista Superior do Tampo Superior

O bocal C (saída de água) terá o seguinte posicionamento:

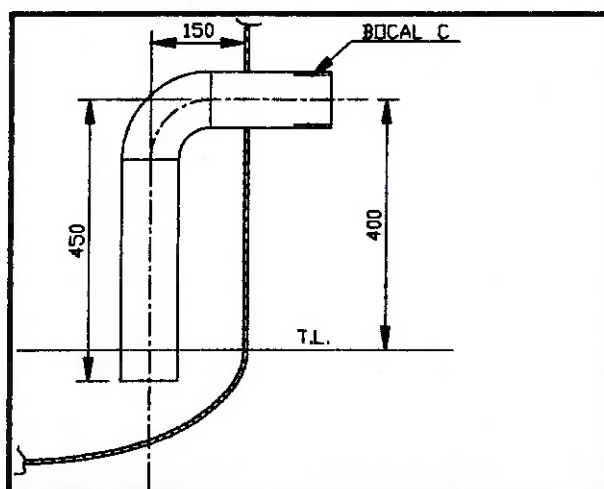


Fig. 10.4 - Posicionamento do Bocal C

O bocal D (entrada de descarga) será posicionado no casco cilíndrico. O não deverá ficar muito próximo do bocal A (saída de vapor), pois isto poderá acarretar um

“curto-circuito” da entrada com a saída. O posicionamento do bocal D conforme os requisitos de projeto:

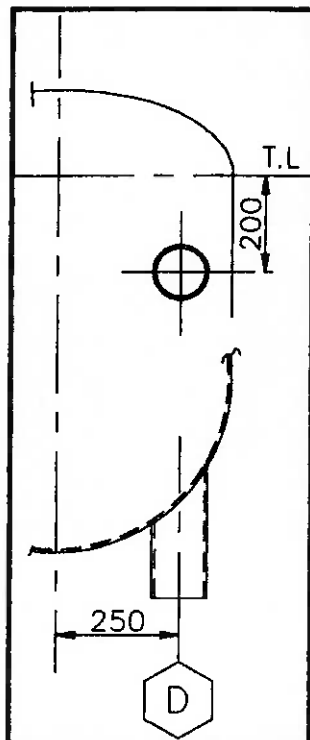


Fig. 10.5 - Posicionamento do Bocal D

O bocal F (dreno) será posicionado na parte mais baixa do vaso de pressão, portanto, será posicionado no centro do tampo inferior.

O bocal G (manômetro) será posicionado no casco cilíndrico de forma que sempre acima do nível de água para medir sempre a pressão do vapor. Como o nível da água normal fica a 400 mm acima a Linha Tangente inferior. Colocar-se-á o bocal G (manômetro a uma altura de 1000 mm, o suficiente para garantir que o bocal G fique acima do nível de água.

Conforme os requisitos de projeto, o bocal H (boca de visita) tem sua linha centro posicionada 500 mm acima da Linha Tangente inferior.

11 - CONFIGURAÇÕES DOS BOCAIS

Neste capítulo, é determinado a configuração de todos os bocais, com exceção do bocal H (Boca de Visita) que já foi dimensionado anteriormente, pois o dimensionamento de bocas de visitas seguem critérios de dimensionamento diferentes de outros tipos de bocais

Será determinado o tipo da conexão, a dimensões da conexão e a necessidade ou não de reforço de abertura de bocal.

Conforme o parágrafo UG-44 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), os flanges e acessórios de tubulação sob padrões listados abaixo são aceitos para uso sob esta Divisão (Divisão 1). Com exceção do ASME/ANSI B16.9 e ASME B16.11^[4], os flanges e acessórios de acordo com um dos padrão abaixo deverão ter as temperaturas e as pressões de trabalho de acordo com os limites impostos pelo padrão utilizado, sem que necessários cálculos adicionais. Os elementos de acordo com ASME/ANSI B16.9 e ASME B16.11^[4] deverão ser calculados como tubo reto sem costura de acordo com o ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]. Para o cálculo deverá ser utilizado uma pressão de 80% da pressão máxima de operação.

- ASME/ANSI B16.5, Pipe Flanges and Flanged Fittings
- ASME/ANSI B16.9, Factory-Made Wrought Steel Buttwelding Fittings
- ASME B16.11, Forged Steel Fittings, Socket-Welding and Threaded
- ANSI/ASME B16.15, Cast Bronze Threaded Fittings, Class 125 and 250
- ANSI B16.20, Ring-Joint Gaskets and Grooves for Steel Pipe Flanges
- ASME B16.24, Cast Copper Alloy Pipe Flanges and Flanged Fittings, Class 150, 300, 400, 600, 900, 1500, and 2500
- ASME/ANSI B16.28, Wrought Steel Buttwelding Short Radius Elbows and Returns
- ASME/ANSI B16.42, Ductile Iron Pipe Flanges and Flanged Fittings, Class 150 and 300
- ASME B16.47, Large Diameter Steel Flanges, NPS 26 Through NPS 60

O parágrafo UW-16 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]) determina os tipos aceitáveis de conexões que os bocais podem ser soldados aos casco e tampos. Dentre os tipo possíveis, serão utilizados dois tipos (sem reforço e com reforço do tipo "pad").

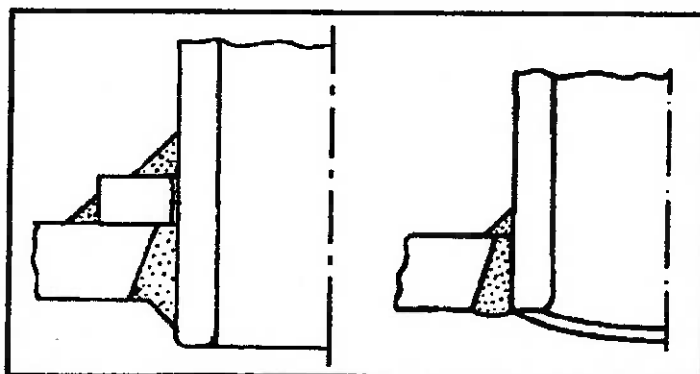


Fig. 11.1 - Configurações adotadas para conexão do bocais ao casco e aos tampos

11.1 - BOCAL A (SAÍDA DE VAPOR)

Segundo os requisitos de projeto, o bocal A é formado por tubo de diâmetro nominal de 4 polegadas biselado conforme ANSI B16.25 (Buttwelding ends) e ANSI B36.10 (Welded and seamless wrought steel pipe) para soldagem.

Diâmetro nominal do bocal: 4 pol.
Diâmetro externo: 114,3 mm^(*) = 4,500 pol.
Localização: tampo superior
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ANSI

Pela Petrobrás (N-253f^[9], item 8.2.9), bocais de tubos em aço-carbono ou aço baixa-liga com diâmetro até 2 polegadas exigem um diâmetro mínimo de Schedule 80, e com diâmetro entre 3 polegadas e 10 polegadas exigem um diâmetro mínimo de Schedule 40. Então, tem-se:

Espessura de parede: $t_n = 6,02 \text{ mm}^{(*)} = 0,237 \text{ pol.}$
 (Schedule 40)
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ANSI

Pela UG-45 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), verifica-se que a espessura de parede de 6,02 mm (Schedule 40) é suficiente para resistir a pressão máxima de operação. Os cálculos para verificação da espessura está mostrada em detalhes no Apêndice IV.

Segundo a norma de projeto da Petrobrás (N-253f^[9], item 8.2.3), a projeção externa dos bocal deve ser a mínima necessária, porém o suficiente para:

- permitir uma distância adequada entre a solda no flange e a solda no casco ;
- permitir a desmontagem e montagem dos parafusos no flange;
- evitar que os parafusos ou as porcas fiquem embutidos no isolamento térmico do vaso;
- permitir o acesso para soldagem do pescoço do bocal no casco;

Como o vaso em projeto não possui isolamento térmico e o bocal não é flangeado, adota-se uma projeção externa mínima de 100 mm, o suficiente para soldar o pescoço do bocal no casco e soldar tubulação externa ao bocal.

Porém, deve-se lembrar que o vaso será submetido a teste hidrostático. No teste hidrostático, todos bocais devem ser fechados convenientemente. O bocal A será fechado através da soldagem de um “cap” em seu final. Após o teste hidrostático, o bocal A terá uma parte do seu final cortada para reabertura do bocal. Esta parte cortada deverá ser levada em conta, para que após este corte do bocal A ainda se tenha uma projeção externa do bocal de 100 mm, determinado anteriormente como mínimo.

Abaixo, está mostrado o esquema do “cap” de classe 3000 segundo ASME/ANSI B16.11^[4] (Forged fittings, socket-welding and threaded).

Portanto:

BOCAL A	
Função	saída de vapor
Tipo a conexão	tubo biselado (ASME/ANSI B16.25 ^[3])
Diâmetro nominal	4 pol.
Espessura de parede	6,02 mm = 0,237 pol. (Schedule 40)
Comprimento destinado a teste hidrostático	30 mm
Projeção externa (após teste hidrostático)	112,4 mm
Projeção interna	15 mm
Raio de arredondamento da aresta interna	6 mm
Reforço de abertura de bocal	diâmetro externo de 214,3 mm

11.2 - BOCAL B (VÁLVULA DE SEGURANÇA)

O bocal B destinado a conexão a válvula de segurança será constituído de um flange fabricado por forjamento, seguindo o padrão ANSI B16.5^[3] (Pipe flanges and flanged fittings).

Consultando o ASME/ANSI B16.5^[3], verifica-se que um flange da classe 150 e construído de aço SA-105 tem os seguintes limites de pressão e temperatura:

Temperatura	300°F	400°F
Pressão máxima permitida	230 psi	300 psi

Como a máxima temperatura de projeto é 304°F (151°C) e a máxima pressão de projeto é de 71,1 psi (490,3 kPa), é permitido o uso de um flange de classe 150 segundo o ASME/ANSI B16.5^[3].

Conforme já mostrado antes, pelo parágrafo UG-44 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), não necessita de cálculos de verificação do flange, pois a pressão e a temperatura de projeto está dentro do limite permitido pelo ASME/ANSI B16.5^[3].

E ainda, pela norma de projeto da Petrobrás (N-253f^[9], item 8.4.11), flanges de aço forjado que tenham todas as suas dimensões exatamente como especificado por qualquer das normas ANSI B16.5^[3], MSS SP-44 ou API-605 (inclusive círculo de furação, número e diâmetro de parafusos, etc.) são aceitos para as pressões e temperaturas de trabalho até os limites estabelecidos nessas normas, sem que sejam necessários cálculos especiais.

Por estes motivos, será utilizado um flange com as dimensões seguindo exatamente conforme ASME/ANSI B16.5^[3].

Pela Petrobrás (N-253f^[9], item 8.4.5), flanges de diâmetros nominais entre 2 pol. e 12 pol. devem ser flanges do tipo "long welding neck" de aço forjado.

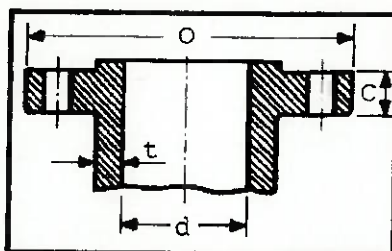


Fig. 11.2.1 - Flange "Long Neck Welding"

Diâmetro Nominal	O	C	d	t
2 pol.	6,00 pol.	0,62 pol.	2,0 pol.	0,22 pol.

Segundo a ASME/ANSI B16.5^[3], a face de ressalto para flanges da classe 150 e 300 geralmente tem uma altura de 1/16 pol. (0,06 pol.). E segundo a norma de projeto da Petrobrás (N-253f^[9], item 8.4.12), flanges de pressão da classe 150 e classe 300 deverão ter uma face de ressalto com altura de (1/16) pol. Adota-se, então, uma face de ressalto com altura de (1/16) pol. dentro dos padrões ANSI e da norma de projeto da Petrobrás.

Pela Petrobrás (N-253f^[9], item 8.5.1), deve-se utilizar em flanges para temperaturas entre 0°C e 480°C, estojos de aço SA-193 gr. B7 e porcas de aço SA-194 gr. B8.

Conforme a ASME/ANSI B16.5^[3], tem-se:

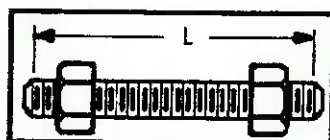


Fig. 11.2.2 - Estojo

Diâmetro Nominal	Diâmetro do Circulo de Furação	Diâmetro dos Furos	Número de Parafusos	Diâmetro dos Parafusos	Comprimento do Estojo para Face de Ressalto de 0,06 in.
2 pol.	4,75 pol.	0,75 pol.	4	5/8 pol.	3,25 pol.

Independentemente da classe do flange e do tipo do flange, tem-se a seguinte dimensão:

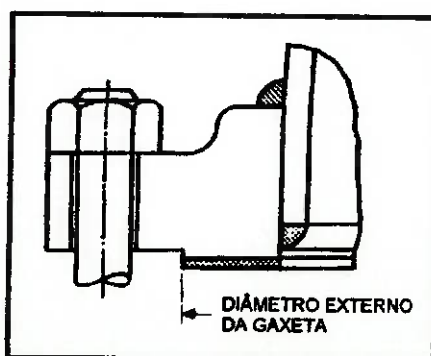


Fig. 11.2.3 - Ressalto da Gaxeta

Diâmetro Nominal	Diâmetro Externo da Gaxeta
2 pol.	3,62 pol.

Para o cálculo do reforço da abertura de bocal adotará o seguintes valores:

Diâmetro externo: 2,44 pol.
Espessura nominal: 0,22 pol. (5,59 mm)
Localização: tampo superior

O bocal B não terá projeção interna e possuirá uma parede de espessura de 0,22 pol. (5,59 mm); então, a aresta interna do bocal será arredondado com um raio de arredondamento de 5,0 mm.

O bocal B está localizado no tampo superior, tem o seu posicionamento como mostrado abaixo e conforme definido anteriormente.

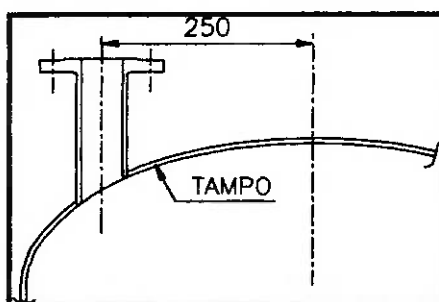


Fig. 11.2.4 - Posicionamento do bocal B

Adotando um comprimento total do flange a ser utilizado de 180 mm, obtém-se uma projeção externa mínima de aproximadamente 140 mm (espessura de parede do tampo de 6,30 mm) conforme mostrado na figura abaixo. A projeção externa de 140 mm é suficiente para soldar o pescoço do flange ao tampo e suficiente para montagem dos estojos ao flange, já que o vaso de pressão em projeto não possui isolamento térmico.

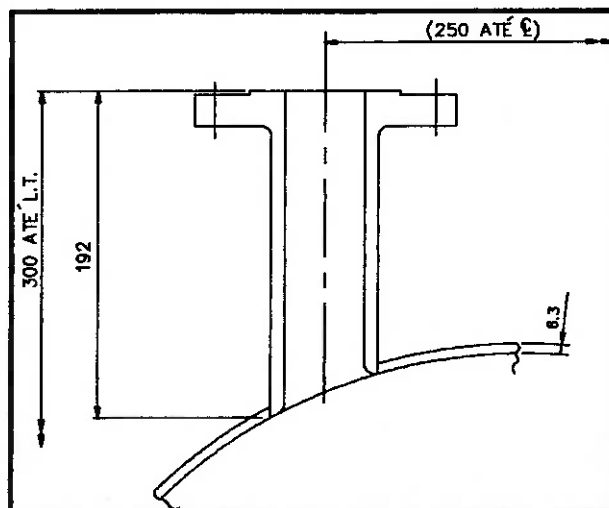


Fig. 12.2.4 - Projeção externa do bocal B

Pelos cálculos do Apêndice V conforme UG-36 a UG-43 (ASME, Seção VII, Divisão 1^[2]), o bocal B não necessita de reforço de abertura de bocal.

Portanto:

BOCAL B	
Função	válvula de segurança
Tipo a conexão	flange "Long Neck Welding" (ASME/ANSI B16.5 ^[5])
Classe de pressão	classe 150
Diâmetro nominal	2 pol.
Comprimento total do bocal	180 mm
Projeção externa mínima	146,88 mm
Projeção interna	0 mm
Raio de arredondamento da aresta interna	5 mm
Reforço de abertura de bocal	não há

11.3 - Bocal C (saída de água)

O bocal C é formado de um tubo biselado conforme a ANSI B16.25^[5] (Buttwelding ends) e a ANSI B36.10^[7] (Welded and seamless wrought steel pipe).

O diâmetro padrão da saída de água do tanque de descarga de diâmetro interno de 700 mm conforme a empresa é de 2½ pol. Mas a Petrobrás (N-253f^[9], item 8.2.2) não permite uso de bocais com diâmetro nominal de 2½ pol. Portanto usar-se-á um diâmetro nominal de 3 polegadas para a saída de água que é o diâmetro maior e mais próximo de 2½ polegadas, pois o uso de um diâmetro nominal menor poderia não ser suficiente para a vazão necessária para saída de água.

Diâmetro nominal do bocal: 3 pol.
Diâmetro externo: 88,9 mm^(*) = 3,500 pol.
Localização: casco cilíndrico
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ANSI B36.10^[7]

Adota-se para o bocal D um Schedule 40 conforme a Petrobrás (N-253f^[9], item 8.2.9).

Espessura nominal: $t_n = 5,49 \text{ mm}^{(*)} = 0,216 \text{ pol. (Schedule 40)}$
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ANSI B36.10^[7]

Pelos cálculos no Apêndice IV conforme UG-45 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), verifica-se que as dimensões mostradas acima são suficientes para a pressão máxima de projeto.

O bocal C possui projeção interna, conforme o esquema abaixo:

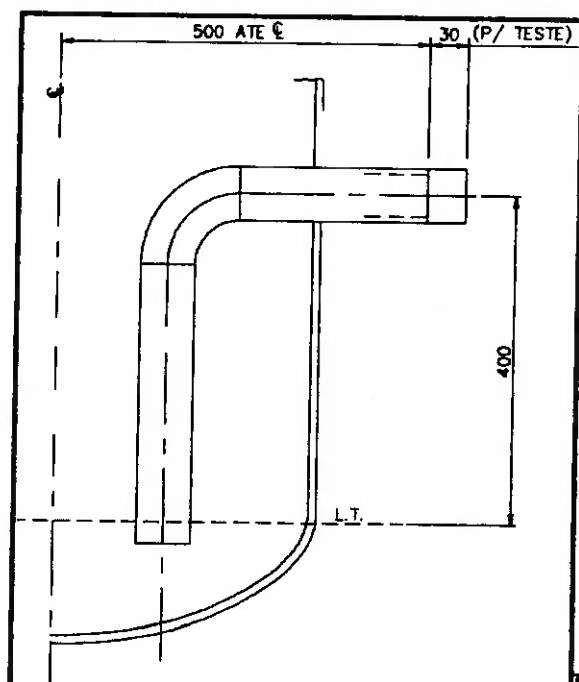


Fig. 11.3.1 -Posicionamento do bocal C

Deve-se seleccionar o cotovelo de 90° que será utilizado no bocal C. Será utilizado um cotovelo com raio pequeno conforme a ANSI B16.28^[6] (Wrought steel butt welding short radius elbows and returns).

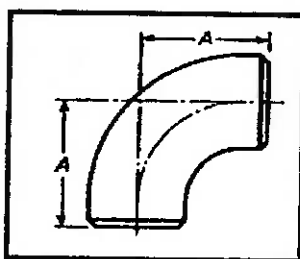


Fig. 11.3.2 - Cotovelo de 90° de raio curto

Diâmetro Nominal	Schedule	Diâmetro externo	A
3 pol.	40	88,9 mm (3,50 pol.)	76,2 mm (3,00 pol.)

Obs.: dimensões dadas em milímetros pela ASME/ANSI B16.28^[6]

Como o vaso em projeto não possui isolamento térmico e o bocal não é flangeado, adota-se uma projeção mínima externa do bocal de 100 mm, o suficiente para soldar o pescoço do bocal no casco e soldar tubulação externa ao bocal conforme a norma de projeto da Petrobrás (N-2531^[9], item 8.2.3).

Para tampar o bocal C no teste hidrostático, será utilizado um “cap” da classe 3000 conforme ANSI B16.11^[4] (Forged fittings, socket-welding and threaded), que será utilizado no teste hidrostático.

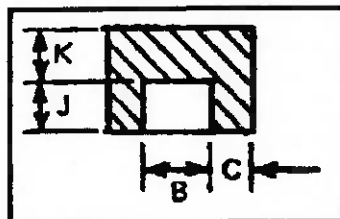


Fig. 11.3.3 - Esquema do "cap" conforme ASME/ANSI B16.11^[4]

Diâmetro Nominal	B (*)	C		J mínimo	K
		média	mínimo		
3 pol.	90,40 mm				
		9,50 mm	8,30 mm	16 mm	19,0 mm
	89,30 mm				

(*) - valores máximos e mínimos

Obs.: dimensões dadas em milímetros pela ASME/ANSI B16.11^[4]

Utilizará um "cap" com o valor de J igual a 16,0 mm, que é o valor mínimo. Considerando o valor de J mais uma distância perdida com a solda do "cap" com o bocal, adota-se para a distância destinada ao sacrifício no corte do bocal após teste hidrostático valor de 30 mm.

O peso da projeção interna do bocal C pode sobrecarregar a parede do vaso. Para evitar que o peso da projeção interna seja suportado apenas pelo casco cilíndrico, utilizar-se-á de um perfil em "L" padronizado fixo a projeção interna do bocal C e ao tampo inferior conforme a figura 11.3.4.

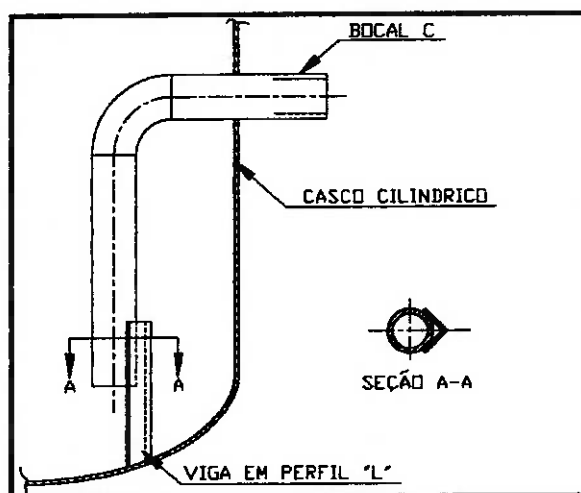


Fig. 11.3.4 - Esquema do perfil de sustentação interna do bocal C

Será utilizado um perfil L 1" x 1" x 1/8". Para sustentar internamente ao peso do bocal C. Este perfil é mais que o suficiente, já que o peso do bocal C não é tão elevado (aproximadamente 9,42 kg).

Pelos cálculos (no Apêndice V) conforme UG-36 a UG-43 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), o bocal C necessita de reforço de abertura de bocal conforme a fig. 11.3.5.

Pela norma de projeto da Petrobrás (N-253f^[9], item 8.2.14), o anel de reforço deverá ter um furo de 6 mm de diâmetro com rosca NPT para ensaio de solda.

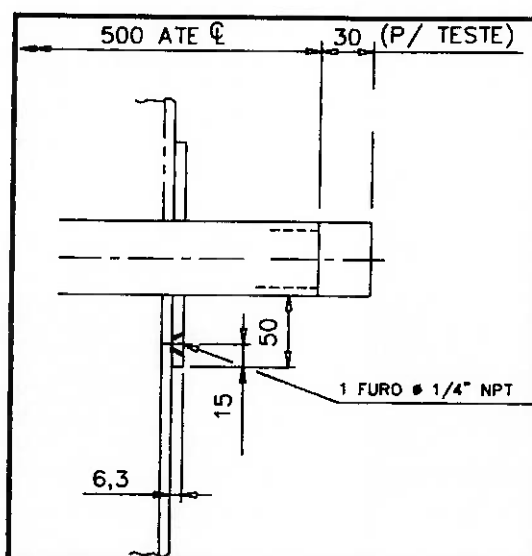


Fig. 11.3.5 - Reforço de Abertura do Bocal C

Portanto:

BOCAL C	
Função	saída de água
Tipo a conexão	tubo biselado (ASME/ANSI B16.25 ^[5])
Diâmetro nominal	3 pol.
Espessura de parede	5,49 mm = 0,216 pol. (Schedule 40)
Comprimento destinado a teste hidrostático	30 mm
Projeção externa (após teste hidrostático)	137,4 mm
Projeção interna	vide figura 11.3.4
Raio de arredondamento da aresta interna	5 mm
Reforço de abertura de bocal	diâmetro externo de 188,9 mm

11.4 - Bocal D (entrada de descarga)

O bocal D é formado de tubo biselado conforme a ANSI B16.25^[5] (Buttwelding ends) e ANSI B36.10^[7] (Welded and seamless wrought steel pipe).

Diâmetro nominal do bocal: 4 pol.
Diâmetro externo: 114,3 mm^(*) = 4,500 pol.
Localização: casco cilíndrico
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ASME/ANSI

Pela Petrobrás (N-253f^[9], item 8.2.9), bocais com diâmetro até 2 pol. exige um diâmetro mínimo de Schedule 80 e com diâmetro entre 3 pol. e 10 pol. exigem um diâmetro mínimo de Schedule 40. Então:

Espessura nominal: $t_n = 6,02 \text{ mm}^{(*)} = 0,237 \text{ pol.}$ (Schedule 40)
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ASME/ANSI B36.10^[7]

Apesar de o bocal D ter o mesmo diâmetro (4,500 pol.) e mesma espessura (0,237 pol.) de parede bocal A, deve-se verificar a espessura e a necessidade de reforço de abertura; pois o bocal A está localizado no tampo superior e o bocal D está localizado no casco cilíndrico.

Pelo parágrafo UG-45 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), verifica-se que a espessura de parede de 0,237 pol. (Schedule 40) é suficiente para resistir a pressão máxima de operação. Os cálculos para verificação da espessura está mostrada em detalhes no Apêndice IV.

Como a espessura de parede do bocal D é de 6,02 mm (0,237 pol.), adota-se um arredondamento da aresta interna do bocal de 6 mm.

O bocal D está localizado no casco cilíndrico, tem o seu posicionamento como mostrado abaixo e conforme definido anteriormente.

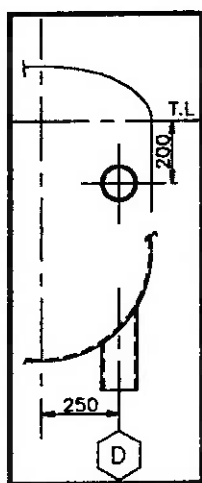


Fig. 11.4.1 - Posicionamento do bocal D

Como o vaso em projeto não possui isolamento térmico e o bocal não é flangeado, adota-se como projeção externa mínima de 100 mm, o suficiente para soldar o pescoço do bocal no casco e soldar tubulação externa ao bocal.

Para tampar o bocal D no teste hidrostático, será utilizado um “cap” da classe 3000 (não existem “cap” de classe 6000 e classe 9000) conforme ANSI B16.11^[4] (Forged fittings, socket-welding and threaded), que será utilizado no teste hidrostático

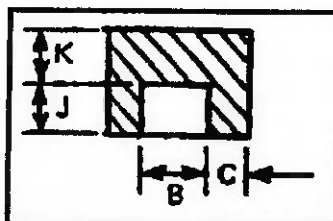


Fig. 11.4.2 - Esquema do “cap” conforme ASME/ANSI B16.11^[4]

Diâmetro Nominal	B (*)	C		J mínimo	K
		média	mínimo		
4 pol.	116,05 mm				
		10,70 mm	9,35 mm	19 mm	22,0 mm
	115,45 mm				

(*) - valores máximos e mínimos

Obs.: dimensões dadas em milímetros pela ASME/ANSI B16.11^[4]

Utilizará um “cap” com o valor de J igual a 19 mm, que é o valor mínimo. Considerando o valor de J mais uma distância perdida com a solda do “cap” com o bocal, adota-se para a distância destinada ao sacrifício no corte do bocal após teste hidrostático valor de 30 mm.

Pelos cálculos do Apêndice V conforme UG-36 a UG-43 (ASME, Seção VII, Divisão 1^[2]), o bocal D necessita de reforço de abertura de bocal conforme figura 11.4.4.

Pela norma de projeto da Petrobrás (N-253f^[9], item 8.2.14), o anel de reforço deverá ter um furo de 6 mm de diâmetro com rosca NPT para ensaio de solda.

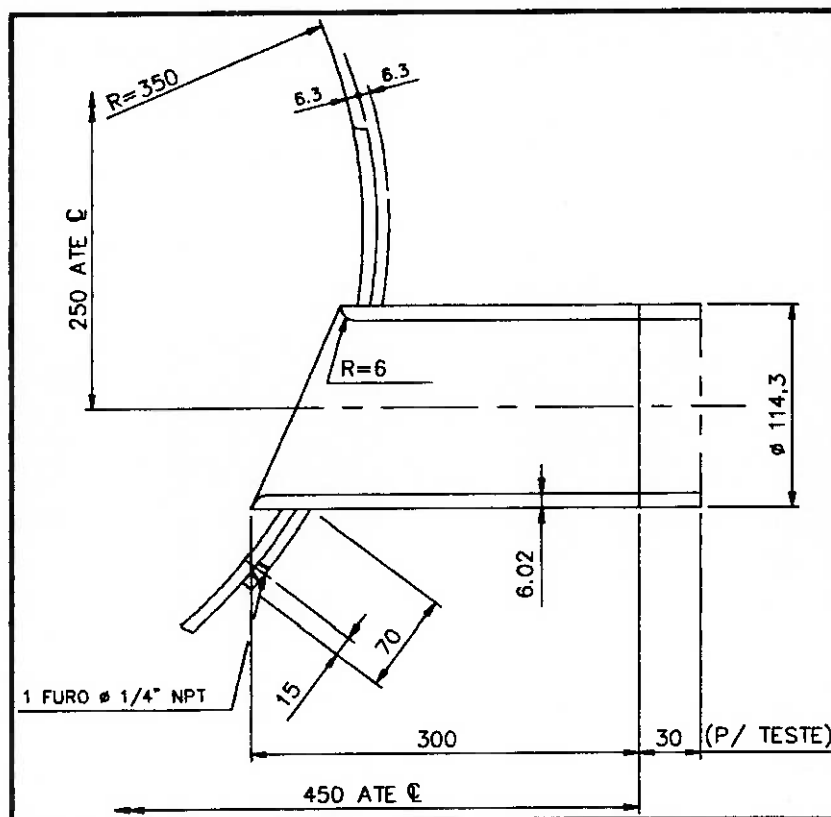


Fig. 11.4.3 - Detalhamento do Bocal D

Portanto:

BOCAL D	
Função	entrada de descarga
Tipo a conexão	tubo biselado (ANSI B16.25 ^[5])
Diâmetro nominal	4 pol.
Espessura de parede	6,02 mm = 0,237 pol. (Schedule 40)
Comprimento total do bocal (antes do teste hidrostático)	310 mm
Comprimento destinado a teste hidrostático	30 mm
Projeção externa (após teste hidrostático)	148,2 mm
Projeção interna	0 mm
Raio de arredondamento da aresta interna	6 mm
Reforço de abertura de bocal	diâmetro externo de 150 mm

11.5 - Bocal E (ventilação)

O bocal E é formado por uma meia-luva padrão ASME/ANSI B16.11^[4] (forged fittings, socket-welding and threaded) de diâmetro nominal de ½ polegada.

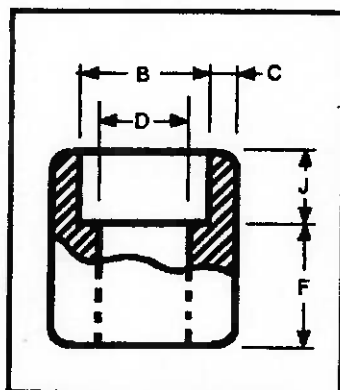


Fig. 11.5.1 -Meia-luva

Existem as classes 3000, 6000 e 9000 para meia-luvas, das quais dependem as dimensões mostradas acima. Utilizar-se-á para as meia-luvas da classe 6000. A classe 6000 será utilizada devido a norma técnica de projeto de vasos de pressão da Petrobrás (N-253f, item 8.2.11) requerer que seja utilizado no mínimo a classe 6000.

Para uma meia-luva da classe 6000 com diâmetro nominal de ½ polegada, tem-se segundo o ASME/ANSI B16.11^[4]:

Diâmetro Nominal	B (*)	D (*)	C		J	F
			média	mínimo	mínimo	mínimo
½ pol.	22,20 mm	12,5 mm				
			5,95 mm	5,20 mm	10 mm	22,4 mm
	21,70 mm	11,0 mm				

(*) - valores máximos e mínimos

Obs.: dimensões dadas em milímetros pela ASME/ANSI B16.11^[4]

Consultando o ASME/ANSI B16.11^[4], verifica-se que a pressão máxima de um forjado padrão é determinada calculando a pressão máxima de trabalho de um tubo equivalente padrão ASME/ANSI B36.10^[7]. Abaixo está a tabela que mostrada a equivalência entre os forjados e os tubos:

Classe	Tipo	Tubo equivalente para cálculo de pressão de trabalho	
		Schedule	Designação
2000	rosqueado	80	XS
3000	rosqueado	160	-
6000	rosqueado	-	XXS
3000	soldado	80	XS
6000	soldado	160	-
9000	soldado	-	XXS

Pelo Apêndice IV, verifica-se que um tubo de espessura de parede de 4,55 mm (Schedule 80) resiste a pressão projeto (490,3 kPa ou 71,1 psi), portanto é permitido o uso de qualquer meia-luva da classe 6000 de diâmetro nominal de $\frac{1}{2}$ polegada no bocal E.

O bocal E não terá projeção interna e terá um arredondamento da aresta interna do bocal de 5 mm. Adotar-se-á as seguintes valores de dimensões para a meia-luva:

B = 21,70 mm	(valor mínimo)
D = 11,0 mm	(valor mínimo)
C = 5,95 mm	(valor médio)
J = 10 mm	(valor mínimo)

O comprimento total do bocal é fornecido geralmente no comprimento de 50 mm, exceto quando especificado comprimento diferente junto ao fabricante da meia-luva. Com o comprimento total de 50 mm, obtém-se uma projeção externa de aproximadamente 25,36 mm, que é suficiente para soldagem da meia-luva ao tampo superior.

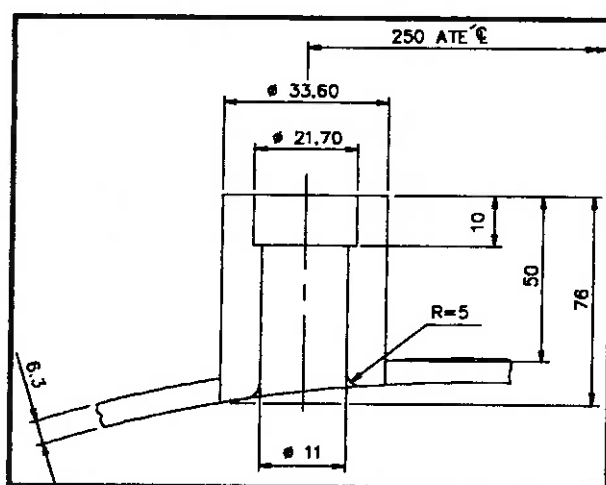


Fig. 11.5.2 - Projeção externa do bocal E

Pela UG-36 a UG-43 (ASME, Seção VII, Divisão 1^[2]), determina-se a necessidade ou não de um reforço para a abertura do bocal. Pelos cálculos mostrado no Apêndice V, mostra-se que o bocal E não necessita de qualquer tipo extra de reforço.

Portanto:

BOCAL E	
Função	ventilação
Tipo a conexão	meia-luva (ANSI B16.11 ^[4])
Diâmetro nominal	½ pol.
Classe de pressão	classe 6000
Comprimento total do bocal	50 mm
Projeção externa mínima	25,36 mm
Projeção interna	0 mm
Raio de arredondamento da aresta interna	5 mm
Reforço de abertura de bocal	não há

11.6 - Bocal F (dreno)

O bocal F é formado por uma meia-luva padrão ASME/ANSI B16.11^[4] (forged fittings, socket-welding and threaded) de diâmetro nominal de ¾ polegada.

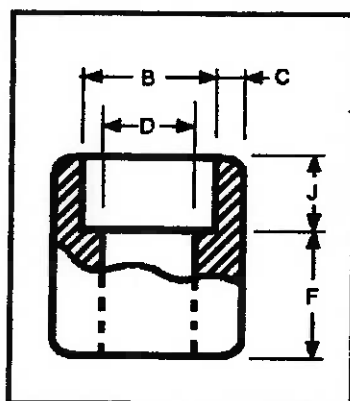


Figura 11.6.1 - Meia-luva

Existem as classes 3000, 6000 e 9000 para meia-luvas, das quais dependem as dimensões mostradas acima. Utilizar-se-á para as meia-luvas a classe 6000. Embora a classe 3000 seja mais que suficiente para as condições de projeto segundo a ASME/ANSI B16.11^[4], a classe 6000 será utilizada devido a norma técnica de projeto de vasos de pressão da Petrobrás (N-253f, item 8.2.11) requerer que seja utilizado no mínimo a classe 6000.

Para uma meia-luva da classe 6000 com diâmetro nominal de ¾ polegada, tem-se segundo o ASME/ANSI B16.11^[4]:

Diâmetro Nominal	B (*)	D (*)	C		J mínimo	F mínimo
			média	mínimo		
¾ pol.	27,55 mm	16,3 mm				
			6,95 mm	6,05 mm	13 mm	23,9 mm
	27,05 mm	14,8 mm				

(*) - valores máximos e mínimos

Obs.: dimensões dadas em milímetros pela ASME/ANSI B16.11^[4]

Consultando o ASME/ANSI B16.11^[4], verifica-se que a pressão máxima de um forjado padrão é determinada calculando a pressão máxima de trabalho de um tubo equivalente padrão ASME/ANSI B36.10^[7]. Abaixo está a tabela que mostrada a equivalência entre os forjados e os tubos:

Classe	Tipo	Tubo equivalente para cálculo de pressão de trabalho	
		Schedule	Designação
2000	rosqueado	80	XS
3000	rosqueado	160	-
6000	rosqueado	-	XXS
3000	soldado	80	XS
6000	soldado	160	-
9000	soldado	-	XXS

Pelo Apêndice IV, verifica-se que um tubo de espessura de parede de 4,55 mm (Schedule 80) resiste a pressão projeto (490,3 kPa ou 71,1 psi), portanto qualquer meia-luva da classe 6000 suporta esta pressão.

O bocal F não terá projeção interna e terá um arredondamento da aresta interna do bocal de 5 mm. Adotar-se-á as seguintes valores de dimensões para a meia-luva:

B = 27,05 mm (valor mínimo)
D = 14,8 mm (valor mínimo)
C = 6,05 mm (valor médio)
J = 13 mm (valor mínimo)

O comprimento total do bocal é fornecido geralmente no comprimento de 50 mm, exceto quando especificado comprimento diferente junto ao fabricante da meia-luva. Com o comprimento total de 50 mm, obtém-se uma projeção externa de aproximadamente 43,7 mm, que é suficiente para soldagem da meia-luva ao tampo inferior.

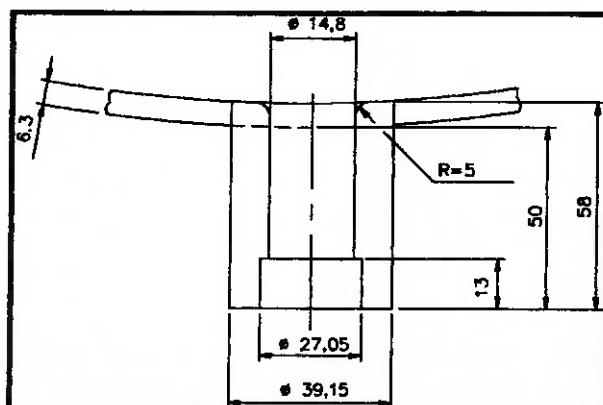


Fig. 11.6.2 - Projeção externa do bocal F

Pela UG-36 a UG-43 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), determina-se a necessidade ou não de um reforço para a abertura do bocal. Pelos cálculos mostrado no Apêndice V, mostra-se que o bocal F não necessita de qualquer tipo extra de reforço.

Portanto:

BOCAL F	
Função:	dreno
Tipo a conexão:	meia-luva (ANSI B16.11 ^[4])
Diâmetro nominal:	¾ pol.
Classe de pressão:	classe 6000
Comprimento total do bocal:	50 mm
Projeção externa:	43,7 mm
Projeção interna:	0 mm
Raio de arredondamento da aresta interna:	5 mm
Reforço de abertura de bocal:	não há

11.7 - Bocal G (manômetro)

O bocal G é formado por uma meia-luva padrão ASME/ANSI B16.11^[4] (forged fittings, socket-welding and threaded) de diâmetro nominal de ½ polegada.

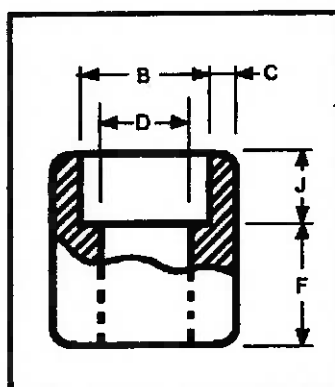


Fig. 11.7.1 - Meia-luva

Existem as classes 3000, 6000 e 9000 para meia-luvas, das quais dependem as dimensões mostradas acima. Utilizar-se-á para as meia-luvas a classe 6000. Embora a classe 3000 seja mais que suficiente para as condições de projeto segundo a ASME/ANSI B16.11^[4], a classe 6000 será utilizada devido a norma técnica de projeto de vasos de pressão da Petrobrás (N-253f^[9], item 8.2.11) requerer que seja utilizado no mínimo a classe 6000.

Para, uma meia-luva da classe 6000 com diâmetro nominal de $\frac{1}{2}$ polegada, tem-se:

Diâmetro Nominal	B (*)	D (*)	C		J mínimo	F mínimo
			média	mínimo		
$\frac{1}{2}$ pol.	22,20 mm	12,5 mm				
			5,95 mm	5,20 mm	10 mm	22,4 mm
	21,70 mm	11,0 mm				

(*) - valores máximos e mínimos

Obs.: dimensões dadas em milímetros pela ASME/ANSI

Consultando o ASME/ANSI B16.11^[4], verifica-se que a pressão máxima de um forjado padrão é determinada calculando a pressão máxima de trabalho de um tubo equivalente padrão ASME/ANSI B36.10^[7]. Abaixo está a tabela que mostrada a equivalência entre os forjados e os tubos:

Classe	Tipo	Tubo equivalente para cálculo de pressão de trabalho	
		Schedule	Designação
2000	rosqueado	80	XS
3000	rosqueado	160	-
6000	rosqueado	-	XXS
3000	soldado	80	XS
6000	soldado	160	-
9000	soldado	-	XXS

Pelo Apêndice IV, verifica-se que um tubo de espessura de parede de 3,73 mm (Schedule 80) resiste a pressão projeto (490,3 kPa ou 71,1 psi), portanto qualquer meia-luva da classe 6000 suporta esta pressão.

O bocal G não terá projeção interna e terá um arredondamento da aresta interna do bocal de 5 mm. Adotar-se-á as seguintes valores de dimensões para a meia-luva:

B = 21,70 mm (valor mínimo)
 D = 11,0 mm (valor mínimo)
 C = 5,95 mm (valor médio)
 J = 10 mm (valor mínimo)

O comprimento total do bocal é fornecido geralmente no comprimento de 50 mm, exceto quando especificado comprimento diferente junto ao fabricante da meia-luva. Com o comprimento total de 50 mm, obtém-se uma projeção externa de aproximadamente 43,7 mm, que é suficiente para soldagem da meia-luva ao casco cilíndrico.

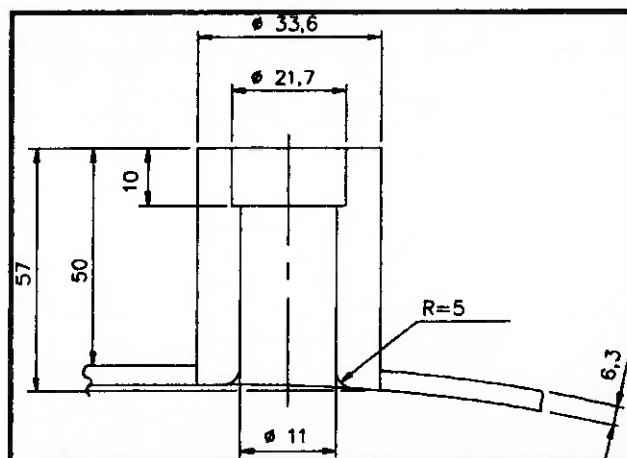


Fig. 11.7.1 - Projeção externa do bocal G

Pela UG-36 a UG-43 (ASME, Seção VII, Divisão 1^[2]), determina-se a necessidade ou não de um reforço para a abertura do bocal. Pelos cálculos mostrados no Apêndice V, mostra-se que o bocal G não necessita de qualquer tipo extra de reforço.

Portanto:

BOCAL G	
Função:	manômetro
Tipo a conexão:	meia-luva (ANSI B16.11 ^[4])
Diâmetro nominal:	½ pol.
Classe de pressão:	classe 6000
Comprimento total do bocal:	50 mm
Projeção externa:	43,7 mm
Projeção interna:	0 mm
Raio de arredondamento da aresta interna:	5 mm
Reforço de abertura de bocal:	não há

11.8 - Bocal I₁ e I₂ (medidor de nível)

Os bocais I₁ e I₂ são formados por meia-luva padrão ASME/ANSI B16.11^[4] (forged fittings, socket-welding and threaded) de diâmetro nominal de 1 polegada.

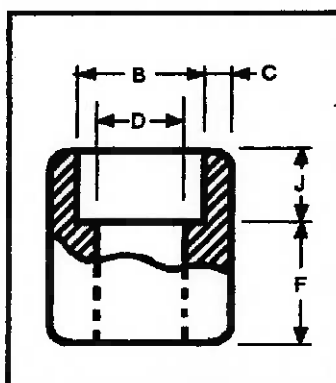


Fig. 11.8.1 -Meia-luva

Existem as classes 3000, 6000 e 9000 para meia-luvas, das quais dependem as dimensões mostradas acima. Utilizar-se-á para as meia-luvas a classe 6000. Embora a classe 3000 seja mais que suficiente para as condições de projeto segundo a ASME/ANSI B16.11^[4], a classe 6000 será utilizada devido a norma técnica de projeto de vasos de pressão da Petrobrás (N-253f^[9], item 8.2.11) requerer que seja utilizado no mínimo a classe 6000.

Para uma meia-luva da classe 6000 com diâmetro nominal de 1 polegada, tem-se segundo o ASME/ANSI B16.11^[4]:

Diâmetro Nominal	B (*)	D (*)	C		J	F
			média	mínimo	mínimo	mínimo
1 pol.	34,30 mm	21,5 mm				
			7,90 mm	6,95 mm	13 mm	28,5 mm
	33,80 mm	19,9 mm				

(*) - valores máximos e mínimos

Obs.: dimensões dadas em milímetros pela ASME/ANSI

Consultando o ASME/ANSI B16.11^[4], verifica-se que a pressão máxima de um forjado padrão é determinada calculando a pressão máxima de trabalho de um tubo equivalente padrão ASME/ANSI B36.10^[7]. Abaixo está a tabela que mostrada a equivalência entre os forjados e os tubos:

Classe	Tipo	Tubo equivalente para cálculo de pressão de trabalho	
		Schedule	Designação
2000	rosqueado	80	XS
3000	rosqueado	160	-
6000	rosqueado	-	XXS
3000	soldado	80	XS
6000	soldado	160	-
9000	soldado	-	XXS

Pelo Apêndice IV, verifica-se que um tubo de espessura de parede de 4,55 mm (Schedule 80) resiste a pressão projeto (490,3 kPa ou 71,1 psi), portanto qualquer meia-luva da classe 6000 suporta esta pressão.

Os bocais I_1 e I_2 não terão projeção interna e terão um arredondamento da aresta interna do bocal de 5 mm. Adotar-se-á as seguintes valores de dimensões para as meia-luvas:

B = 33,80 mm (valor mínimo)
D = 19,9 mm (valor mínimo)
C = 6,95 mm (valor médio)
J = 13 mm (valor mínimo)

O comprimento total da meia-luva é fornecido geralmente no comprimento de 50 mm, exceto quando especificado comprimento diferente junto ao fabricante da

meia-luva. Com o comprimento total de 50 mm, obtém-se uma projeção externa de aproximadamente 43,7 mm, que é suficiente para soldagem da meia-luva ao tampo superior.

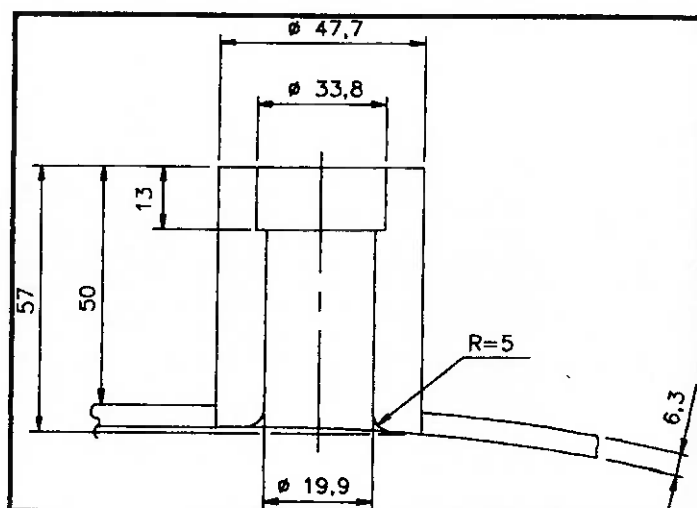


Fig. 11.8.2 - Projeção externa dos bocais I₁ e I₂

Pela UG-36 a UG-43 (ASME, Seção VII, Divisão 1^[2]), determina-se a necessidade ou não de um reforço para a abertura do bocal. Pelos cálculos mostrado no Apêndice V, mostra-se que os bocais I₁ e I₂ não necessitam de qualquer tipo extra de reforço.

Portanto:

BOCAIS I ₁ e I ₂	
Função:	medidor de nível
Tipo a conexão:	meia-luva (ANSI B16.11 ^[4])
Diâmetro nominal:	1 pol.
Classe de pressão:	classe 6000
Comprimento total do bocal:	50 mm
Projeção externa:	43,7 mm
Projeção interna:	0 mm
Raio de arredondamento da aresta interna:	5 mm
Reforço de abertura de bocal:	não há

12 - VERIFICAÇÃO DE NECESSIDADE DE TESTE DE IMPACTO NOS MATERIAIS

A necessidade ou não de testes de impacto nos materiais é determinado pelo parágrafo UCS-66 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]). Basicamente, a necessidade de teste de impacto é determinada pela espessura do material, pela mínima temperatura de projeto (no caso, 0°C ou 32°F) e pelo material. Como depende do material e da espessura, deve-se verificar para cada parte do vaso a necessidade de teste de impacto.

Caso se necessite de teste de impacto para um determinado material, deverá ser efetuado o teste de impacto de modo a verificar de a temperatura mínima de projeto e maior que a temperatura de transição frágil do material.

Abaixo, está mostrado o gráfico de determinação de necessidade ou não de teste de impacto nos materiais. Há 4 curvas (curvas A, B, C e D), uma para cada grupo de material. Caso o ponto determinado pela espessura nominal e temperatura mínima de projeto ficar abaixo da curva do material, o material ser ensaio em teste de impacto.

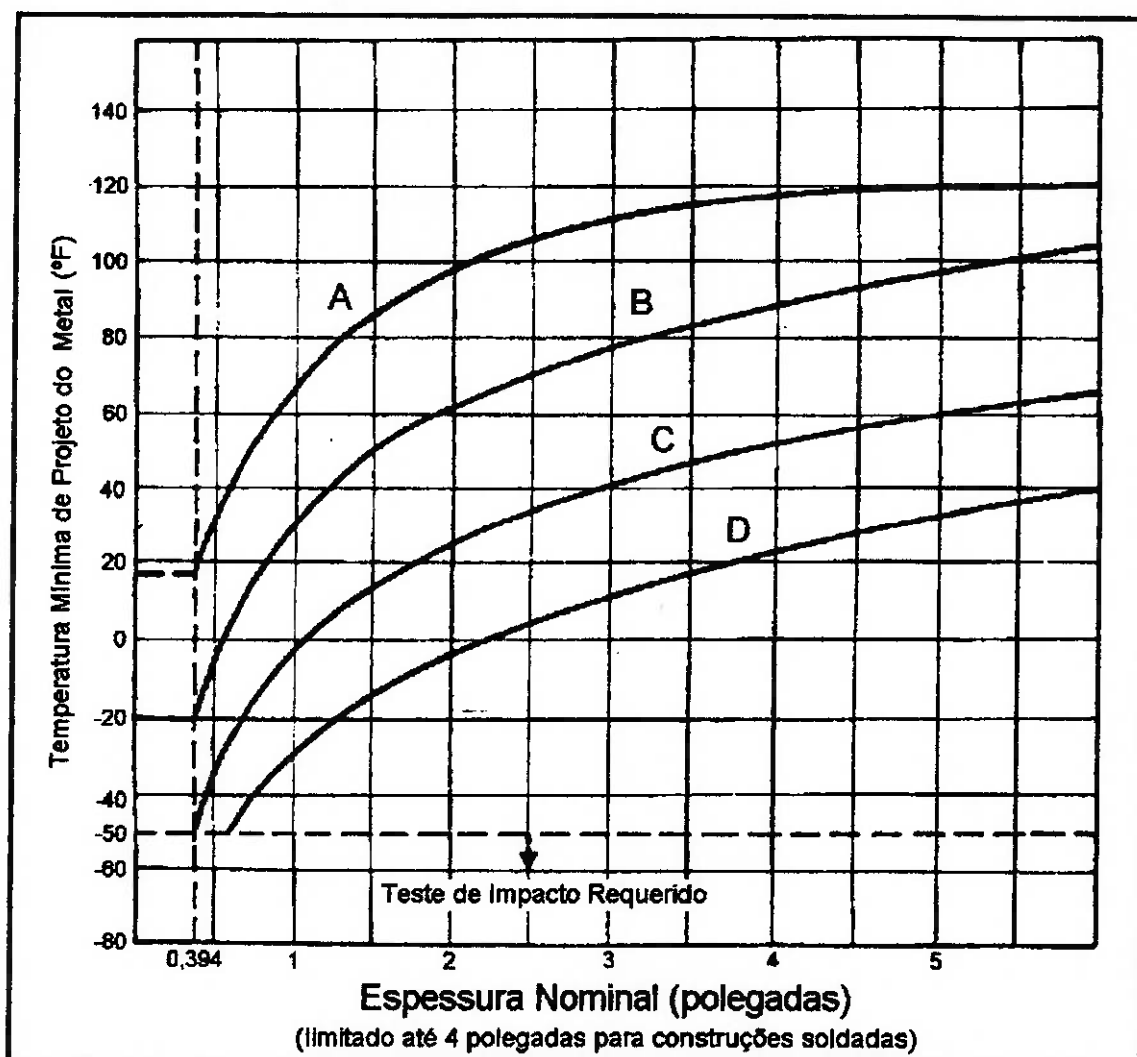


Fig. 12.1 - Gráfico conforme parágrafo UCS-66 do ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]

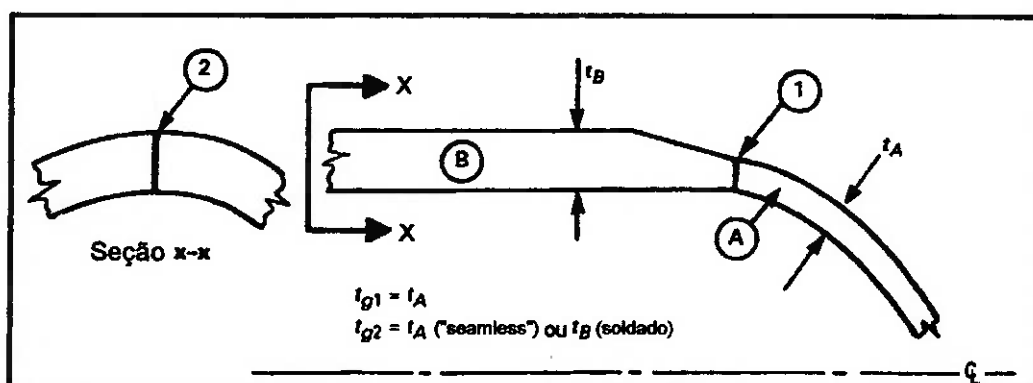
Material	Curva
SA-516 gr. 60	C
SA-105	A
SA-106 gr. B	A
SA-36	A

Verificando a necessidade de teste de impacto para cada componente do vaso de pressão, tem-se:

Componente	Material	Espessura	Teste de Impacto?
Casco	SA-516 gr. 60	6,30 mm (0,248 pol.)	NÃO
Tampo	SA-516 gr. 60	6,30 mm (0,248 pol.)	NÃO
Bocal H	SA-516 gr. 60	6,30 mm (0,248 pol.)	NÃO
Reforço do Bocal H	SA-516 gr. B	6,30 mm (0,248 pol.)	NÃO
Bocal A	SA-106 gr. B	6,02 mm (0,237 pol.)	NÃO
Bocal C	SA-106 gr. B	5,49 mm (0,216 pol.)	NÃO
Bocal D	SA-106 gr. B	6,02 mm (0,237 pol.)	NÃO
Bocal B	SA-105	5,59 mm (0,22 pol.)	NÃO
Bocal E	SA-105	11,55 mm (0,453 pol.)	NÃO
Bocal F	SA-105	13,33 mm (0,525 pol.)	NÃO
Bocal G	SA-105	11,55 mm (0,453 pol.)	NÃO
Bocais I ₁ e I ₂	SA-105	15,10 mm (0,594 pol.)	NÃO
Flange "Slip-On" do Bocal H	SA-105	-	NÃO (*)
Flange Cego do Bocal H	SA-105	-	NÃO (*)

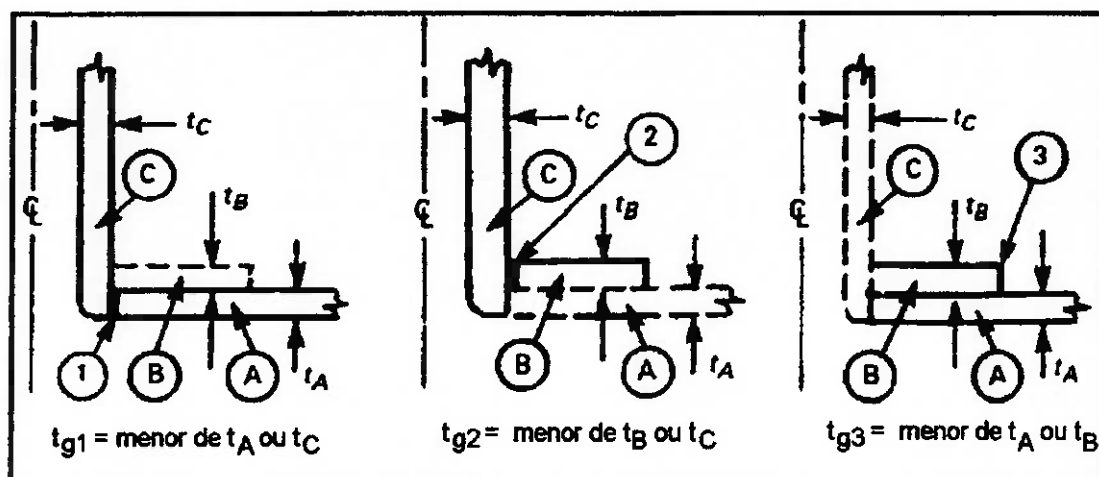
(*) - flanges conforme padrão ASME/ANSI B16.5^[3] não precisam de teste de impacto para temperaturas superiores a -20°F (-29°C)

Verificando a necessidade de teste de impacto para as juntas soldadas do casco e do tampo, tem-se:



	Espessura do Tampo (t_A)	Espessura do Casco (t_B)	t_{g1}	t_{g2}	Teste de Impacto ?
Casco - Tampo	6,30 mm	6,30 mm	6,30 mm	6,30 mm	NÃO

Verificando a necessidade de teste de impacto para as juntas soldadas entre parede do vaso (casco e tampos), bocais e reforços de abertura de bocais, tem-se:



	t_A (mm)	t_B (mm)	t_C (mm)	t_{g1} (mm)	t_{g2} (mm)	t_{g3} (mm)	Teste de Impacto ?
Tampo - Bocal A	6,30	-	6,02	6,02	-	-	NÃO
Tampo - Bocal B	6,30	-	5,59	5,59	-	-	NÃO
Casco - Bocal C	6,30	-	5,49	5,49	-	-	NÃO
Casco - Bocal D	6,30	-	6,02	6,02	-	-	NÃO
Casco - Bocal E	6,30	-	11,55	6,30	-	-	NÃO
Casco - Bocal F	6,30	-	13,33	6,30	-	-	NÃO
Casco - Bocal G	6,30	-	11,55	6,30	-	-	NÃO
Casco - Bocal H	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	6,30	NÃO
Casco - Bocais I ₁ e I ₂	6,30	-	15,10	6,30	-	-	NÃO

Portanto não será necessário nenhum teste de impacto para os materiais utilizados no projeto.

13 - VERIFICAÇÃO DE NECESSIDADE DE TRATAMENTO TÉRMICO APÓS CONFORMAÇÃO

A necessidade ou não de tratamento térmico após a conformação do casco e dos tampos é determinado pelo parágrafo UCS-79 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]).

13.1 - Casco Cilíndrico

Pelo parágrafo UCS-79 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), para casco cilíndrico:

Espessura inicial da chapa: $t = 0,248$ pol.

Raio inicial: $R_0 = \infty$ (chapa inicialmente plana)

Raio final: $R_f = 300$ mm = 13,7795 pol.

$$F(\%) = \frac{50 \times 0,248}{13,7795} \left(1 - \frac{13,7795}{\infty} \right) = 0,90\% \leq 5\% \quad \Rightarrow \quad \text{OK!}$$

Contém substâncias letais ?	NÃO	OK!
Material requer teste de impacto ?	NÃO	OK!
Antes da conformação a frio $t > 5/8$ pol. ?	NÃO	OK!
Redução na espessura $> 10\%$?	NÃO	OK!
Temp. durante conformação entre 250°F e 900°F ?	NÃO	OK!

Logo, o casco cilíndrico não necessita de tratamento térmico após a conformação.

13.2 - Tampos

Pelo parágrafo UCS-79 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), para tampo:

Espessura inicial da chapa: $t = 0,248$ pol.

Raio inicial: $R_0 = \infty$ (chapa inicialmente plana)

Raio final: $R_f = (350/2)$ mm = 6,8898 pol.

$$F(\%) = \frac{75 \times 0,248}{6,8898} \left(1 - \frac{6,8898}{\infty} \right) = 2,70 \leq 5\% \quad \Rightarrow \quad \text{OK!}$$

Contém substâncias letais ?	NÃO	OK!
Material requer teste de impacto ?	NÃO	OK!
Antes da conformação a frio $t > 5/8$ pol. ?	NÃO	OK!
Redução na espessura $> 10\%$?	NÃO	OK!
Temp. durante conformação entre 250°F e 900°F ?	NÃO	OK!

Logo, o casco cilíndrico não necessita de tratamento térmico após a conformação.

13.3 - Boca de Visita

Pelo parágrafo UCS-79 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), para cascos cilíndricos:

Espessura inicial da chapa: $t = 0,248$ pol.

Raio inicial: $R_0 = \infty$ (chapa inicialmente plana)

Raio final: $R_f = 8 - 0,248 = 7,752$ pol.

$$F(\%) = \frac{50 \times 0,248}{7,752} \left(1 - \frac{7,752}{\infty} \right) = 1,59\% \leq 5\% \quad \Rightarrow \quad \text{OK!}$$

Contém substâncias letais ?	NÃO	OK!
Material requer teste de impacto ?	NÃO	OK!
Antes da conformação a frio $t > 5/8$ pol. ?	NÃO	OK!
Redução na espessura $> 10\%$?	NÃO	OK!
Temp. durante conformação entre 250°F e 900°F ?	NÃO	OK!

Logo, o pescoço da Boca de Visita não necessita de tratamento térmico após a conformação.

14 - SEQÜÊNCIA DE FABRICAÇÃO

Abaixo, está a seqüência de eventos na fabricação do Tanque de Descarga Contínua.

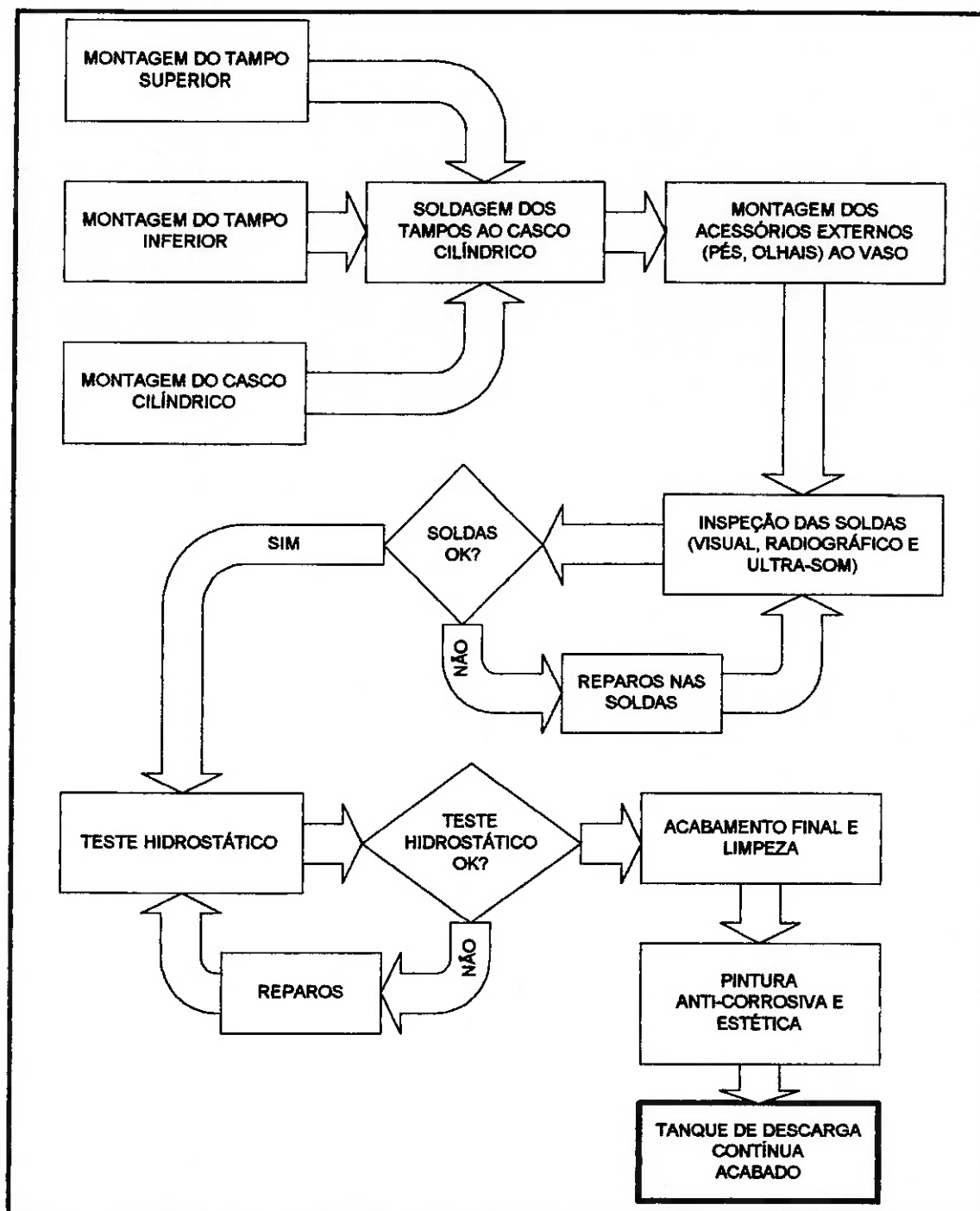


Fig. 14.1 - Fluxograma de Fabricação e Montagem do Tanque de Descarga Contínua

14.1 - Montagem do Casco Cilíndrico

Por sua vez, a montagem do casco cilíndrico também pode ser dividida.

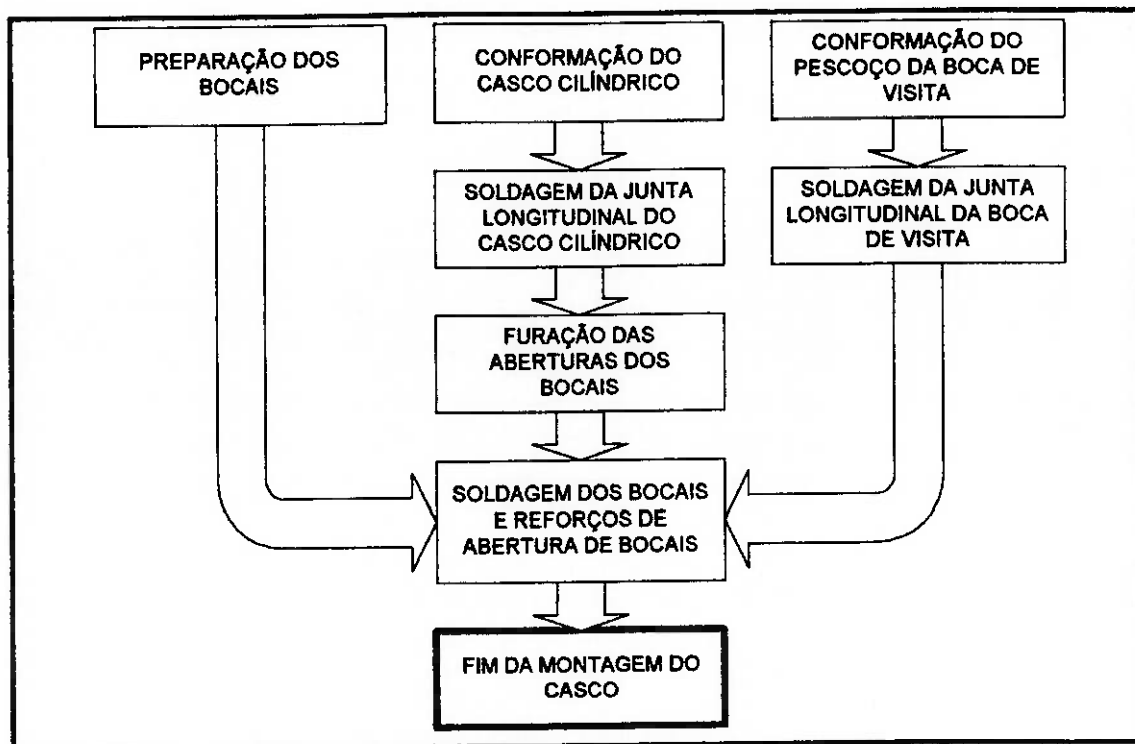


Fig. 14.1.1 - Fluxograma de Montagem e Fabricação do Casco Cilíndrico

14.2 - Fabricação dos Tampos Superior e Inferior

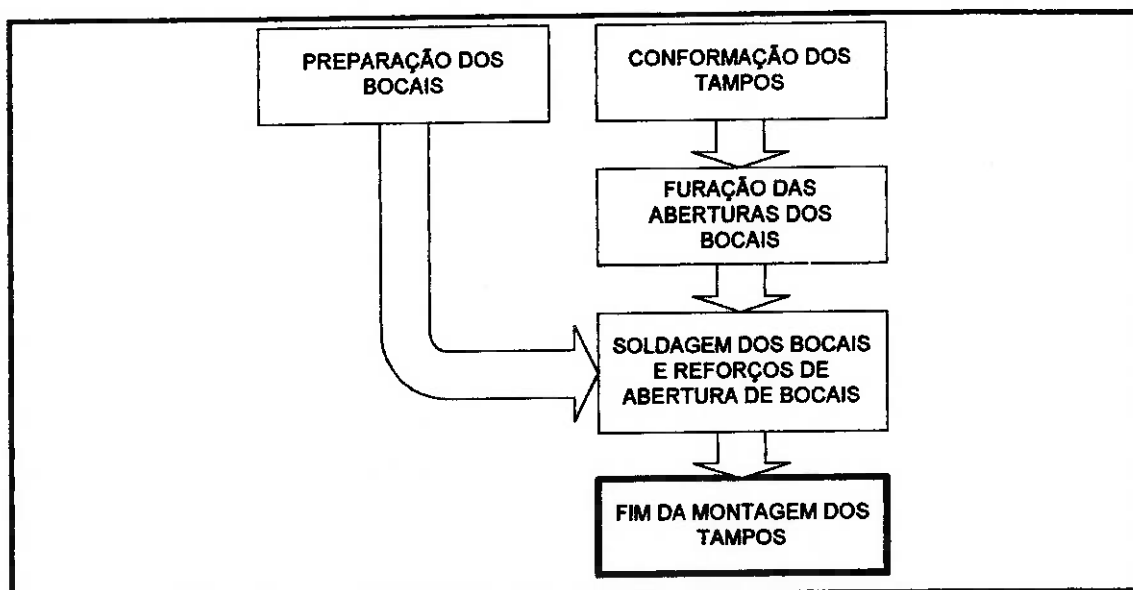


Fig. 14.2.1 - Fabricação e Montagem dos Tampos Elipsoidais 2:1

15 -FABRICAÇÃO DO CASCO CILÍNDRICO

O casco cilíndrico, como já decidido anteriormente, será feito de chapa de aço SA-516 grau 60 através da conformação a frio. Será feito a partir da conformação a frio, pois a conformação a quente exigiria teste de impacto como também já visto anteriormente.

O casco cilíndrico, diâmetro interno de 700 mm e altura de 1370 mm, será obtido a partir de chapa grossa de 6,3 mm de espessura. Desenvolvendo o casco cilíndrico, tem-se:

$$\text{Comprimento da Chapa} = \pi(700 + 6,3) \approx 2219\text{mm}$$

Portanto, necessitar-se-á de uma chapa 6,3 mm de espessura de aço SA-516 grau 60 com a dimensão mínima de 2219 mm x 1370 mm.

A Norma de Projeto de Vaso de Pressão da Petrobrás (N-253f⁹¹, item 12.2.9) exige que em vasos com diâmetros inferiores a 2000 mm tenha apenas uma única solda longitudinal por anel. E as soldas longitudinais de anéis adjacentes devem estar defasadas de no mínimo 45°. Para diâmetros superiores a 2000 mm devem ser utilizadas chapas de comprimento comercial só sendo admitidas chapas menores para acerto. Em diâmetros iguais ou maiores que 2000 mm deve ser mantida a defasagem mínima de 45° entre anéis adjacentes.

Conforme o Catálogo de Produtos da Usiminas^[15], pode-se encontrar chapas de 6,30 mm de espessura nas seguintes larguras:

1000 mm	1200 mm	1500 mm	1830 mm
2000 mm	2200 mm	2440 mm	2750 mm
3000 mm	3500 mm	3800 mm	

Para as larguras acima, pode-se encontrar chapas de SA-516 grau 60 de espessura 6,30 mm com comprimentos entre 2400 mm a 18000 mm. Portanto, é possível construir o casco cilíndrico de um único anel com apenas uma única solda longitudinal.

O processo utilizado para a conformação do casco cilíndrico é o calandragem a frio em uma calandra piramidal. Antes de ser feito a calandragem, é a chapa é prensada nas extremidades para a chapa adquirir nesta extremidade uma curvatura de raio de 350 mm, pois com a calandra piramidal não se consegue conformar as extremidades da chapa.

Após a calandragem é feito a soldagem da junta longitudinal do casco cilíndrico. Após a soldagem da junta longitudinal, é feito novamente a calandragem para se obter uma melhor cilíndricidade melhor.

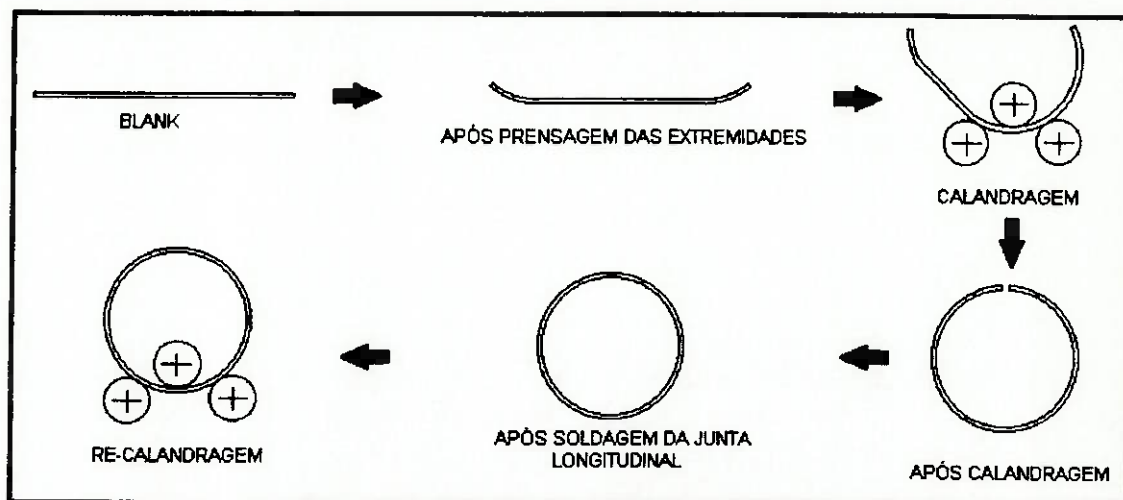


Fig. 15.1 - Fabricação do Casco Cilíndrico

O código ASME (parágrafo UG-80 do ASME, Seção VIII. Divisão 1^[2]) limita o máximo desvio do casco cilíndrico. Conforme o ASME, para vaso submetidos a pressão interna:

- a diferença entre o diâmetro interno mínimo ($D_{\min.}$) e o diâmetro interno máximo ($D_{\max.}$) não deve ser superior a 1% do diâmetro nominal.
- quando a seção em consideração passa por uma abertura ou a uma distância de 1 diâmetro interno de uma abertura, a diferença permitida entre o máximo e o mínimo do diâmetro interno sobe para 2%.

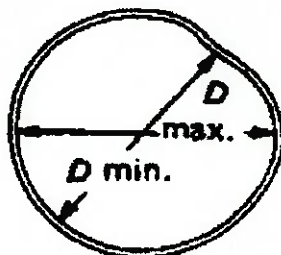


Fig. 15.2 - Diâmetro máximo e mínimo

Para o vaso de pressão em projeto, será considerado como a diferença máxima permitida entre diâmetro interno máximo e mínimo de 1% do diâmetro interno nominal (700 mm). Então, será permitida uma diferença máxima entre o diâmetro interno mínimo e o máximo de 7,00 mm para o casco cilíndrico. A inspeção da diferença máxima entre os diâmetros máximos e mínimos deve ser feita em todo o comprimento inteiro do casco cilíndrico.

A inspeção é feita através de gabaritos como mostra a figura 15.2. A inspeção é feita em várias seções pelo comprimento todo do casco cilíndrico. A medição é, geralmente, feita a cada 500 mm que é o suficiente para garantir que as seções entre duas seções inspecionadas e aprovadas estão também em conformidade com os limites estabelecidos. Em cada seção, é feita inspeção por pontos. Serão utilizados 12 pontos inspecionados por seção, espaçados entre si de 30°. Conforme a figura 15.2, a inspeção é feita medindo a distância entre o gabarito e a parede interna do casco, podendo calcular

assim o raio do ponto inspecionado. Com medições de dois pontos diametralmente opostos pode-se calcular o diâmetro determinados por estes dois pontos.

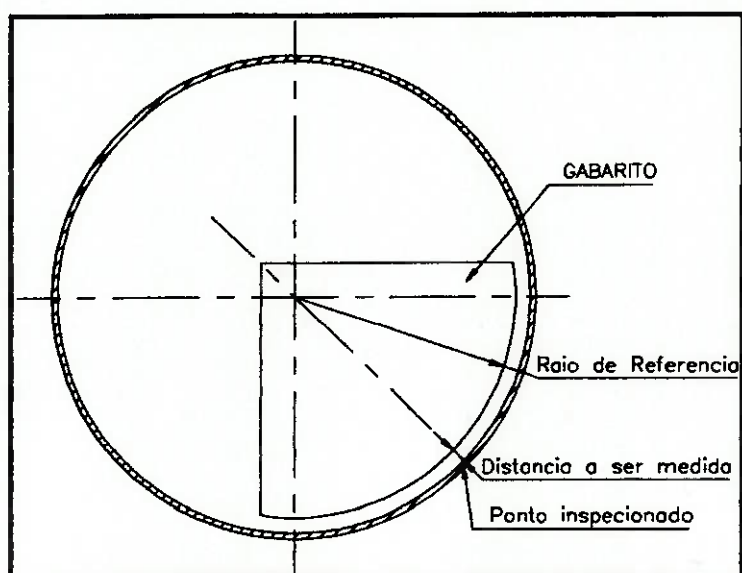


Fig. 15.2 - Inspeção dimensional após calandragem

16 - FABRICAÇÃO DO PESCOÇO DA BOCA DE VISITA

O pescoço da Boca de Visita, como o casco cilíndrico, será constituído de chapa de aço SA-516 grau 60 através da conformação a frio, podendo o pescoço da Boca de Visita ser fabricado a partir da conformação de uma única chapa.

A conformação do pescoço da Boca de Visita seguem o mesmo processo da conformação do casco cilíndrico (figura 15.1).

O código ASME (parágrafo UG-80 do ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]) limita o máximo desvio do casco cilíndrico. Conforme o ASME, para vaso submetidos a pressão interna:

- a diferença entre o diâmetro interno mínimo ($D_{\min.}$) e o diâmetro interno máximo ($D_{\max.}$) não deve ser superior a 1% do diâmetro nominal.
- quando a seção em consideração passa por uma abertura ou a uma distância de 1 diâmetro interno de uma abertura, a diferença permitida entre o máximo e o mínimo do diâmetro interno sobe para 2%.

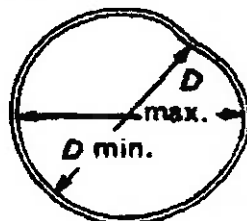


Fig. 16.1 - Diâmetro máximo e mínimo

Então, será permitido uma diferença máxima entre o diâmetro interno mínimo e o máximo de 3,94 mm. para o pescoço da Boca de Visita. A metodologia de inspeção da diferença entre o diâmetro mínimo e máximo segue a metodologia adotada para a inspeção dimensional do casco cilíndrico (figura 15.2).

17 - FABRICAÇÃO DOS TAMPOS

Os dois tampos do vaso de pressão são tampo com formatos elipsoidais 2:1. Possuem uma saia de comprimento de 40 mm.

Os tampos podem ser fabricados, basicamente, através da conformação de uma única chapa, ou ainda através, da soldagem de várias partes obtidas por conformação de chapas.

O tampo do vaso em projeto possui um diâmetro de 700 mm, o que não se justifica a fabricação do tampo através de soldagem de várias partes. E ainda, pela Norma de Projeto da Petrobrás (N-253-f⁹¹, item 7.2), tampos elipsoidais com diâmetros inferiores a 1800 mm devem ser construídos de uma única peça.

O tampo possui um diâmetro interno da saia de apenas 700 mm, não possuindo dimensões muito grandes; sendo possível de fabricar os dois tampos elipsoidais em apenas uma peça, não necessitando fabricá-los a partir de gomos soldados.

O código ASME (parágrafo UG-81 do ASME VIII^[2]) limita o máximo desvio do tampo elipsoidal após a conformação em relação a formado especificado. Tem-se, para tampos submetidos a pressão interna:

- a superfície interna de um tampo elipsoidal, torisférico, toricônico e hemisférico não deverá ter um desvio do formato especificado para fora de mais de 1,25% do diâmetro D (diâmetro nominal do casco do vaso na região de união do tampo com o casco) ou mais que 0,625% de D para dentro. Os desvios devem ser medido perpendicularmente a superfície.

- as saias dos tampos devem ser suficientemente circulares. A diferença entre o máximo e o mínimo diâmetro não deve exceder 1% do diâmetro nominal.

Então, os tampos elipsoidais (diâmetro interno da saia = 700 mm) deverão ter uma saia diferença máxima entre os diâmetros mínimo e máximo de 7,00 mm. E ainda, o tampo deverá ter um desvio de no máximo de 8,75 mm para fora e 4,38 mm para dentro.

A inspeção é feita através de gabaritos como mostra a figura 17.1. O gabarito possui um perfil de referência elíptico menor que o perfil elíptico desejado ao tampo. A inspeção é feita em várias seções, espaçada de 30°. Em cada seção, é feita inspeção por pontos. Serão utilizados 10 pontos inspecionados por seção. Conforme a figura 17.1, a inspeção é feita medindo a distância entre o gabarito e a parede interna do casco, podendo calcular assim o desvio em relação a geometria final desejada. A inspeção geométrica da saia segue a metodologia adotada para inspeção geométrica do casco cilíndrico (figura 15.2).

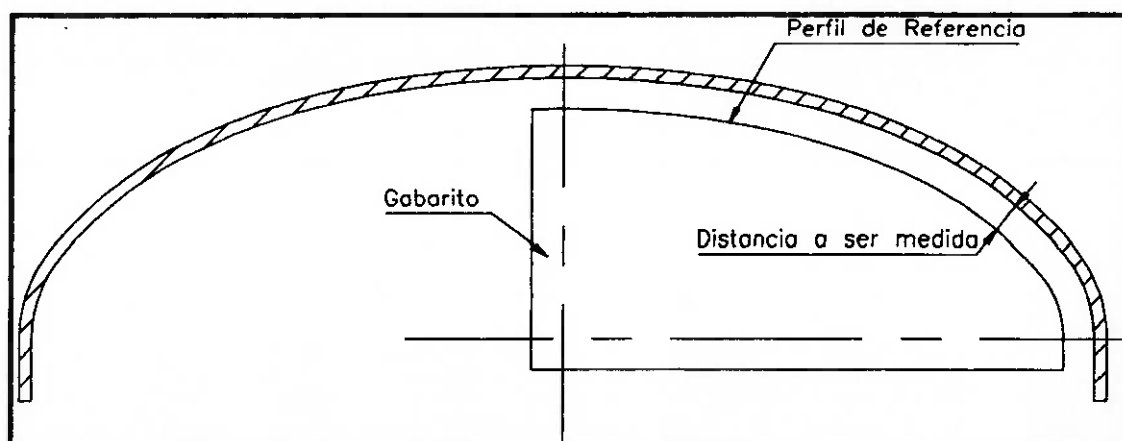


Fig. 17.1 - Inspeção dimensional do tampo após conformação

18 - FURAÇÃO DAS ABERTURAS DOS BOCAIS

A furação das aberturas dos bocais nos tampos e no casco cilíndrico são feitos após estes já estarem conformados. No caso das aberturas dos bocais no casco cilíndrico são feitos após executado a solda longitudinal do casco.

Antes da chapa ser conformada (calandrada ou prensada), faz-se a traçagem nas chapa de todas as aberturas de bocais.

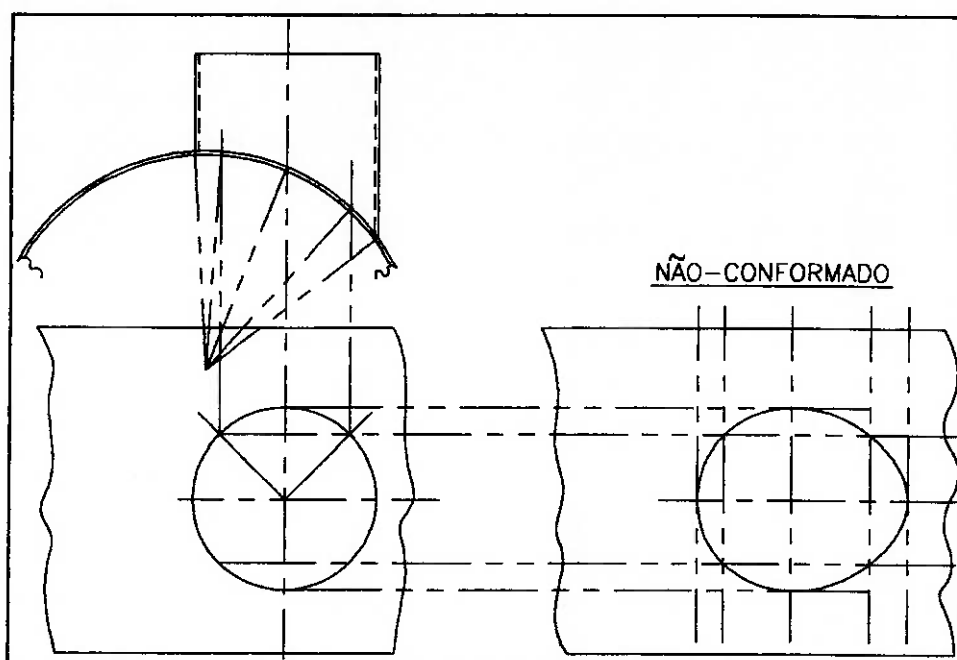


Fig. 18.1 - Exemplo de traçagem de uma abertura de bocal em um casco cilíndrico

E após a conformação, corta-se a aberturas de bocais segundo a traçagem feita antes da conformação. O processo utilizado para o corte da aberturas e o corte a gás.

19 - SELEÇÃO DE PROCESSO DE SOLDAGEM

Na seleção de processo de soldagem devem ser levados em consideração:

- custo do processo;
- disponibilidade do processo na fábrica;
- posição das soldas (vertical, horizontal, plano, sobre-cabeça, ...);
- material a ser soldado;
- espessura das peças a serem soldadas (solda de penetração total);
- disponibilidade de soldadores qualificados;
- qualidade da junta soldada.

Os processos de soldagem que serão analisados para a seleção serão os processos de soldagem a arco elétrico. São eles:

- Soldagem a arco elétrico, com eletrodo de tungstênio e proteção de gás inerte (TIG)
- Soldagem a arco elétrico, com proteção de CO₂ (MAG);
- Soldagem a arco elétrico, com proteção de gás inerte (MIG);
- Soldagem por arco submerso;
- Soldagem a arco elétrico, com eletrodo revestido.

19.1 - Materiais a Serem Soldados

Os materiais a serem soldados são: SA-516 gr. 60, SA-105, SA-106 gr. B e o SA-36, cujas composições químicas são abaixo indicadas:

SA-36	
	para perfis de qualquer tamanho
Carbono, máx	0,26 %
Manganês	-
Fósforo, máx.	0,04 %
Enxofre, máx.	0,05 %
Silício, máx.	-
Cobre, mín. (quando for especificado aço com cobre)	0,20 %

SA-105	
Carbono, máx.	0,35 %
Manganês	0,60 % a 1,05 %
Fósforo, máx.	0,040 %
Enxofre, máx.	0,050 %
Silício, máx.	0,35 %
Cobre, máx.	0,40 %
Níquel, máx.	0,40 %
Cromo, máx.	0,30 %
Molibdênio, máx.	0,12 %
Vanádio, máx.	0,03 %
Colúmbio, máx.	0,02 %

SA-106 grau B	
Carbono, máx	0,30%
Manganês	0,29 % a 1,06 %
Fósforo, máx	0,035 %
Enxofre, máx	0,035 %
Silício, máx	0,10 %
Cobre, máx.	0,40 %
Níquel, máx.	0,40 %
Cromo, máx.	0,40 %
Molibdênio, máx.	0,15 %
Vanádio, máx.	0,06 %

SA-516 grau 60	
	para espessura menor que ½ pol.
Carbono, máx	0,21 %
Manganês	0,60 % a 0,90 %
Fósforo, máx	0,035 %
Enxofre, máx	0,035 %
Silício, máx	0,15 % a 0,40 %

Nota-se que os materiais todos são de aço de baixo ou médio carbono. Não se tem nenhum material a ser soldado de aço de baixa-liga ou material não-ferroso. Portanto, são materiais que não se exigem processos de soldagem muito avançados ou não necessitam de cuidados especiais.

Para a soldagem de aços de baixo e médio carbono, podem ser utilizados os quatros processos de arco elétrico que estão sendo considerados: Eletrodo Revestido, Arco Submerso, MIG, MAG e TIG. Mas os processos MIG, MAG e principalmente TIG são tão utilizados na soldagens de aços de baixo e médio carbono devido ao custo elevado, mas o aspecto custo dos processos será abordado adiante.

19.2 - Espessura das peças a serem soldadas

As espessuras das peças influenciam na soldagem de juntas com penetração total da solda. Espessuras muito elevadas necessitam de processos com grande penetração da solda afim. A juntas soldadas de penetração total no vaso de pressão em projeto são:

- junta circumferencial entre casco e tampo
- junta longitudinal no casco
- entre bocal e parede do vaso
- entre bocal e reforço de abertura do bocal

Os reforços de aberturas de bocais, o casco cilíndrico e os tampos elipsoidais possuem espessura de parede igual a 6,30 mm. Portanto, a penetração necessária a solda nunca é superior a 6,30 mm.

A solda de penetração total em espessura de 6,30 mm não necessita métodos de soldagem com grande penetração como os método de soldagem com proteção gasosa. Sendo possíveis de serem feitos estas juntas satisfatoriamente através da soldagem com Eletrodo Revestido.

E ainda, os materiais bases não são demasiadamente finos; não necessitando processos destinados a soldagem de materiais muito finos como TIG.

19.3 - Posição das Soldas

Conforme a AWS (American Welding Society) D1.1^[17], as posições principais de soldagem são:

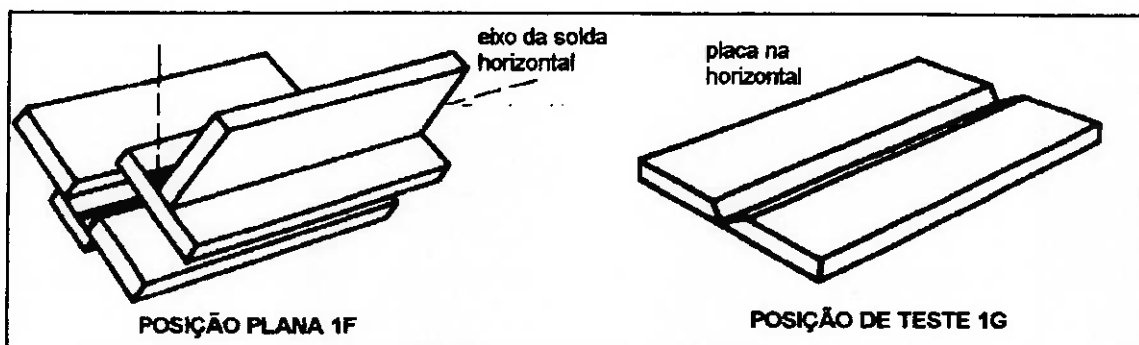


Fig. 19.3.1 - Posição Plana

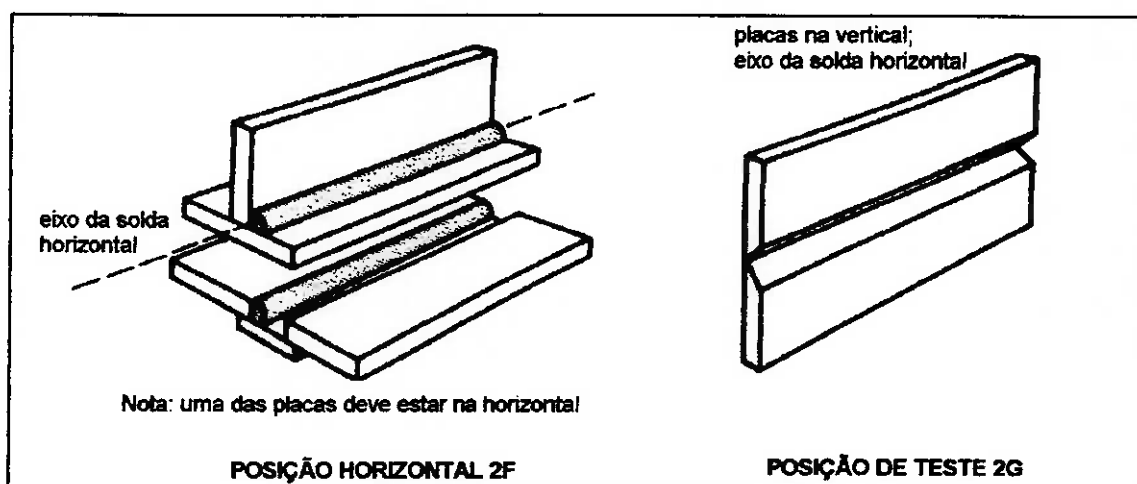


Fig. 19.3.2 - Posição Horizontal

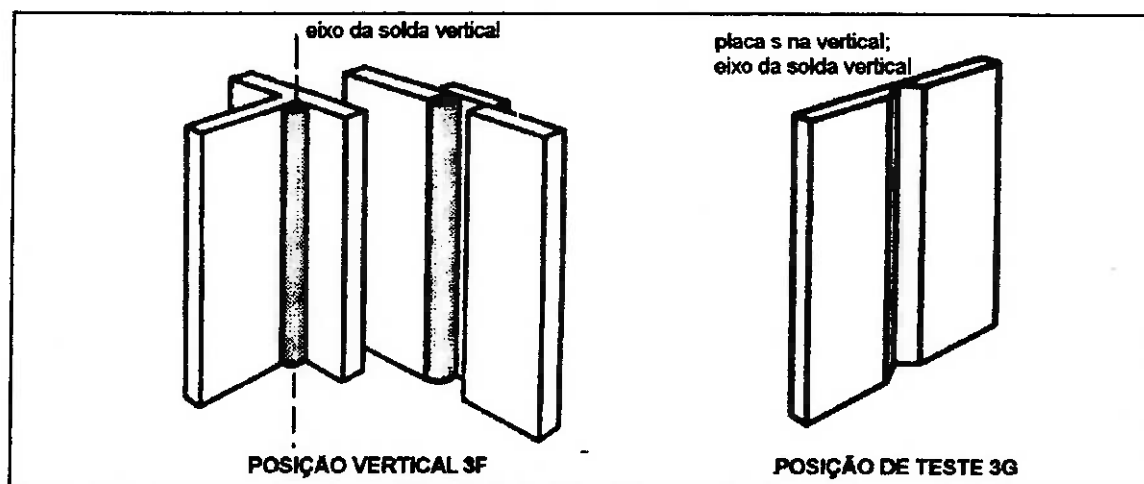


Fig. 19.3.3 - Posição Vertical

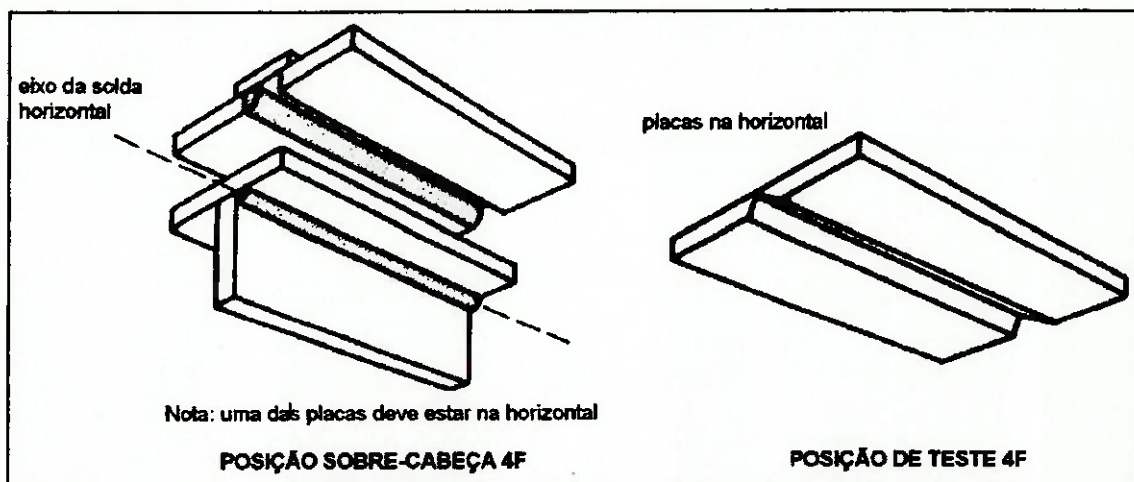


Fig. 19.3.4 - Posição Sobre-cabeça

O nível de dificuldade de soldagem nas diferentes posições cresce na seguinte ordem: plana, horizontal, vertical e sobre-cabeça.

O posicionamento das peças a serem soldadas devem estar na melhor posição possível de soldagem a fim de reduzir os custos e melhorar a qualidade da junta soldada. Como o vaso em projeto não possui grandes dimensões, é possível o posicionamento do vaso em diferentes posições para permitir um melhor posicionamento da junta a ser soldada.

No vaso de pressão em projeto, tem-se os seguintes “tipos” de juntas soldadas:

- junta longitudinal do casco;
- juntas circunferenciais entre o casco e os tampos;
- juntas entre os bocais, parede do vaso (casco ou tampo) e reforço de abertura de bocal;
- juntas do pescoço da Boca de Visita com o flange;

19.3.1 - Juntas Longitudinais no Casco

As juntas longitudinais do casco pode ser feita sempre na posição plana como mostra a figura:

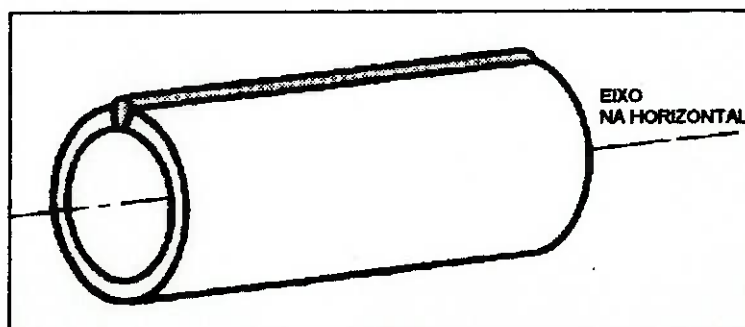


Fig. 19.3.1.1 - Posição de soldagem da junta longitudinal do casco cilíndrico

O posicionamento da junta na posição plana permite que se possa usar todos os processos de soldagem a arco elétrico: MIG, MAG, TIG, Arco Submerso e Eletrodo Revestido. E ainda a posição plana é a posição mais fácil para se soldar, não necessitando para as soldas longitudinais no casco cilíndrico soldadores com nível de elevado grau de qualificação.

15.3.2 - Juntas Circunferenciais no Casco

Os tampos podem ser soldados ao casco como na posição de teste 2G para tubos (figura abaixo). Nesta posição, tem-se sempre uma soldagem na posição vertical. Isto impede que se use o processo de soldagem de Arco Submerso, já que este processo exige soldagem na posição plana. Porém, a execução da solda sempre na posição vertical, não existindo posição sobre-cabeça. E ainda, a soldagem nesta posição permite que se execute a soldagem com dois soldadores ao mesmo tempo em posições opostas para que se minimize as concentrações de tensões e distorções devido a soldagem.

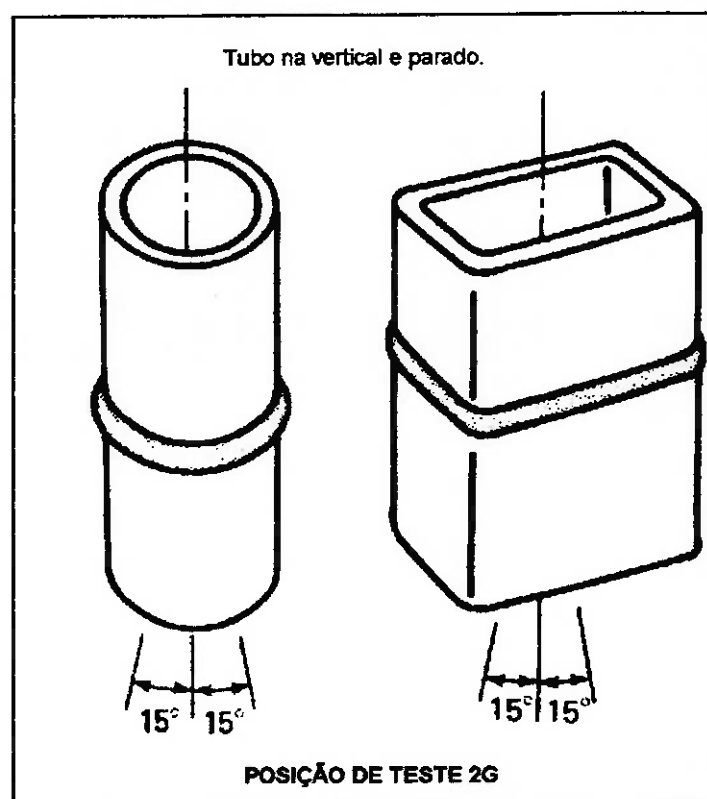


Fig. 15.3.2.1 - Posição de teste 2G para tubos conforme AWS D1.1^[14]

Na posição de teste 5G para tubos (figura abaixo), tem-se soldagem na posição plana (no topo), na posição vertical e na posição sobre-cabeça (na parte inferior dos tubos). A existência de posições de soldagens na vertical e sobre-cabeça impede o uso do processo de Arco Submerso. E ainda soldagem na parte inferior é feita numa posição sobre-cabeça, exigindo soldadores com qualificação maiores, aumentando assim o custo da soldagem.

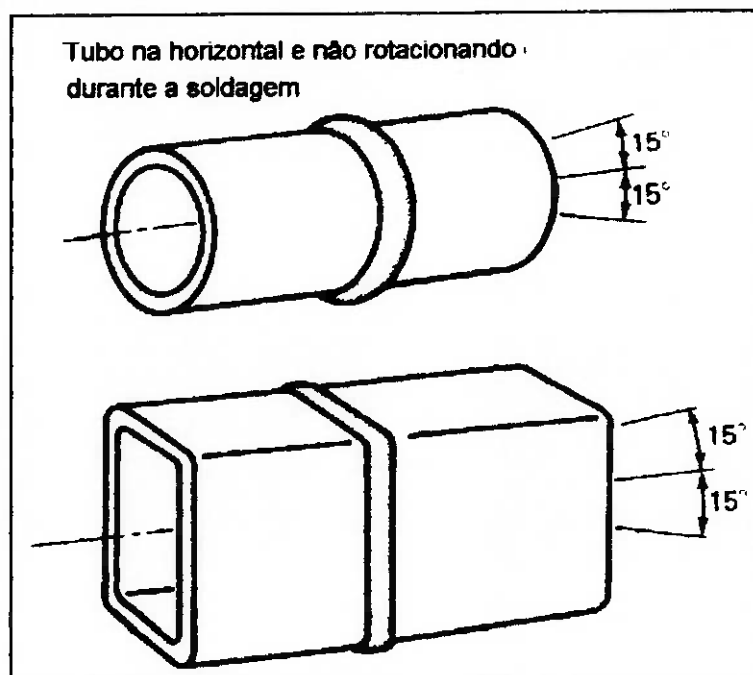


Fig. 15.3.2.2 - Posição de teste 5G para tubos conforme AWS D1.1^[14]

E ainda, pode-se soldar na posição de teste de soldagem 1G. Nesta posição, o cilindro rotaciona, permitindo que a solda sempre seja feita na parte superior junto ao topo de forma que sempre se solde na posição plana. Este método tem a grande vantagem que a solda é sempre executada na posição plana. Porém, este método exige um equipamento especial que rotacione o casco numa velocidade determinada e constante durante a soldagem.



Fig. 15.3.2.2 - Posição de teste 1G para tubos conforme AWS D1.1^[14]

Para soldagem das juntas circunferenciais, pode-se utilizar os processos de Eletrodo Revestido, MAG, MIG e TIG. O processo de Arco Submerso só poderá ser utilizado caso seja feita a soldagem na posição de teste 1G.

19.3.3 - Juntas entre os bocal, parede do vaso (casco ou tampo) e reforço de abertura de bocal

As juntas entre bocais, parede do vaso e reforços de abertura serão sempre feita com o eixo do bocal na vertical.

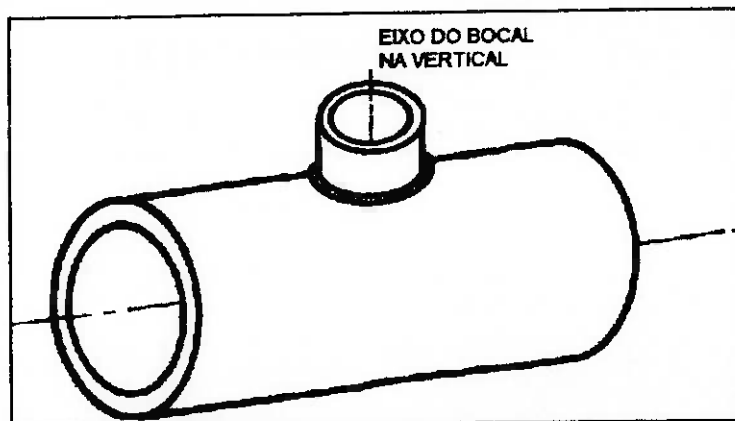


Fig. 19.3.3.1 - Posição de soldagem dos bocais e reforços a parede do vaso de pressão

Nestas posições, não se pode soldar com o processo de Arco Submerso, pois não se tem uma junta na posição plana. As juntas entre bocais, parede de vaso e reforços devem poder ser feitos pelos processos de Eletrodo Revestido, MIG, MAG e TIG.

19.3.4 - Juntas do pescoço da Boca de Visita com o flange

O flange "Slip-On" da Boca de Visita possui duas soldas em filete: solda interna e solda externa.

Na soldagem da solda externa, a Boca de Visita deverá estar com o eixo na vertical e com a abertura virada para baixo (figura abaixo), obtendo assim uma soldagem na posição horizontal.

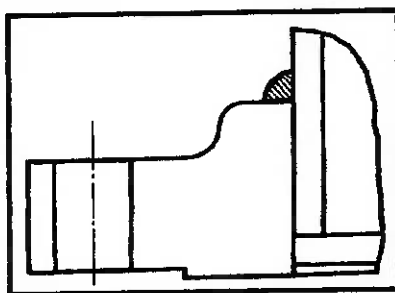


Fig. 19.3.4.1 - Posição de soldagem do filete externo do flange "Slip-On" ao pescoço da Boca de Visita

Na soldagem da solda interna, a Boca de Visita deverá estar com o eixo na vertical e com a abertura virada para cima (figura abaixo), obtendo assim uma soldagem na posição horizontal.

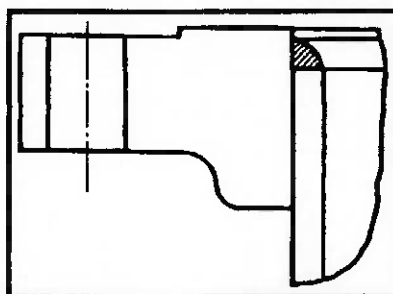


Fig. 19.3.4.1 - Posição de soldagem do filete externo do flange "Slip-On" ao pescoço da Boca de Visita

Nestas duas posições de soldagem (posições horizontais), não se pode soldar com o processo de Arco Submerso, pois não se tem uma junta na posição plana. A flange poderá ser soldada à Boca de Visita pelos processos de Eletrodo Revestido, MIG, MAG e TIG.

19.3.5 - Resumo

Junta	Processos Possíveis
circunferencial entre tampo e casco cilíndrico	Arco Submerso (somente na posição de teste 1G) Eletrodo Revestido MIG MAG TIG
longitudinal no casco	Arco Submerso Eletrodo Revestido MIG MAG TIG
entre bocal, parede do vaso e reforço	Eletrodo Revestido MIG MAG TIG
flange da boca de visita	Eletrodo Revestido MIG MAG TIG

19.4 - Custo dos Processos

A princípio, pode-se considerar que a preparação das juntas para soldagem por estes processos não diferirão muito, pois para todos os processos as chapas serão cortadas pelo mesmo processo e serão chanfradas com diferenças pequenas nas geometrias dos chanfros. Então, pode-se considerar que o custo de preparação das chapas para os diferentes processos de soldagem será o mesmo.

Uma componente importante do custo de soldagem é o custo da mão-de-obra do soldador. Cada processo de soldagem, cada posição de soldagem e cada tipo de eletrodo exigem um nível de qualificação do soldador.

Os seguintes custos podem ser considerados como diferenciadores dos processos de soldagem em relação ao custo total:

- mão-de-obra
- custo hora do equipamento utilizado
- custo do gás (para os processo MIG, MAG e TIG)
- custo do eletrodo
- custo do fluxo (para o processo de Arco Submerso)

Os processos MIG, MAG e TIG necessitam de soldadores especializados e de alto custos. Enquanto que os processos de Eletrodo Revestido não necessita de soldadores com qualificação tão elevada. O processo de Arco Submerso também não tem grande necessidade de soldadores com alta perícia, pois este processo pode ser automatizado ou, pelo menos, semi-automatizado.

Nos processos MIG, MAG e TIG necessitam de proteção gasosa (CO_2 ou gás inerte), o que aumenta o custo. O processo de Arco Submerso necessita-se de fluxo, o que também aumenta o custo do processo.

Cada processo tem uma eficiência de deposição diferente. A eficiência de deposição é a relação entre a quantidade de metal depositado e a quantidade de metal necessário para operação. Por exemplo, o processo de eletrodo revestido tem uma eficiência de deposição de cerca de 50%; então, se uma junta precisar de 1 kg de metal de preenchimento, precisará de 2 kg de metal de preenchimento para completar a operação.

Processo	Eficiência de Deposição*	Custo de Metal de Preenchimento* (R\$ / kg comprado)	Custo de Metal de Preenchimento (R\$ / kg depositado)
Proteção gasosa (MIG/MAG)	90%	2,00	2,22
Eletrodo Revestido	50%	2,20	4,40
Arco Submerso	90%	2,50	2,78

* - valores obtidos na empresa em estagio

Processo	Velocidade de Deposição* (kg/h)
Proteção Gasosa (MIG/MAG)	0,8 ~ 2,0
TIG	0,8 ~ 2,0
Eletrodo Revestido	0,25 ~ 1,5
Arco Submerso	2,5 ~ 4,0

* - valores obtidos na empresa em que estagio

Processo	Velocidade de Deposição Média (kg/h)	Custo de Mão-de-Obra (R\$/h)	Custo do Processo (R\$/kg de metal depositado)
Proteção Gasosa	1,4	25	17,86
TIG	1,4	25	17,86
Eletrodo Revestido	0,9	20	22,22
Arco Submerso	3,25	20	6,15

* - valores obtidos na empresa em que estagio

O custo do fluxo do processo pode ser considerado como igual ao custo do metal depositado, ou seja, igual a R\$6,15 / kg de metal depositado.

O custo do gás de proteção depende da mistura de gás utilizada no processo de soldagem. Levantar-se-á o custo para soldagem com proteção gasosa com 100% de CO₂ e com proteção gasosa com 100% de Ar (Argônio). O fluxo de gás utilizado na soldagem é, em média, igual a 20 L/min.

Mistura de gás	Custo ^(*) (R\$/m ³ de gás)	Vazão de Gás (m ³ /h)	Velocidade de Deposição Média (kg/h)	Custo do Gás (R\$/ kg de metal depositado)
100% CO ₂	0,70	1,2	1,4	0,60
100% Ar	1,27	1,2	1,4	0,76

* - valores obtidos na empresa em que estagio

Somando-se o custo de mão-de-obra e o custo do metal de preenchimento, tem-se os seguintes custos:

Processo	Custo (R\$ / kg de metal depositado)
Proteção Gasosa (100% CO ₂)	20,66
Proteção Gasosa (100% Ar)	20,82
Eletrodo Revestido	26,66
Arco Submerso	11,71

Ainda, deve-se somar aos custos acima os custos de preparação do equipamento para soldagem e os custos de inspeção de junta soldada que cada tipo de processo exige.

A preparação do equipamento do processo de Arco Submerso pode levar horas para montar o equipamento de soldagem. Isto nem sempre é viável, principalmente em juntas de pequenas dimensões, em que se pode ocorrer de se gastar mais tempo de preparação que tempo real de soldagem. Então, deve-se agregar ao valor de custo acima o alto custo de preparação, que praticamente pode ser considerado como um custo fixo por junta soldada, independente da quantidade de metal depositado na junta. O processo de Arco Submerso torna-se viável para juntas de grandes dimensões, em que o alto custo de preparação de o equipamento é compensado pelo baixo custo do processo por peso de metal depositado.

Então, a ordem crescente do custo total (mão-de-obra, metal de preenchimento, fluxo e gás de proteção) é Arco Submerso, Soldagem com Proteção Gasosa e Eletrodo Revestido. O custo do eletrodo

19.5 - Seleção do Processo de Soldagem

Os processos MIG, MAG e TIG tem um custo muito elevado devido a utilização de proteção gasosa (CO₂ ou gás inerte). E ainda estes três processos necessitam de uma mão-de-obra mais especializada que os processos de Eletrodo Revestido e Arco Submerso.

O processo de Arco Submerso tem seu uso limitado devido a estar limitado a soldagens na posição plana. O Arco Submerso não poderia ser utilizado na soldagens dos bocais e reforços de bocais outras juntas com soldagens fora da posição plana. O processo da Arco Submerso tem um custo muito elevado em juntas de pequenas dimensão, devido ao seu alto custo na montagem do equipamento de solda. O vaso em projeto tem dimensões muito reduzidas ($\phi 700$ mm x 1950 mm) não compensando o uso do processo de Arco Submerso.

Dentre os quatro processos (MIG, MAG, TIG, Arco Submerso e Eletrodo Revestido), o processo de menor custo é processo com Eletrodo Revestido. Além de ser o processo de menor custo total (incluindo montagem do equipamento), o processo com Eletrodo Revestido é adequado na soldagem de aços médio-carbono (tipo de material utilizado no vaso de pressão em projeto) e, também, permite a soldagem em todas as posições. E ainda, o custo de preparação do equipamento de soldagem para o Arco Revestido é muito baixo em relação ao demais processos de soldagem.

Portanto, o processo de soldagem que será utilizado para todas as juntas soldadas do vaso é o Eletrodo Revestido.

20 - SELEÇÃO ELETRODO

A resistência do material da alma do eletrodo é determinado pelo materiais a serem soldados. Os materiais a serem soldados são:

	Tensão Mínima de Escoamento	Tensão Mínima de Ruptura
SA-516 grau 60	32 ksi (220 Mpa)	60 ksi (415 Mpa)
SA-105	30 ksi (205 MPa)	60 ksi (415 MPa)
SA-106 grau B	35 ksi (240 MPa)	60 ksi (415 MPa)
SA-36	36 ksi (250 Mpa)	58 ksi (400 Mpa)

Conforme a tabela 4.1.1 do ANSI/AWS D1.1-86^[19] (Structural Welding Code-Steel), tem-se para os materiais acima a necessidade de utilização dos eletrodos da série 70 (E70XX) e da série 60 (E60XX). Consultando o ANSI/AWS A5.1-85^[20] (Specification for Covered Carbon Steel Arc Welding Electrodes), tem-se para série 60 e série 70:

	Tipo de Revestimento	Posição de Soldagem ^(*)	Tipo de Corrente ^(**)
E6010	Celulósico, sódio	P, V, H, SC	CC(+)
E6011	Celulósico, potássio	P, V, H, SC	CA ou CC(+)
E6012	Rutilico, sódio	P, V, H, SC	CA ou CC(-)
E6013	Rutilico, potássio	P, V, H, SC	CA ou CC(±)
E6020	Ácido, alto óxido de ferro	FH F	CA ou CC(±) CA ou CC(-)
E6027	Ácido, com pó de ferro	FH F	CA ou CC(-) CA ou CC(±)
E7014	Rutilico, com pó de ferro	P, V, H, SC	CA ou CC(±)
E7015	Básico, sódio	P, V, H, SC	CC(+)
E7016	Básico, potássio	P, V, H, SC	CA ou CC(+)
E7018	Básico, com pó de ferro	P, V, H, SC	CA ou CC(+)
E7024	Rutilico, com pó de ferro	F, FH	CA ou CC(±)
E7027	Ácido alto óxido de ferro com pó de ferro	F, FH	CA ou CC(-)
E7028	Básico, com pó de ferro	F, FH	CA ou CC(+)
E7048	Básico, com pó de ferro	P, V, H, SC	CA ou CC(+)

- (*) P - posição plana
 V - posição vertical
 H - posição horizontal
 SC - posição sobre-cabeça
 FH - filete horizontal

- (**) CA - corrente alternada
 CC(-) - corrente contínua, polaridade direta (eletrodo negativo)
 CC(+) - corrente contínua, polaridade inversão (eletrodo positivo)

CC(±) - corrente contínua, polaridades direta ou inversa

Embora a AWS (conforme a tabela acima), permita o uso de eletrodos da série E60XX na soldagem do SA-516 grau 60, o uso dos eletrodo a série E60XX na soldagem do SA-516 grau 60 é recomendada em estruturas e equipamentos sem grande responsabilidade. Recomenda-se sempre o uso de um eletrodo de resistência a ruptura superior ao do material base. O material base que será utilizado com maior resistência a ruptura é o SA-516 grau 60 com tensão de ruptura igual a 60 ksi (414 MPa). Portanto, opta-se por eletrodos da série E70XX, já que as soldas serão feitas em partes pressurizadas de um vaso de pressão.

Descarta-se a utilização dos eletrodos E6020, E6027, E7024, E7027 e E7028, devido a restrição de posição de soldagem. Então, tem-se como opção os eletrodos E7014 (rutílico), E7015 (celulósico), E7016 (básico) e E7018 (básico).

O revestimento rutílico é composto de 20% de óxido de titânio ou rutilo. Obtém-se com este revestimento uma alta estabilidade do arco, com tensão de soldagem comparativamente baixas, pequena quantidade de respingos e bom aspecto superficial do cordão. O arco gerado é bastante suave e sua penetração é relativamente baixa. O eletrodo é recomendado para a soldagem de chapas de pequena espessura. E também por isso, utilizado como passe de acabamento na união de chapas grossas.

O revestimento básico é também conhecido como de baixo hidrogênio, pois o metal depositado obtido com este tipo de eletrodo possui um baixo teor de hidrogênio. O baixo teor deste elemento faz com que o metal depositado apresente uma baixa sensibilidade ao trincamento e à fissuração. Portanto, a junta soldada obtida exibe excelentes propriedades mecânicas, boa ductilidade e boa tenacidade. Porém, uma das desvantagem do uso deste eletrodo é a relativa instabilidade do arco em relação aos outros tipos de revestimentos, isto ocasiona na necessidade de um soldador mais familiarizado com este tipo de eletrodo.

Será escolhido o revestimento do tipo básico, afim de garantir penetração total nas juntas longitudinais e circunferenciais do casco e nas juntas de penetração total entre a parede do vaso e os pescoços do bocais. E ainda, além de possuir uma penetração melhor, o eletrodo com revestimento do tipo básico possuem proporciona uma junta soldada melhor sob o aspecto de propriedade mecânica, favorecendo a resistência a propagação de trincas.

Opta-se, então, pelo eletrodo AWS E7018, do tipo básico com pó de ferro.

ELETRODO SELECIONADO

AWS E7018 - revestimento básico com pó de ferro

21 - GEOMETRIA DAS JUNTAS SOLDADAS

As geometrias das juntas soldadas seguem conforme indicações da AWS (American Welding Society) D1.1^[14]. Serão adotadas para juntas de penetração total geometrias pré-qualificadas pela AWS. As juntas pré-qualificadas pela AWS utilizadas estão mostradas abaixo.

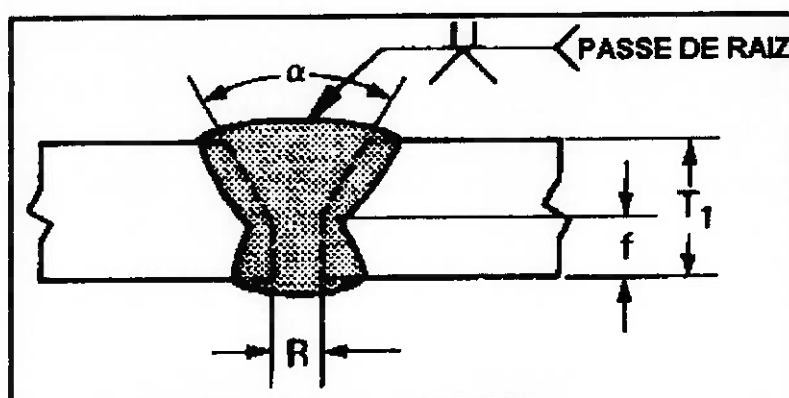


Fig. 21.1 - Geometria pré-qualificada AWS B-U2

Para o processo de Eletrodo Revestido, tem-se para a junta qualificada acima:

Designação da Junta	Espessura do Metal Base (I = ilimitado)	Geometria da Junta			Posições de Soldagem	Notas
		Abertura de Raiz Face da Raiz Ângulo do Chanfro	Tolerâncias			
				no detalhamento ^(*)		
B-U2	I (fig. 17.1)	R = 0 a 1/8 f = 0 a 1/8 $\alpha = 60^{\circ}$	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 não limitado +10°, -5°	todas	C, N

Nota C: Passe de raiz ("Back Gouge") deve ser feito antes de soldar o segundo lado.

Nota N: A orientação dos dois membros da junta podem variar de 135° a 180°, providenciando que a configuração básica da junta (ângulo de abertura do chanfro, altura da face da raiz e abertura da raiz) mantenham-se inalteradas.

(*) - As tolerâncias no detalhamento são o limites que podem variar no projeto ou desenho de detalhamento. As tolerância na montagem são as tolerância no posicionamento dos peças para a soldagem.

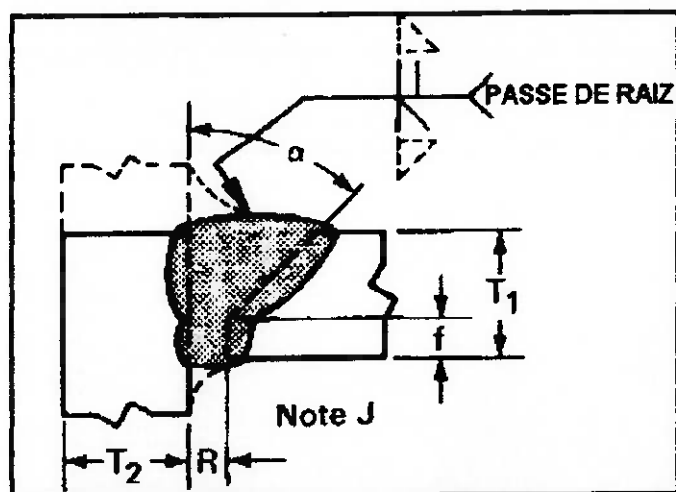


Fig. 21.2 - Geometria pré-qualificada AWS TC-U4b

Para o processo de Eletrodo Revestido, tem-se para a junta qualificada acima:

Designação da Junta	Espessura do Metal Base (I = ilimitado)		Geometria da Junta			Posições de Soldagem	Notas
			Abertura de Raiz Face da Raiz Ângulo do Chanfro	Tolerâncias			
	T ₁ (fig. 17.2)	T ₂ (fig. 17.2)		no detalhamento ^(*)	na montagem ^(*)		
TC-U4b	I	I	R = 0 a 1/8 f = 0 a 1/8 α = 45°	+1/16, -0 +1/16, -0 +10°, -0°	+1/16, -1/8 não limitado +10°, -5°	todas	C, J, R, V

Nota C: Passe de raiz ("Back Gouge") deve ser feito antes de soldar o segundo lado.

Nota J: Se as soldas de filetes são utilizados em estruturas para reforçar as soldas de penetração total em juntas T, os filetes deverão ter 1/4 T₁ de tamanho, mas não excedendo 3/8". Juntas de Penetração em juntas T em pontes deverão ser reforçadas com filetes de 1/4 T₁, mas não excedendo 3/8".

(*) - As tolerâncias no detalhamento são o limites que podem variar no projeto ou desenho de detalhamento. As tolerância na montagem são as tolerância no posicionamento dos peças para a soldagem.

21.1 - Juntas Longitudinais e Circunferenciais do Casco e Tampo

Conforme a ASME, as soldas longitudinais e circunferenciais do casco são juntas do Tipo No. (1). As soldas da Tipo No. (1) são soldas com penetração total que devem possuir a mesma qualidade de deposição no lado interno e no lado externo das superfícies de solda.

21.1.1 - Geometria da Junta Longitudinal

A solda longitudinal será um solda plana, conforme a figura abaixo:

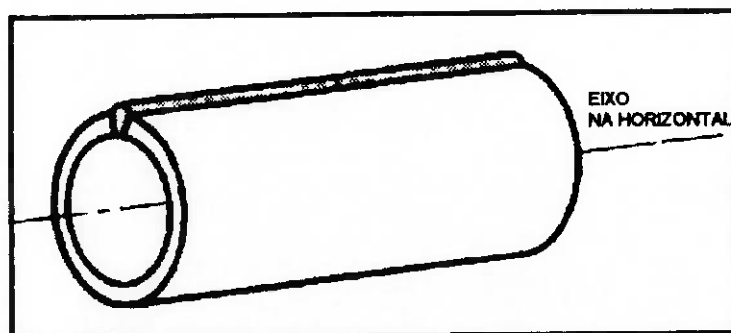


Fig. 21.1.1.1 - Posição da Soldagem da Junta Longitudinal do Casco Cilíndrico

Conforme a junta pré-qualificada B-U2 pela AWS, mostrada no início do capítulo, a geometria da junta longitudinal do casco será conforme mostrado abaixo:

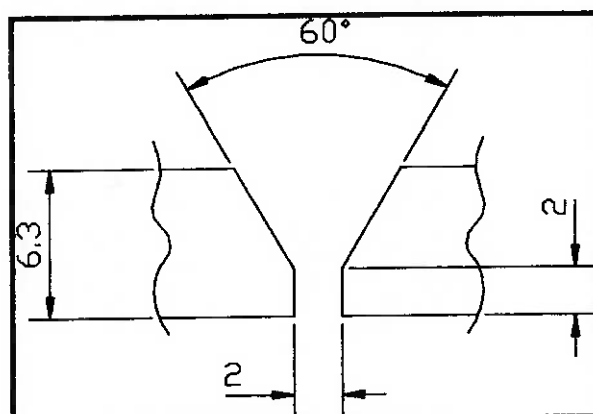


Fig. 21.1.1.2 - Detalhe do Chanfro da Junta Longitudinal do Casco

21.1.2 - Geometria das Juntas Circunferenciais

Como já visto anteriormente, as juntas circunferenciais serão feitas com o eixo do vaso na horizontal. O vaso será colado sobre roletas para permitir a rotação no vaso. Nesta posição, permiti-se soldar praticamente na posição plana ou, no pior caso, na vertical ascendente.



Fig. 21.1.2.1 - Posição da Soldagem da Junta Circunferencial do Casco Cilíndrico

Conforme a junta pré-qualificada B-U2, a geometria da junta longitudinal do casco será conforme mostrado abaixo:

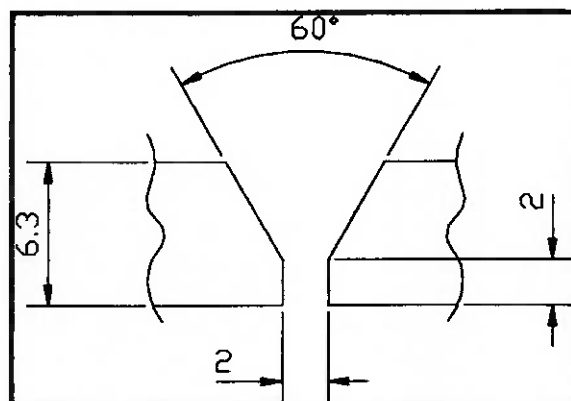


Fig. 21.1.2.2 - Detalhe do Chanfro da Junta Circunferencial do Casco Cilíndrico

21.2 - Juntas do Bocal A

O bocal A possui reforço de abertura de bocal. Conforme a UW-16, uma das configuração de soldagem dos bocais aceitas pelo ASME é o seguinte:

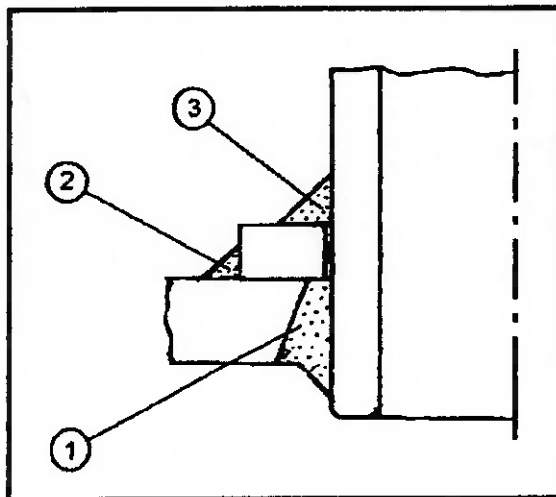


Fig. 21.2.1 - Esquema de conexão do bocal A a parede do vaso

Então, tem as seguintes juntas de solda:

- solda de penetração total entre bocal e tampo (junta 1)
- solda de filete entre reforço e tampo (junta 2)
- solda de filete entre bocal e reforço (junta 3)

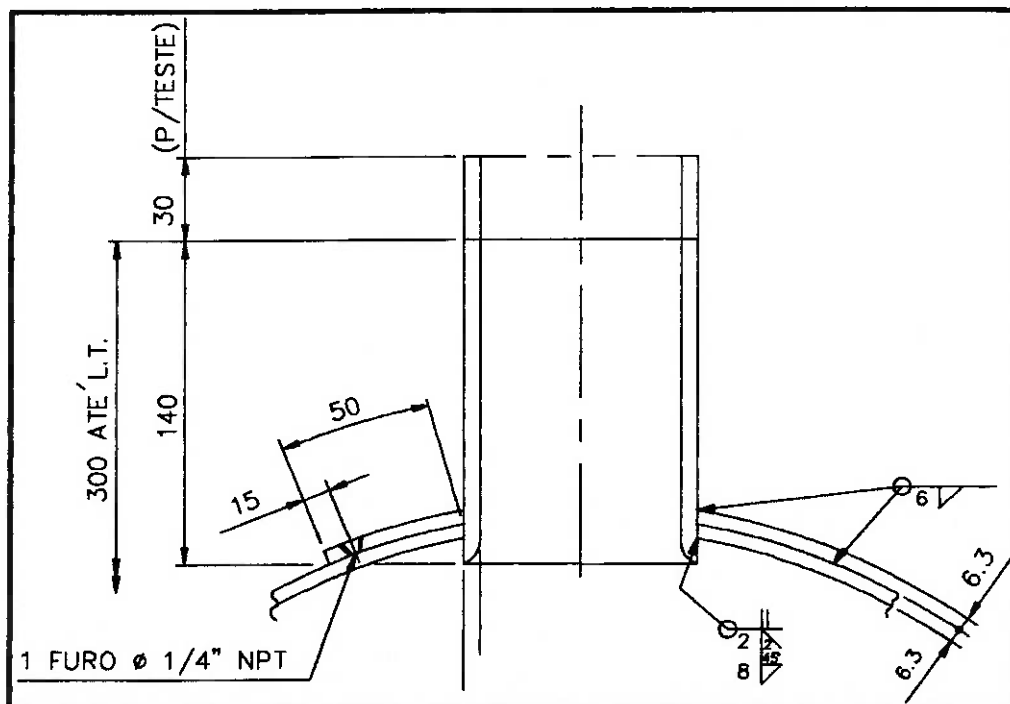


Fig. 21.2.2 - Detalhamento do Bocal A

21.3 - Juntas do Bocal B

O bocal B não possui reforço de abertura de bocal. Conforme a UW-16, uma das configuração de soldagem dos bocais aceitas pelo ASME é o seguinte:

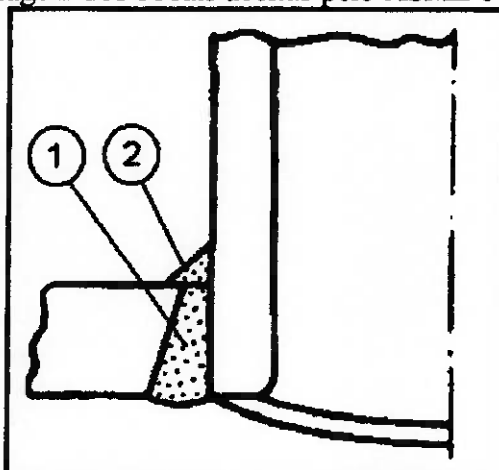


Fig. 21.3.1 - Esquema de conexão do bocal B a parede do vaso

Então, tem as seguintes juntas de solda:

- solda de penetração total entre bocal e tampo (junta 1)
- solda de filete entre bocal e tampo

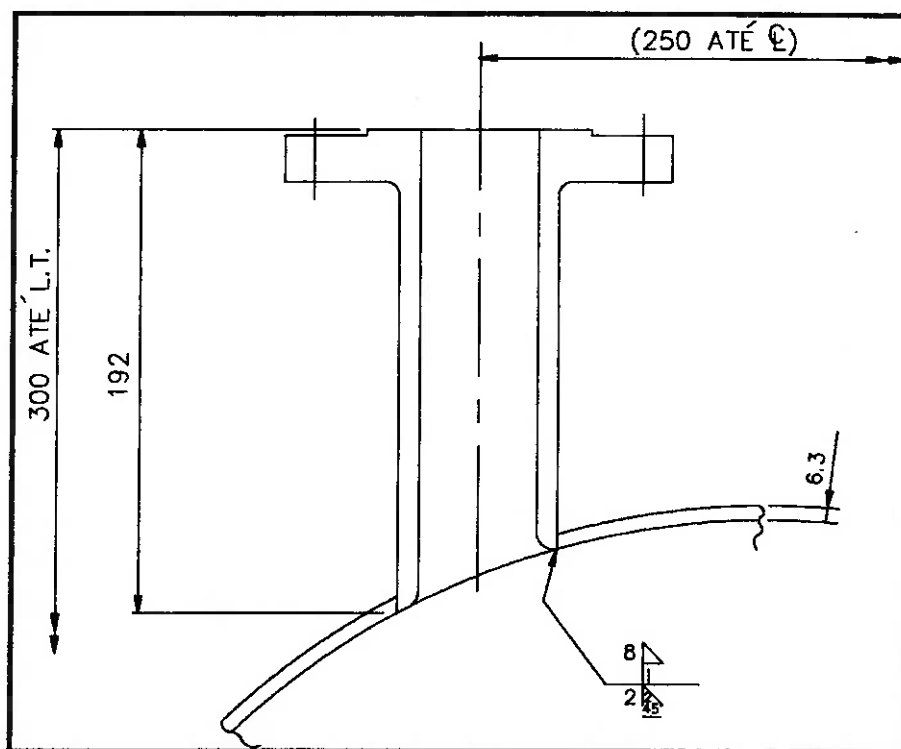


Fig. 21.3.2 - Detalhamento do Bocal B

21.4 - Juntas do Bocal C

O bocal C possui reforço de abertura de bocal. Conforme a UW-16, uma das configuração de soldagem dos bocais aceitas pelo ASME é o seguinte:

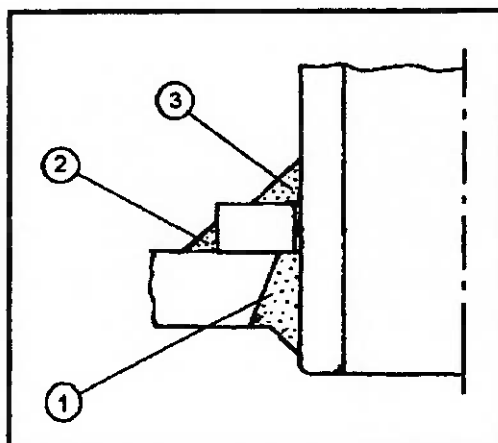


Fig. 21.4.1 - Esquema de conexão do bocal C a parede do vaso

Então, tem as seguintes juntas de solda:

- solda de penetração total entre bocal e tampo (junta 1)
- solda de filete entre reforço e tampo (junta 2)
- solda de filete entre bocal e reforço (junta 3)

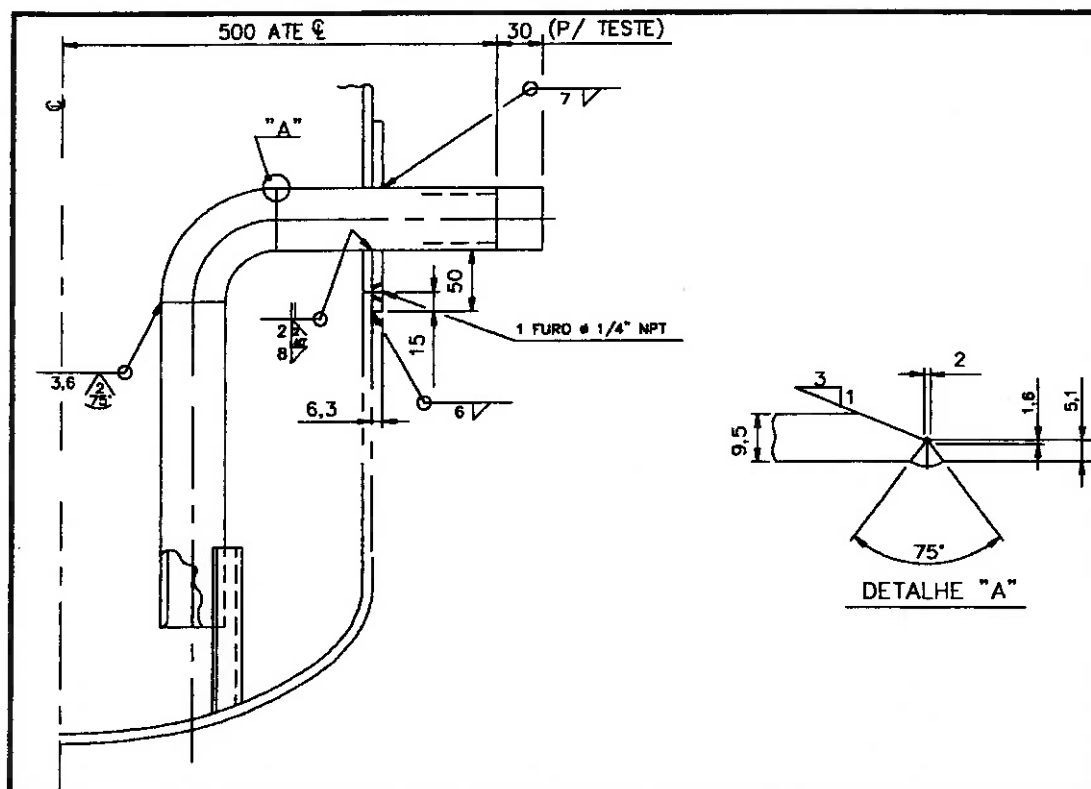


Fig. 21.4.2 - Detalhamento do Bocal C

21.5 - Juntas do Bocal D

O bocal D possui reforço de abertura de bocal. Conforme a UW-16, uma das configuração de soldagem dos bocais aceitas pelo ASME é o seguinte:

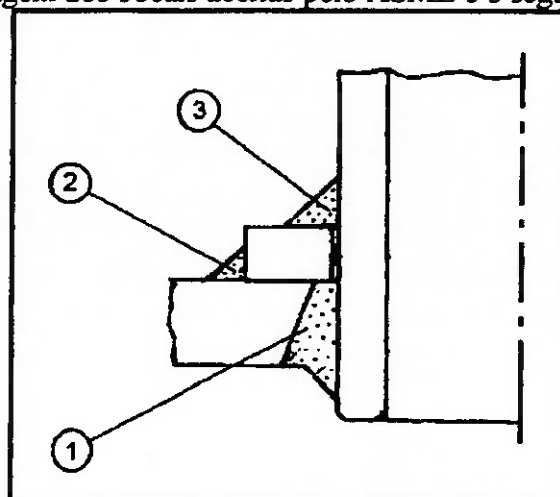


Fig. 21.5.1 - Esquema de conexão do bocal D a parede do vaso

Então, tem as seguintes juntas de solda:

- solda de penetração total entre bocal e tampo (junta 1)
- solda de filete entre reforço e tampo (junta 2)
- solda de filete entre bocal e reforço (junta 3)

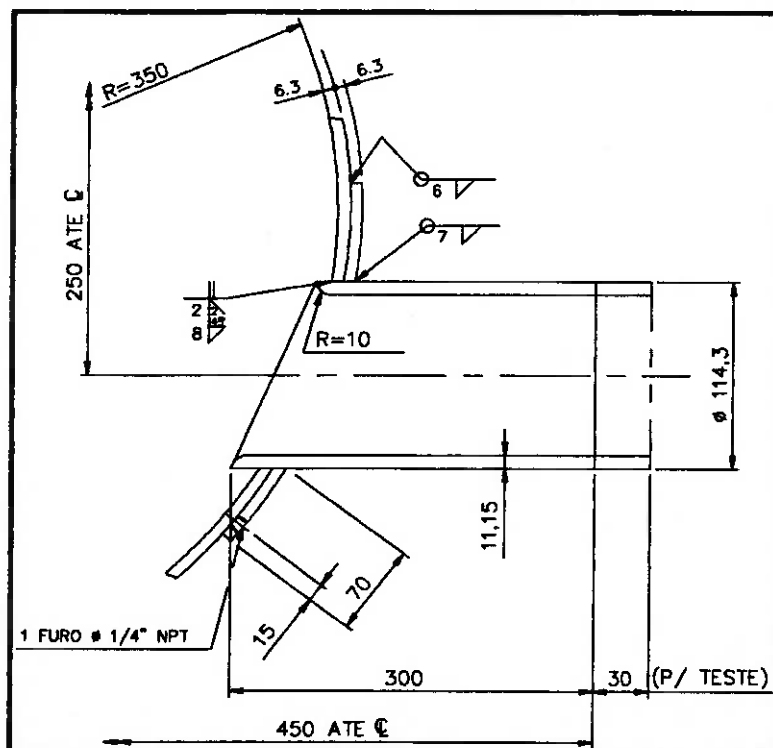


Fig. 21.5.2 - Detalhamento do Bocal D

21.6 - Juntas do Bocal E

O bocal E é constituído de uma meia-luva forjada, não possui reforço de abertura de bocal. Conforme a UW-16, uma das configuração de soldagem dos bocais aceites pelo ASME é o seguinte:

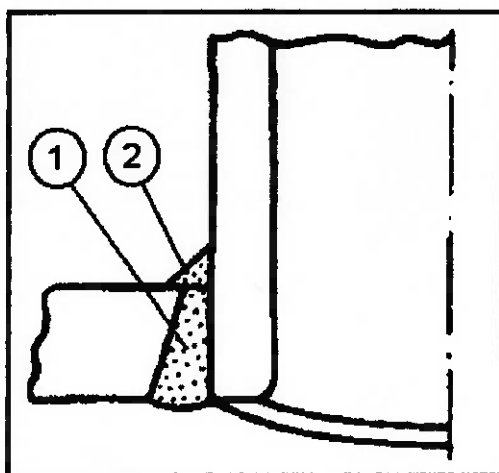


Fig. 21.6.1 - Esquema de conexão do bocal E a parede do vaso

Então, tem as seguintes juntas de solda:

- solda de penetração total entre bocal e tampo (junta 1)
- solda de filete entre bocal e tampo (junta 2)

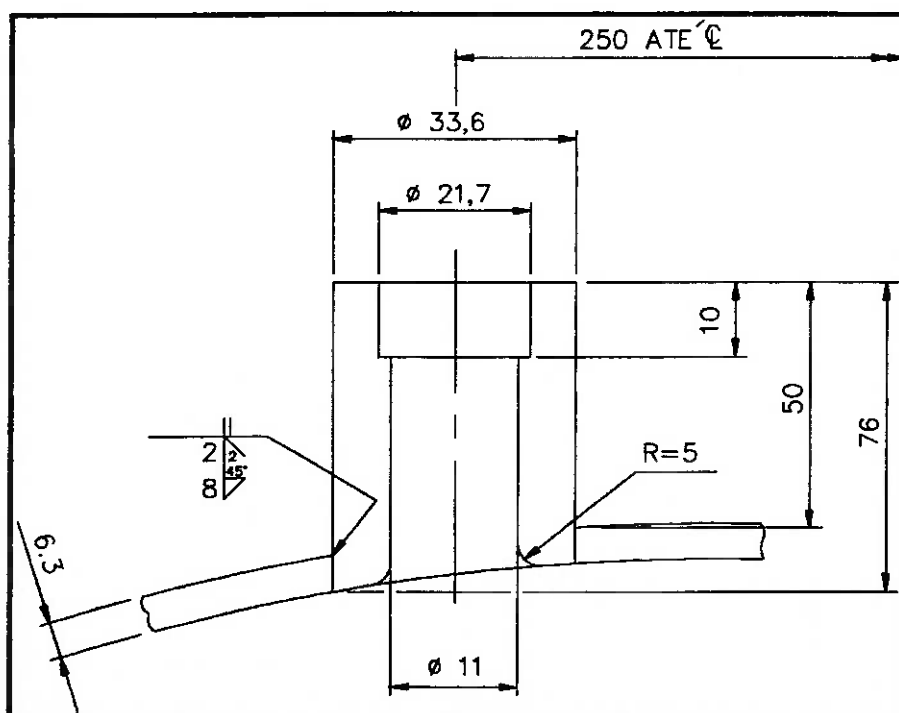


Fig. 21.6.2 - Detalhamento do Bocal E

21.7 - Juntas do Bocal F

O bocal F é constituído de uma meia-luva forjada, não possui reforço de abertura de bocal. Conforme a UW-16, uma das configuração de soldagem dos bocais aceites pelo ASME é o seguinte:

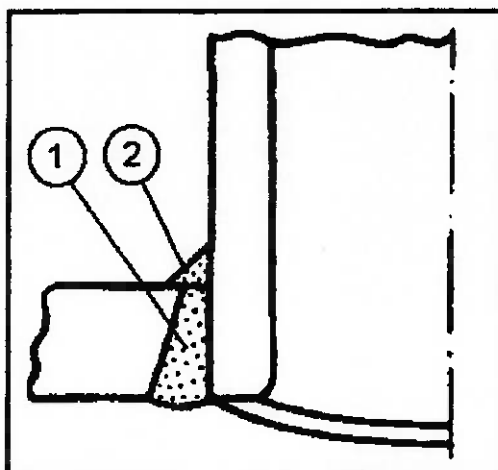


Fig. 21.7.1 - Esquema de conexão do bocal F a parede do vaso

Então, tem as seguintes juntas de solda:

- solda de penetração total entre bocal e tampo (junta 1)
- solda de filete entre bocal e tampo (junta

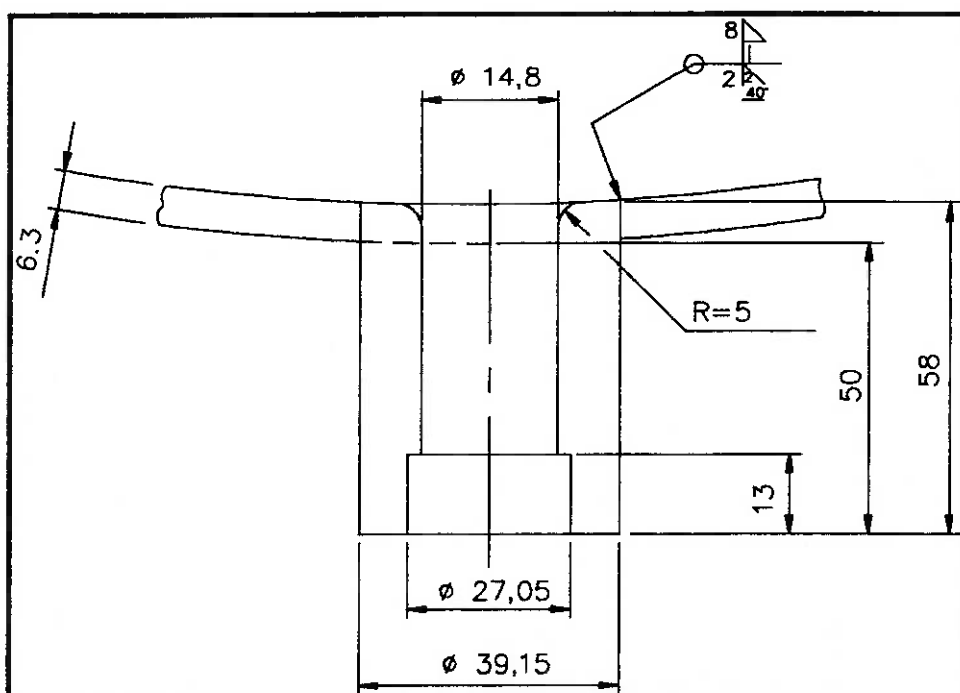


Fig. 21.7.2 - Detalhamento do Bocal F

21.8 - Juntas do Bocal G

O bocal G é constituído de uma meia-luva forjada, não possui reforço de abertura de bocal. Conforme a UW-16, uma das configuração de soldagem dos bocais aceites pelo ASME é o seguinte:

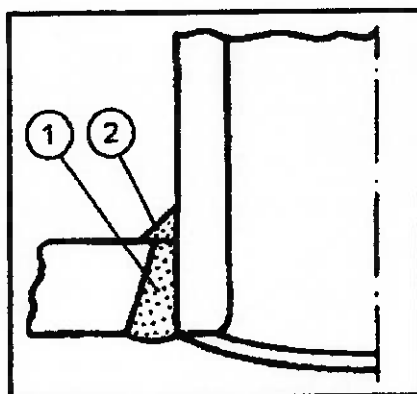


Fig. 21.8.1 - Esquema de conexão do bocal G a parede do vaso

Então, tem as seguintes juntas de solda:

- solda de penetração total entre bocal e tampo (junta 1)
- solda de filete entre bocal e tampo (junta 2)

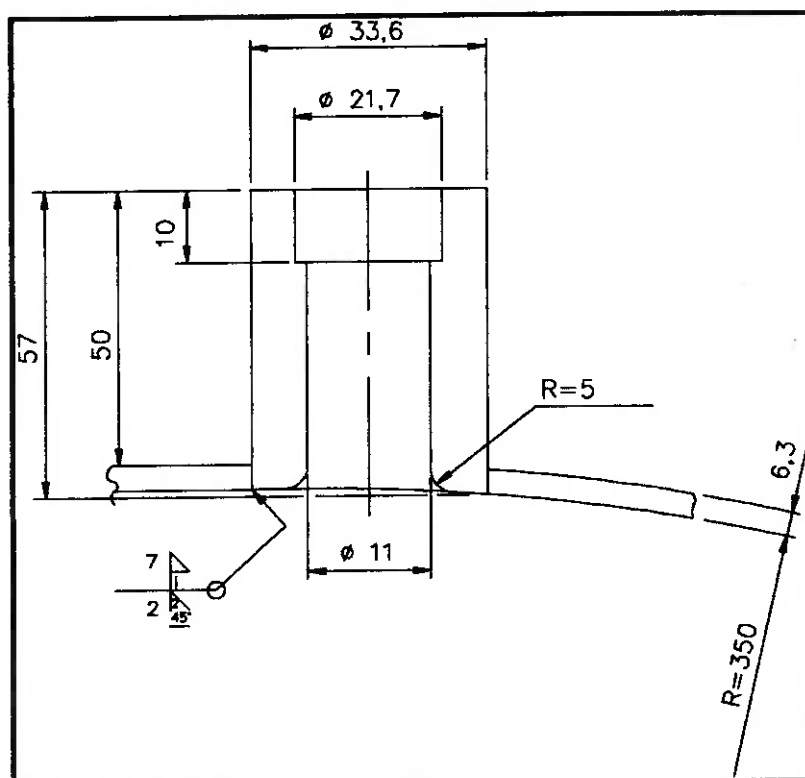


Fig. 21.8.2 - Detalhamento do Bocal G

21.9 - Juntas do Bocal H

O bocal H possui reforço de abertura de bocal. Conforme a UW-16, uma das configuração de soldagem dos bocais aceitas pelo ASME é o seguinte:

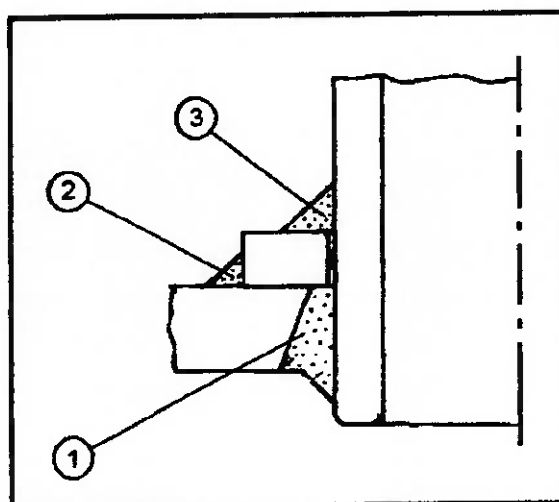


Fig. 21.9.1 - Esquema de conexão do bocal H a parede do vaso

Então, tem as seguintes juntas de solda:

- solda de penetração total entre bocal e tampo (junta 1)
- solda de filete entre reforço e tampo (junta 2)
- solda de filete entre bocal e reforço (junta 3)

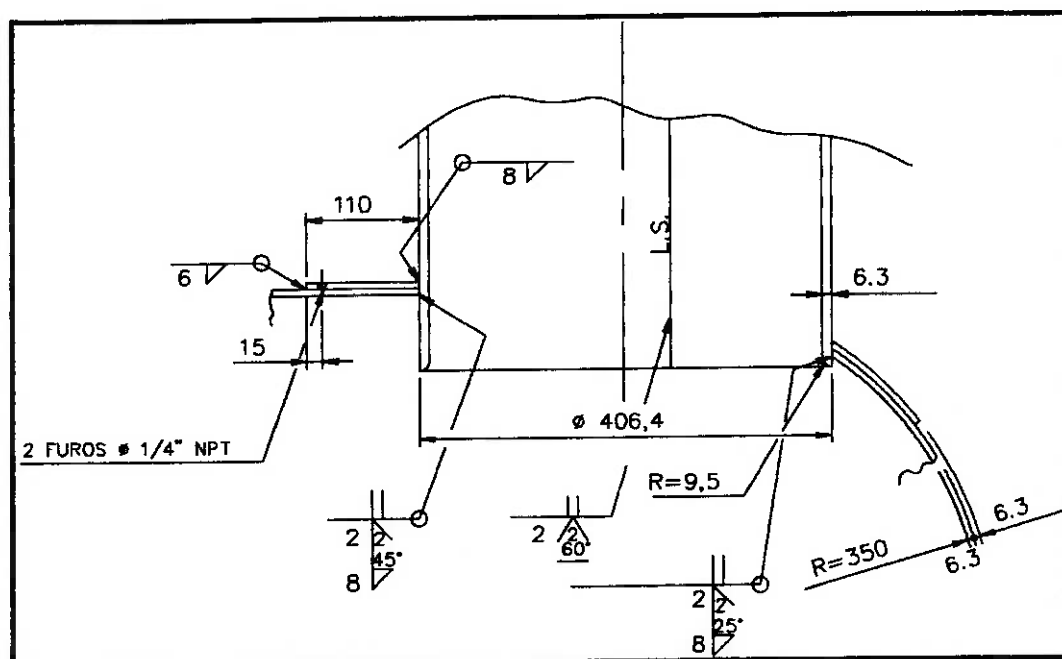


Fig. 21.9.2 - Detalhamento do Bocal H

21.10 - Juntas dos Bocais I_1 e I_2

Os bocais I_1 e I_2 são constituídos de uma meia-luva forjada, não possuem reforços de abertura de bocal. Conforme a UW-16, uma das configuração de soldagem dos bocais aceitas pelo ASME é o seguinte:

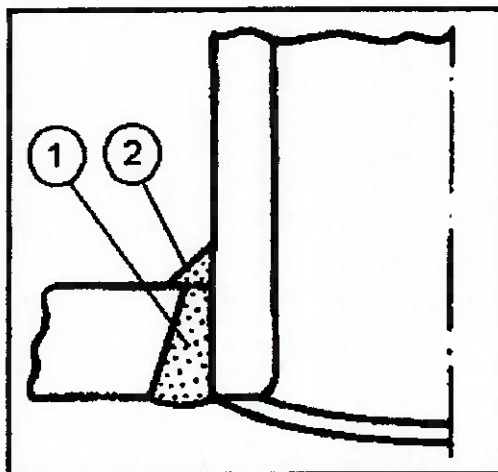


Fig. 21.10.1 - Esquema de conexão dos bocais I_1 e I_2 a parede do vaso

Então, tem as seguintes juntas de solda:

- solda de penetração total entre bocal e tampo (junta 1)
- solda de filete entre bocal e tampo (junta 2)

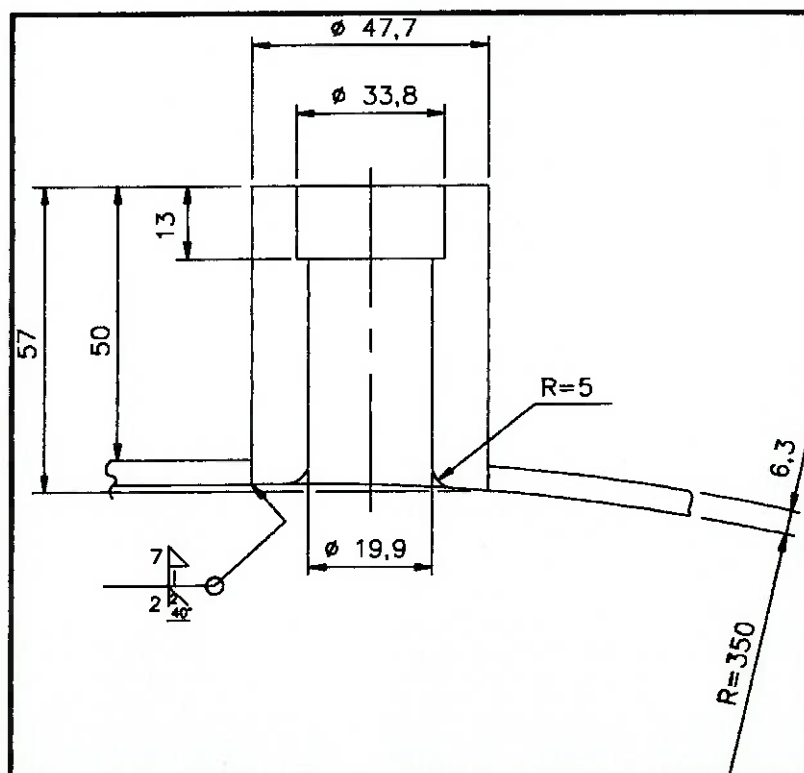


Fig. 21.10.2 - Detalhamento dos Bocais I_1 e I_2

22 - PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM

O procedimento de soldagem constitui basicamente das seguintes etapas:

- chanframento das junta
- limpeza da junta
- inspeção do chanfro
- posicionamento e alinhamento das partes a serem soldadas
- ponteamento
- inspeção de alinhamento e posicionamento
- pré-aquecimento
- soldagem em uma ou várias passagens, mantendo temperatura de interpasse
- número de soldadores utilizados

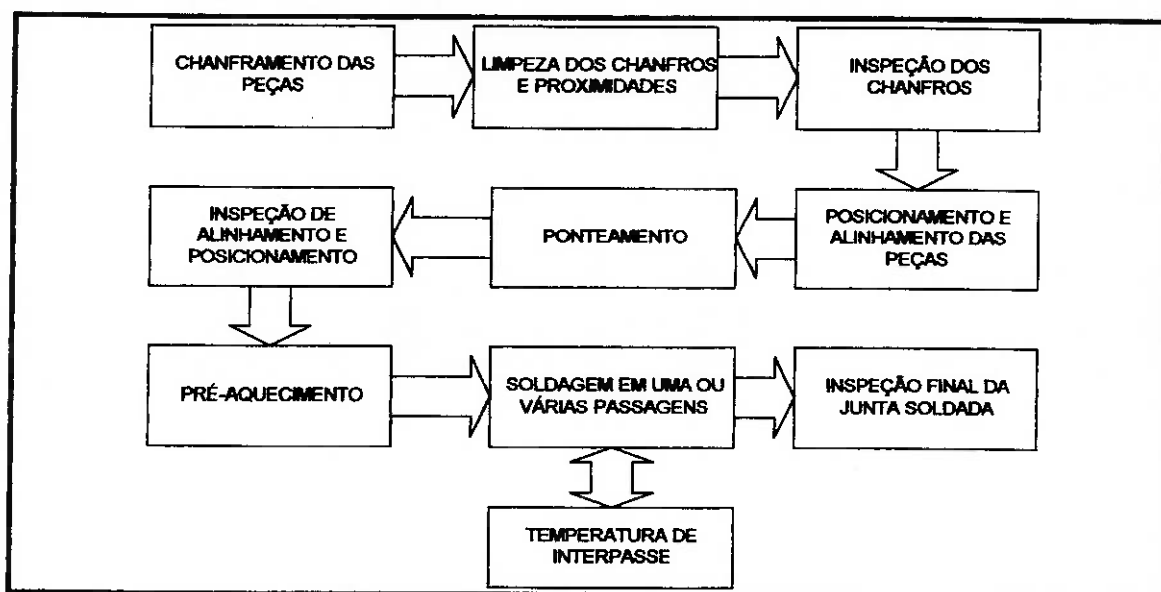


Fig. 22.1 - Procedimentos para soldagem

Os chanfros e proximidades devem ser limpos, eliminando líquidos, graxas, óleos, óxidos e outras impurezas que possam contaminar a massa de fusão e gerar vapores e inclusões na junta acabada.

A inspeção do chanfro pode ser feita visualmente com ou sem o uso de líquidos penetrantes e partículas magnéticas. O uso de líquidos penetrantes e partículas magnéticas é recomendado para chanfros de grandes dimensões em chapas de grandes espessuras e em juntas de grande responsabilidade.

Conforme a especificação da Petrobrás (N-268a^[11], item 6.4), os chanfros devem ser examinados dimensional e visualmente, quanto à limpeza e ausência dos seguintes defeitos:

- poros
- irregularidades de corte
- amassamentos

- trincas
- descontinuidades transversais à superfície
- descontinuidades paralelas à superfície, com comprimento superior a 25

mm

Os chanfros podem ser limpos com o auxílio de raspador ou outra apropriada.

E ainda, conforme a Petrobrás, o exame visual deve ser suplementado com exame por meio de líquido penetrante ou de partículas magnéticas, nos seguintes casos:

- espessura de chanfro superior a 38 mm.
- chanfros de aberturas para conexões com diâmetro nominal superior a 76 mm (3").
- chanfros recuperados por solda.
- chanfros nos seguintes materiais: aço-carbono com exigência de teste de impacto, aços-liga cromo-molibdênio quando é previsto tratamento térmico após a soldagem, aços-liga níquel, aços inoxidáveis, metais e ligas não-ferrosos.

Para o vaso de pressão em projeto, bastará o exame visual sem auxílio de líquido penetrante ou de partículas magnética, pois os materiais a serem soldados tem espessuras inferiores a 38 mm e não exigem teste de impacto, nem tratamento térmico após a soldagem.

Após o exame dos chanfros, deve-se fazer o ajuste e o posicionamento entre chapas e seções do equipamento dentro de tolerâncias determinadas por norma.

Conforme o parágrafo UW-33 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), o nível de aceitação de desalinhamento entre peças de juntas de penetração total depende da categoria da junta soldada conforme o parágrafo UW-3 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]) e determinadas no Capítulo 5 (Determinação de Eficiências das Juntas Soldadas). Os desalinhamento permissível é obtido na tabela abaixo.

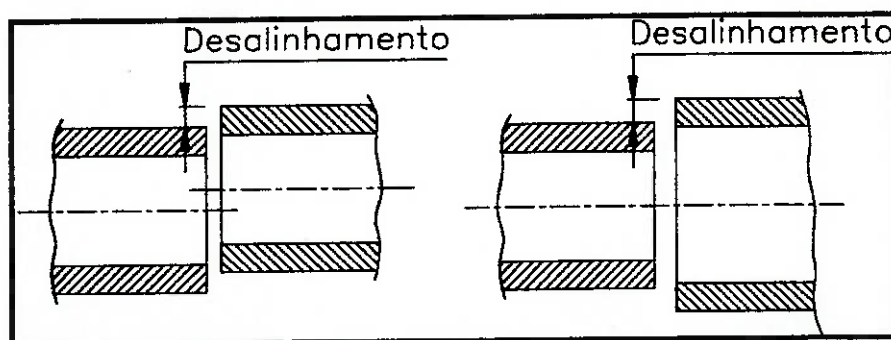


Fig. 22.2 - Esquema de desalinhamento entre peças na soldagem

Espessura da Seção (pol.)	Categoria de Junta (conforme ASME, Seção VIII, divisão 1)	
	A	B, C e D
até $\frac{1}{2}$, inclusive	$\frac{1}{4} t$	$\frac{1}{4} t$
de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$, inclusive	$\frac{1}{8}$ pol.	$\frac{1}{4} t$
de $\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{2}$, inclusive	$\frac{1}{8}$ pol.	$\frac{3}{16}$ pol.
De $1\frac{1}{2}$ a 2, inclusive	$\frac{1}{8}$ pol.	$\frac{1}{8} t$
acima de 2	menor de $\frac{1}{16}t$ ou $\frac{3}{8}$ pol.	menor de $\frac{1}{8}t$ ou $\frac{3}{4}$ pol.

Todas as juntas de penetração total do vaso em projeto tem espessura de seção igual ou inferior a $\frac{1}{4}$ polegada, portanto, o desalinhamento máximo permissível é de 1,58 mm.

Após o posicionamento, é feito a inspeção de alinhamento e posicionamento, a fim de garantir as tolerâncias de posicionamento e alinhamento.

Posicionados a peças e inspecionados, é feito o pré-aquecimento das peças a fim de minimizar a chance de ocorrências de trincas e tensões residuais devido a soldagem após o resfriamento dos metais bases. Como já foi visto, os metais a serem soldados neste projeto (SA-516 grau 60, SA-105, SA-106 grau B e SA-36) não necessitam de pré-aquecimento e para o processo de Eletrodo Revestido e para as espessuras utilizadas (igual ou inferior a 6,30 mm). Porém, é necessário garantir que o metal base esteja a pelo menos 21°C durante todo o processo de soldagem.

Após a soldagem, é feito a usinagem e o acabamento do cordão de solda a fim de minimizar as concentrações de tensões. Esta usinagem pode ser feita por simples lixadeira manual.

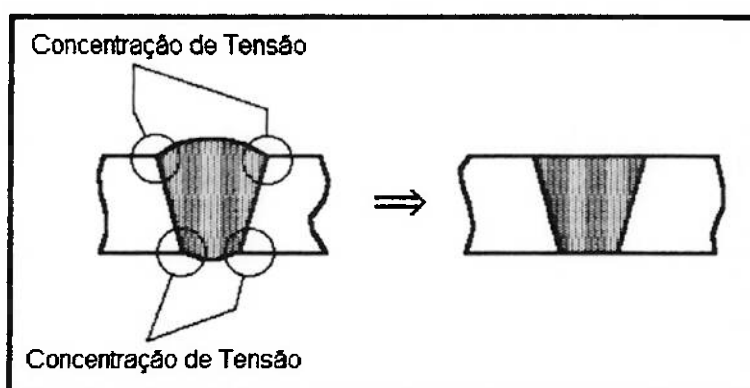


Fig. 22.3 - Acabamento final do cordão de solda de penetração total

22.1 - Juntas de Penetração Total

As juntas de penetração total no vaso são:

- juntas longitudinal e circunferenciais do casco
- juntas entre os pescoços dos bocais e parede do vaso
- junta longitudinal no pescoço da boca de visita

Todas estas juntas são feitas em dois passes. Primeiro, faz-se o passe de raiz ("back gouge"), depois, completa-se a soldagem com um passe no lado oposto ao passe de raiz (veja figura abaixo).

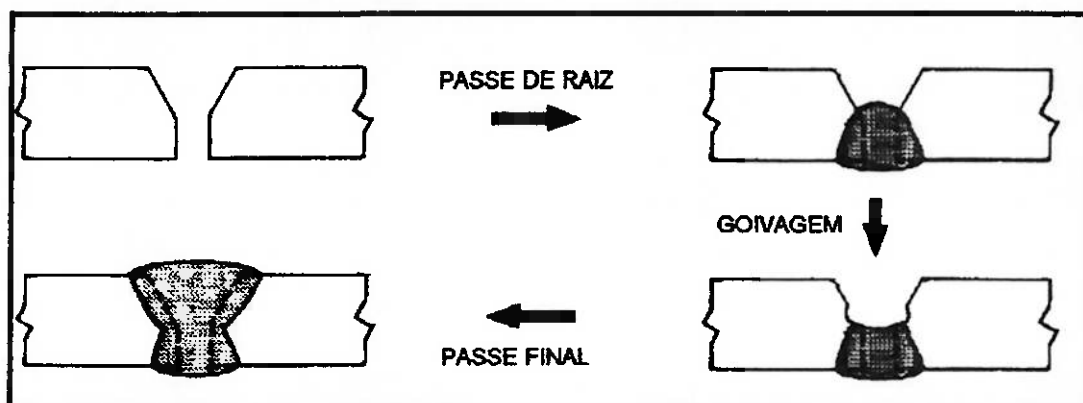


Fig. 22.1.1 - Sequência de deposição da juntas de longitudinais e circunferenciais do casco cilíndrico

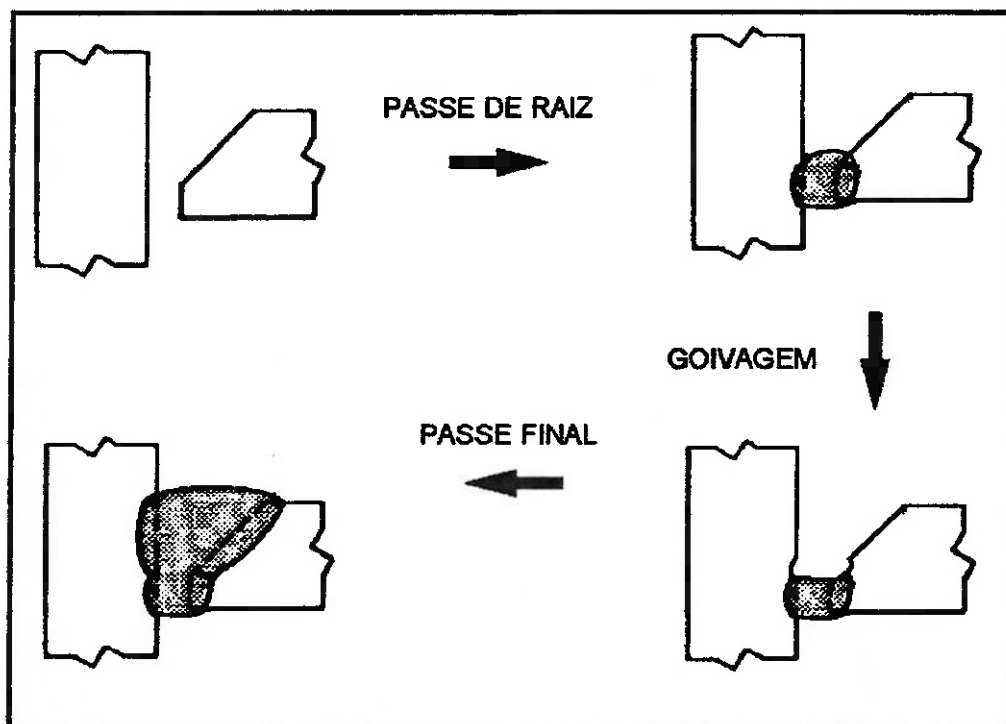


Fig. 22.1.1 - Sequência de deposição das juntas de penetração total entre os bocais e a parede do vaso

22.2 - Soldas de Filetes

Soldas de filetes são encontradas nas seguintes juntas:

- junta entre pescoço dos bocais e parede do vaso, em bocais que não possuem reforços de abertura.
- junta entre pescoço dos bocais e reforços de aberturas de bocais.
- reforços de abertura de bocais e parede do vaso.
- pescoço da Boca de Visita e flange

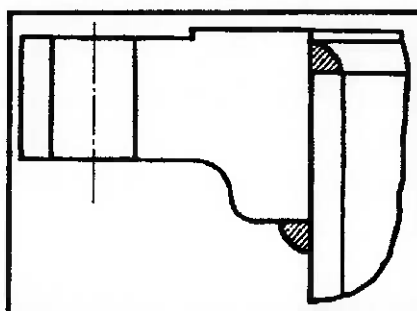


Fig. 18.2.1 - Soldagem do flange ao pescoço da Boca de Visita

- entre parede do vaso e acessórios externos (olhais de içamento, placas de identificação), pés e outros reforços de parede do vaso.

23 - PARÂMETROS DE SOLDAGEM

A determinação do procedimento de soldagem constitui na determinação dos seguintes parâmetros:

- corrente elétrica de soldagem
- tensão de soldagem
- velocidade
- polarização do eletrodo
- ângulo de trabalho
- ângulo de ataque
- sequência de deposição
- temperatura de pré-aquecimento
- temperatura de interpasse
- número de soldadores

Em geral, a maioria dos parâmetro de soldagem para uma determinada junta são determinados a partir de conhecimento e experiência anterior. Então, com estes parâmetro determinados, é feito uma junta soldada de teste para qualificação da junta. Nesta junta de teste, são feitos ensaios de qualificação (exame visual, exame radiográfico, exame de ultra-som, ensaio de dobramento, ensaio de impacto ou outros ensaios e exames).

Caso a junta de teste não seja qualificada, então deve-se alterar os parâmetros até que se obtenha valores apropriados nos testes.

23.1 - Polaridade, Tensão, Corrente Elétrica e Velocidade de Soldagem

Para o eletrodo E7018 para corrente elétrica alternada, é prática adotar as seguintes faixas de valores para tensão, corrente elétrica e velocidade de soldagem:

Diâmetro do Eletrodo	φ2,5 mm	φ3,2 mm	φ4,0 mm	φ5,0 mm	φ6,0 mm
Corrente (A)	65 a 90	90 a 130	110 a 180	160 a 230	220 a 300
Tensão (V)	20 a 26	22 a 28	22 a 28	22 a 28	22 a 28
Velocidade de Soldagem (mm/min)	40 a 250				

23.2 - Ângulo de Trabalho e Ângulo de Ataque

Toda as juntas serão feitas com passe corrido. Conforme Taniguchi^[21], para passe corrido em juntas de topos, recomenda-se os seguintes ângulos do eletrodo:

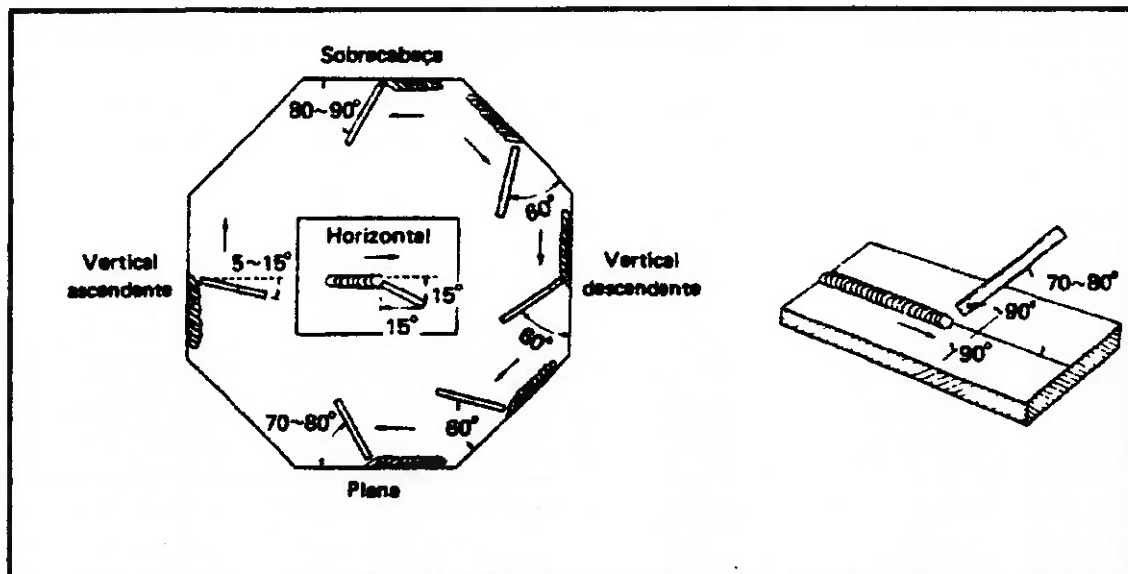


Fig. 23.2.1 - Esquema de ângulo de ataque e ângulo de trabalho conforme Taniguchi^[21]

23.3 - Temperatura de Interpasse e de Pré-Aquecimento

As temperatura de interpasse e pré-aquecimento são determinadas pelo código AWS. Estas dependem do material a ser soldado, do tipo do eletrodo e da espessura do material a ser soldado.

Conforme tabela 4.2 do AWS D1.1-86 (Structural Welding Code - Steel), tem-se que para a soldagem do materiais A-516, A-36 e A-106 com espessuras inferiores a 19 mm com eletrodos revestidos, não necessitam de nenhum pré-aquecimento e temperatura de interpasse desde que a temperatura do metal a ser soldado seja superior a 21°C. Caso o material a ser soldada esteja a uma temperatura inferior a 21°C deve-se elevar a sua temperatura a pelo menos 21°C. Portanto, deve-se garantir que o material a ser soldado tenha a temperatura mínima de 21°C.

23.4 - Número de Soldadores

O uso de mais de um soldador simultâneo na soldagem de um junta tem a função de reduzir as tensões residuais e deformações do equipamento devido a soldagem. No vaso de pressão em projeto, será utilizado apenas um soldador por vez em cada junta, já que:

- as juntas do bocais e reforços de aberturas de bocais são juntas com o comprimento pequeno, não sendo vantajoso o uso de mais de um soldador
- na junta longitudinal do casco cilíndrico, não se tem grande vantagem o uso de mais de um soldador
- nas juntas circunferenciais entre o casco e os tampos serão feito com o eixo do casco cilíndrico na horizontal. Se utilizasse mais de um soldador, haveria soldador fora da posição de soldagem plana, o que não é vantajoso.

23.5 - Seqüência de Deposição

Como já mostrado anteriormente, adotar-se-á o seguinte procedimento para seqüência de deposição:

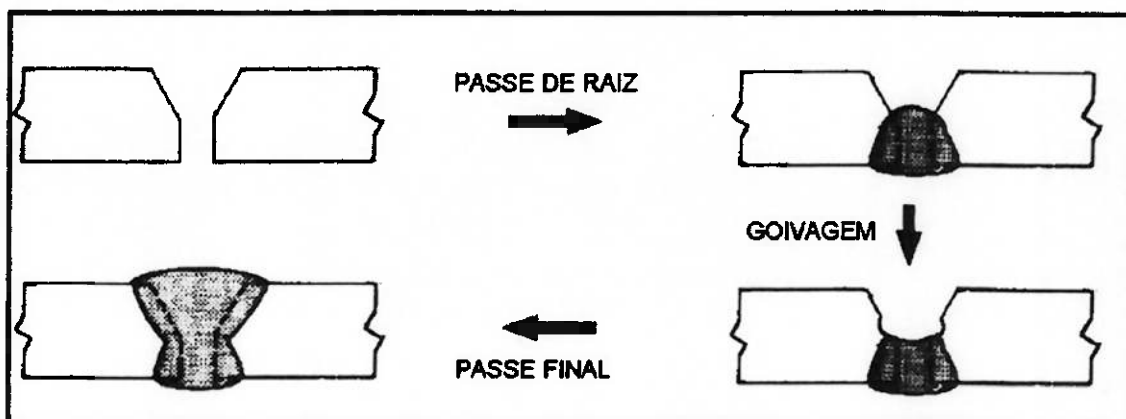


Fig. 23.5 - Seqüência de deposição da juntas de longitudinais e circunferenciais do casco cilíndrico

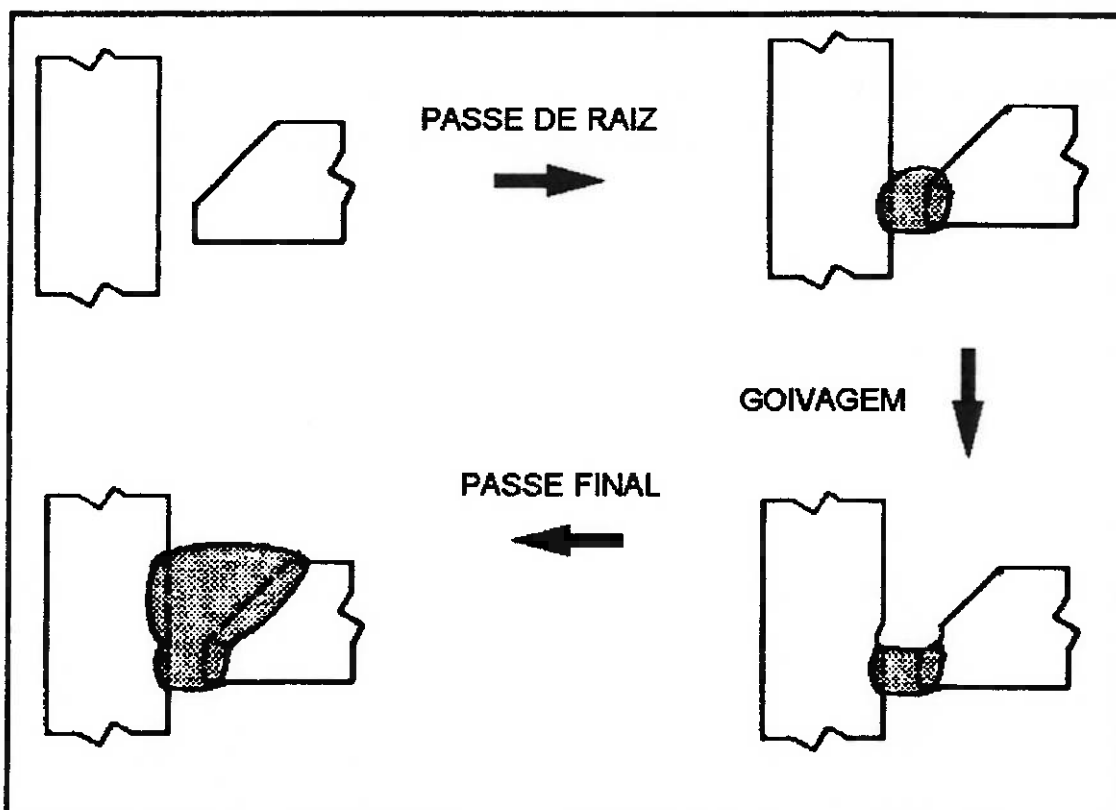


Fig. 23.5 - Seqüência de deposição das juntas de penetração total entre os bocais e a parede do vaso

24 - QUALIFICAÇÃO E INSPEÇÃO DA SOLDAGEM

24.1 - Qualificação

Tem-se qualificações para:

- soldadores
- procedimento de soldagem

24.1.1 - Qualificação do Soldador

Para a fabricação do vaso em projeto, necessitar-se-á de um soldador com qualificação para as seguintes condições

- **processo:** Eletrodo Revestido
- **posição de soldagem:** todas as posições, exceto sobre-cabeça
- **eletrodo:** E7018
- **material:** aço de médio carbono
- **espessura máxima do metal base:** 6,30 mm.

Conforme a ANSI/AWS D1.1^[14], tem-se:

- um soldador qualificado para soldagem de um determinado aço permitido por este código, então, este soldador estará qualificado para qualquer outro material permitido por este código.

- soldador qualificado para soldagem com Eletrodo Revestido com um eletrodo identificado na tabela abaixo, este estará qualificado a soldar com qualquer outro eletrodo do mesmo grupo.

Designação do Grupo	AWS Classificação de Eletrodo
F4	EXX15, EXX16, EXX18
F3	EXX10, EXX11
F2	EXX12, EXX13, EXX14
F1	EXX20, EXX24, EXX27, EXX28

- cada posição de soldagem exige um requalificação do soldador.

Então, deve-se ter um soldador qualificado nas seguintes condições:

Processo: Eletrodo Revestido - grupo F4

Material: qualificado para materiais permitidos pela ANSI/AWS D1.1

Posição: todas, exceto posição sobre-cabeça

24.1.2 - Qualificação do Procedimento de Soldagem

Conforme os parágrafos QW-402 a QW-410 (ASME, Seção IX^[19]), as variáveis do procedimento de soldagem pode ser dividido em variáveis relacionadas a:

- Juntas
- Metal base
- Metal de preenchimento
- Posição de soldagem
- Pré-aquecimento
- Tratamento térmico após a soldagem
- Características elétricas
- Técnica

Abaixo, estão as variáveis de soldagem podem ser divididos em: Essenciais, Essenciais Suplementares e Não-essenciais. As variáveis Não-essenciais são aquelas variáveis de soldagem que se alteradas não acarretam na necessidade de uma nova qualificação da junta soldadas. As variáveis Essenciais são aquelas variáveis que caso alteradas, necessita-se de requalificação de junta soldada. Apenas mudanças em mais de uma variável de soldagem Não-essencial torna necessário uma nova qualificação das juntas soldadas.

Abaixo, estão relacionadas as principais variáveis Essenciais:

- Alteração na espessura do metal base
- Diminuição em mais de 100°F na temperatura de pré-aquecimento
- Alteração na temperatura de tratamento térmico pós-soldagem (PWHT)

As principais variáveis Essenciais Suplementares são:

- Mudança no "Group Number" do material base
- Mudança em mais de ¼" no diâmetro da alma do eletrodo
- Mudança da classe AWS do eletrodo
- Mudança na posição de soldagem
- Aumento em mais de 100°F na temperatura de pré-aquecimento
- Aumento no insumo de calor na soldagem
- Mudança corrente elétrica ou polaridade

Conforme o ASME, Seção IX, quando a necessidade de qualificação de um novo procedimento de soldagem, deverão ser feitos os seguintes ensaios destrutivos para testes:

- ensaio de tração
- ensaio de dobramento

O teste de impacto (Charpy V-notch) só é necessário para determinados casos, como por exemplo, utilização do vaso de pressão em baixas temperaturas.

24.2 - Inspeção

As inspeções servem para certificar de que durante a qualificação e soldagem do equipamento foi utilizado equipamento de soldagem adequado, mão-de-obra qualificada (soldador, operador de solda e ponteador), material e de que todas as juntas soldadas estão qualificadas conforme determinado código, no nosso caso código AWS. Conforme a AWS, devem ser feitas as seguintes inspeções:

- de material
- do procedimento de soldagem
- do equipamento de soldagem
- de soldador, operador de solda e ponteador
- inspeção dos chanfros (Capítulo 18)
- inspeção de alinhamento das peças a serem soldadas (Capítulo 18)
- inspeção das juntas soldadas

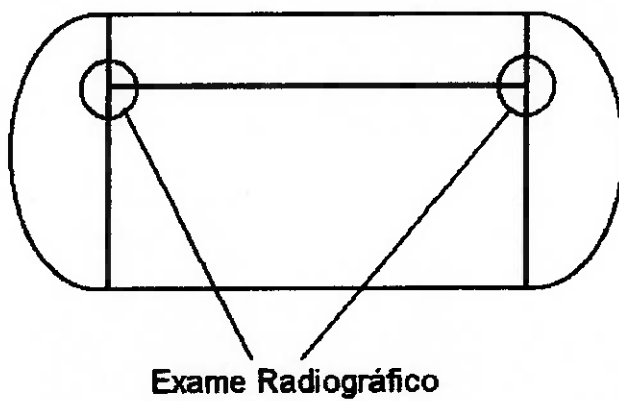
Na inspeção de material, deve-se verificar se todos os materiais utilizados estão conforme os requerimentos do Código AWS e os requerimentos conforme o código ASME e ASTM de materiais.

Na inspeção do procedimento de soldagem, verifica-se se os procedimentos adotados foram pré-qualificados, se utilizou soldador (ou operador de solda, ou ponteador) com qualificação compatível com as exigências do processo.

24.2.1 - Inspeção das Juntas Soldadas

Conforme determinado anteriormente, as juntas longitudinais e circunferenciais devem ser submetidos a inspeção radiográfica por pontos.

Pelo parágrafo UW-52 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), a inspeção por pontos é feita com o exame de pontos a cada 15,2 m (50 pés). Como o vaso possui apenas 1950 mm de altura e 700 mm de diâmetro, só se necessita examinar um ponto em cada uma das duas juntas circunferenciais e um ponto na junta longitudinal do casco cilíndrico. Então, fará duas inspeções radiográficas nas duas regiões em que a junta longitudinal encontra com as juntas circunferenciais (figura abaixo). Desta forma, pode-se inspecionar três juntas com dois exames radiográficos e, ainda, faz-se a inspeção do ponto crítico de encontro entre duas juntas soldadas.



Conforme já visto no Capítulo 5, as demais juntas não requerem exame radiográfico conforme o parágrafo UW-2 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]).

25 - NÍVEL DE ACEITAÇÃO DE DEFEITOS

Os níveis de aceitação de feitos são estipulados por normas conforme o eletrodo utilizado, processo de soldagem utilizado e material a ser soldado.

Os principais defeitos que podem ser encontrados são:

- porosidades e inclusões
- falta de penetração
- mordeduras e superposição
- cordão com mau acabamento
 - largura do cordão irregular
 - ondulação irregular do cordão
 - cordão convexo
 - cordão côncavo
- trincas no metal depositado e no metal base

25.1 - Inspeção Radiográfica

O nível de aceitação de defeitos em inspeção radiográfica é determinada pela ASME IX^[19] (Welding and Brazing Qualifications).

Conforme a ASME, tem-se para exames radiográficos as seguintes definições:

• **Indicação linear** - trinca, fusão incompleta, penetração inadequada e escória são representadas na radiografia com indicações lineares quando o comprimento é três vezes maior que a sua largura

• **Indicação arredondadas** - porosidade e inclusões são representados na radiografia como indicações arredondadas quando o comprimento é igual ou menor que três vezes a largura. Esta indicações podem ser circulares, elipsoidais ou de formato irregular; podem possuir prolongamentos; e podem variar na densidade.

Conforme a ASME IX^[19], é inaceitável qualquer imperfeição que exceder os seguintes limites:

- **Indicações lineares**
 - qualquer tipo de trinca ou zona de fusão ou penetração incompleta
 - qualquer inclusão alongada de escória que possuir comprimento maior que:
 - 1/8" para espessura do metal base maior que 3/8", inclusive
 - 1/2" para espessura do metal base entre 3/8" e 2¼", inclusive
 - 3/4" para espessura do metal base maior 2¼"
 - qualquer grupo de inclusões de escória em linha que tem um comprimento somado maior que espessura do metal base em um

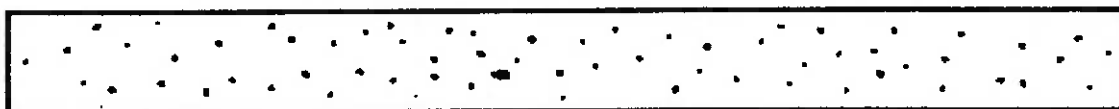
comprimento de 12 vezes a espessura, exceto se a distância entre sucessivas imperfeições excede $6L$, onde L é o comprimento da maior imperfeição do grupo

- Indicações arredondadas

- a máxima dimensão permissível para indicações circulares é de 20% da espessura do metal base ou $1/8''$
- para solda em materiais com espessura menor que $1/8''$, o número máximo de indicações arredondadas deverá ser de 12 em $6''$ de comprimento de solda. É admissível proporcionalmente um número menor de indicações circulares em soldas com menos de $6''$ de comprimento.
- para soldas em materiais com $1/8''$ ou mais de espessura, as figuras que seguem abaixo.



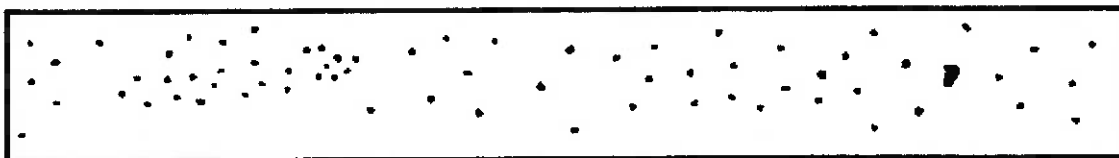
Quantidade e tamanho permissível em $6''$ de comprimento de solda
para espessura de $1/8''$ a $1/4''$



Quantidade e tamanho permissível em $6''$ de comprimento de solda
para espessura de $1/4''$ a $1/2''$



Quantidade e tamanho permissível em $6''$ de comprimento de solda
para espessura de $1/2''$ a $1''$



Quantidade e tamanho permissível em $6''$ de comprimento de solda
para espessura acima de $1''$

20.2 - Inspeção com Líquido Penetrante

O nível de aceitação de defeitos em inspeção com líquido penetrante é determinada pela ASME IX (Welding and Brazing Qualifications).

Conforme o parágrafo QW-194 do ASME IX, tem-se para exames com líquido penetrante as seguintes definições:

- **Indicações relevantes** - indicações o maior comprimento maior que 1/16"
- **Indicação linear** - indicação que possui o comprimento três vezes maior que a sua largura
- **Indicação arredondadas** - indicação circular ou elíptico com o comprimento igual ou menor que três vezes a largura

Segundo o ASME, é inadmissível as seguintes indicações e defeitos:

- indicações lineares relevantes
- indicações relevantes maiores que 3/16"
- quatro ou mais indicações relevantes em linha, separados por 1/16" ou menos

20.3 - Inspeção Visual

O ASME, Seção IX^[19] não estabelece critério e nível de aceitação de defeitos para inspeção visual de solda. Na inspeção visual, é pode-se detectar os seguintes defeitos:

- mordeduras
- superposição
- cordão com mau acabamento
 - largura do cordão irregular
 - ondulação irregular do cordão
 - cordão convexo
 - cordão côncavo

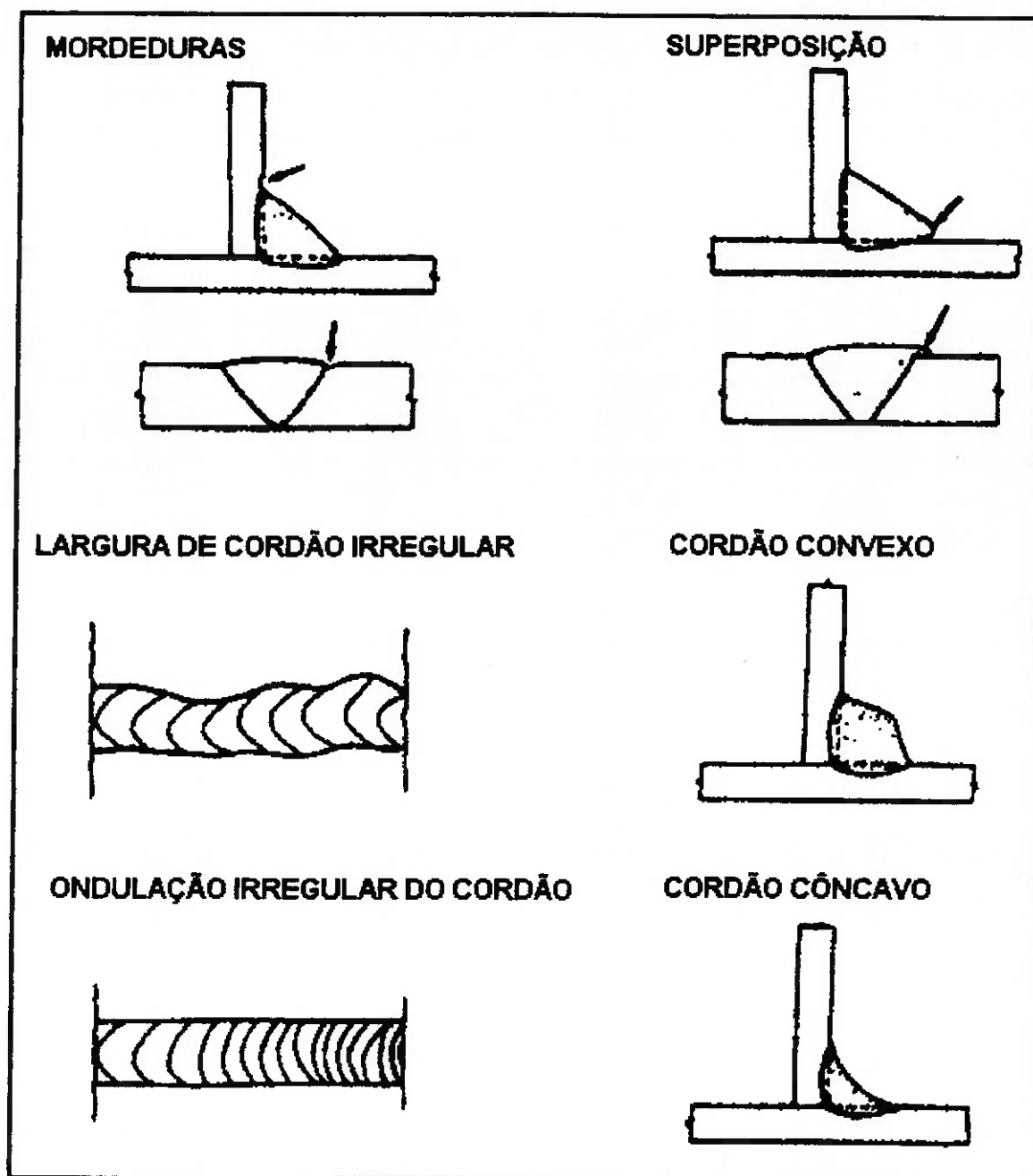


Fig. 20.3.1 - Principais defeitos possíveis de serem detectados visualmente

26 - ANÁLISE DA REGIÃO DE TRANSIÇÃO ENTRE O TAMPO E O CASCO CILÍNDRICO

Para análise das tensões e deformações no casco cilíndrico e tampo elipsoidal 2:1 próximo a região de transição entre o tampo e o casco foi utilizado o Método de Elementos Finitos. O programa utilizado para a análise de elementos finito foi o SAP90 na versão 5.04. Os modelos utilizados e os resultados do M.E.F. estão todos mostrados no Apêndice VI.

Foi analisado o tampo elipsoidal e o casco cilíndrico separadamente, como sendo estruturas diferentes, sob carregamento de pressão interna. E, então, fez-se a análise com o tampo elipsoidal e o casco cilíndrico interligados como uma estrutura única.

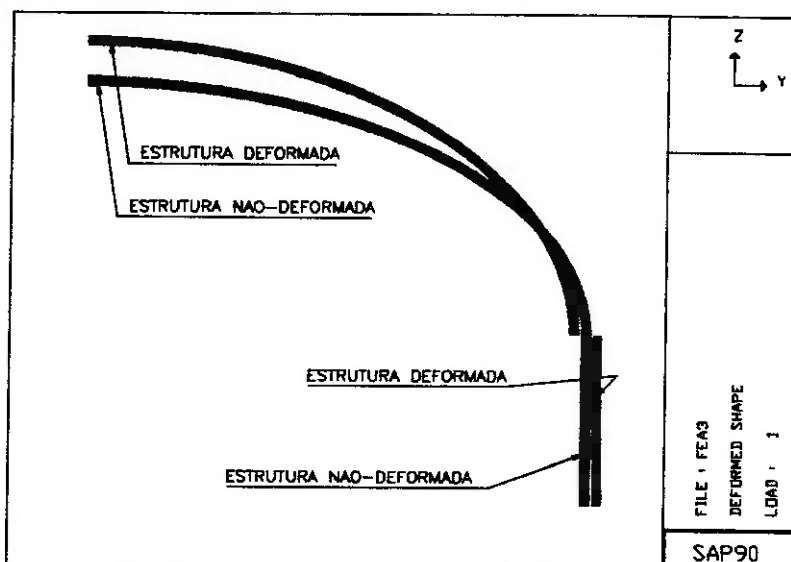


Fig. 26.1 - Estrutura deformada do tampo (sem a saia) e do casco com a saia do tampo
Casco e tampo são estruturas independentes

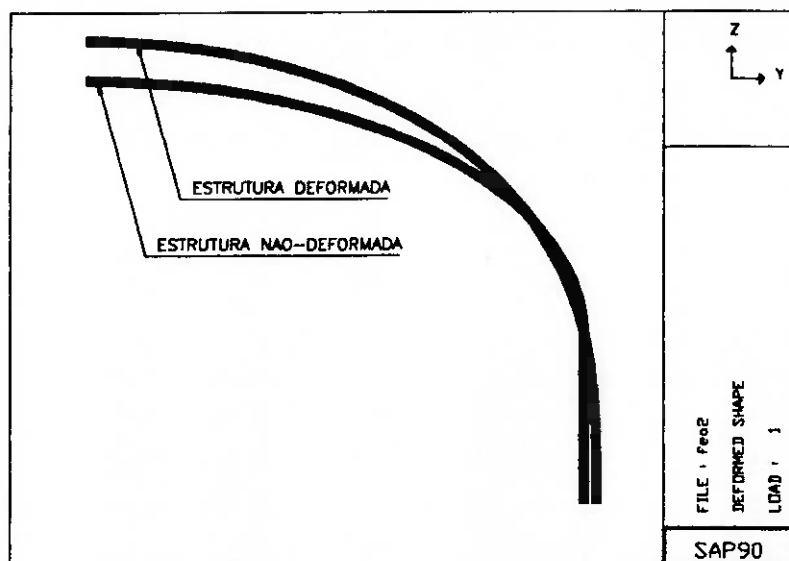


Fig. 26.2 - Estrutura deformada do tampo e do casco sob pressão interna.
Casco e tampo estão interligados (soldados).

Pela figura 26.1, verifica-se que o tampo sem a saia sob pressão interna tem a tendência de se contrair, pois a tendência de se expandir axialmente bem maior que a tendência de se expandir radialmente devido a pressão interna. Enquanto que a saia do tampo e o casco cilíndrico se expande radialmente por igual em todo o comprimento.

Esta diferença na deformação radial da parte curva do tampo em relação a deformação radial do casco e da saia do tampo gera concentrações de tensão na transição do tampo com o casco cilíndrico (figura 26.3).

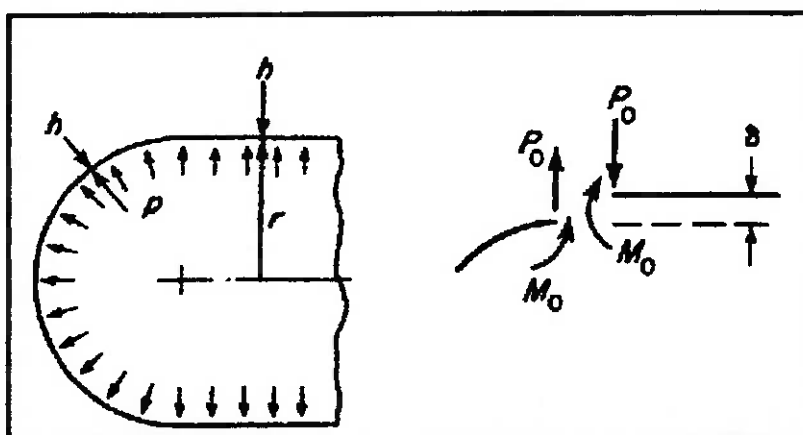


Fig. 26.3 - Carregamentos internos devido ao diferencial da tendência de deformação do casco e tampos.

Fazendo o levantamento das tensões circunferenciais e longitudinais no diâmetro médio do casco da Linha Tangente (fim da curvatura do tampo e início da saia do tampo) até o fim do casco cilíndrico no modelo adotado, tem-se:

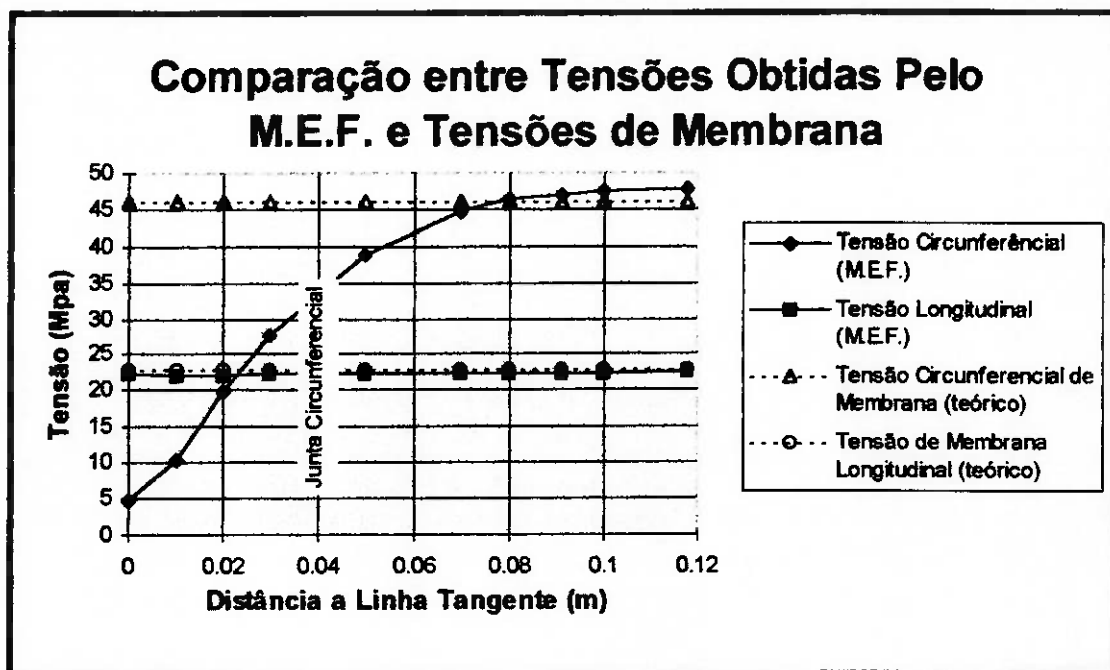


Fig. 27.6 - Gráfico da tensões no casco cilíndrico para pressão interna de 0,7357 MPa (pressão de teste hidrostático)

Verifica-se que a tensão longitudinal do casco cilíndrico no diâmetro médio obtido pelo Método de Elementos Finito (M.E.F.) se aproxima muito da tensão teórica de membrana. Nota-se que a tensão circunferencial obtida pelo M.E.F. aumenta conforme se afasta da Linha Tangente (fim da curvatura do tampo e início da saia do tampo); pois como visto na figura 26.2, o casco cilíndrico e a saia do tampo tem as suas expansões radiais retidas pela parte elipsoidal do tampo, reduzindo assim as tensões circunferenciais de tração. Conforme se afasta da Linha de Tangente, o efeito da transição entre o tampo e o casco se atenua, aumentando assim a tensão circunferencial e tendendo ao valor de tensão de membrana circunferencial ao longe.

27 - ANÁLISE DE FRATURA FRÁGIL

O código ASME considera inadmissível a presença de trincas na juntas. Caso seja detectado alguma trinca em exames radiográfico ou exame por líquido penetrante, esta junta deverá ser reparada. Porém conforme o ASME, até determinadas dimensões, são aceitos inclusões de escória e porosidades que podem nuclear trincas, que poderão ocasionar numa fratura frágil do vaso de pressão.

Neste capítulo, é estudado o efeito de trincas axissimétricas de dimensões diferentes na junta circunferencial do casco na sua parte externa (figura abaixo). Foi calculado o fator de concentração de tensão K_t com o auxílio do Método de Elementos Finitos (M.E.F.).

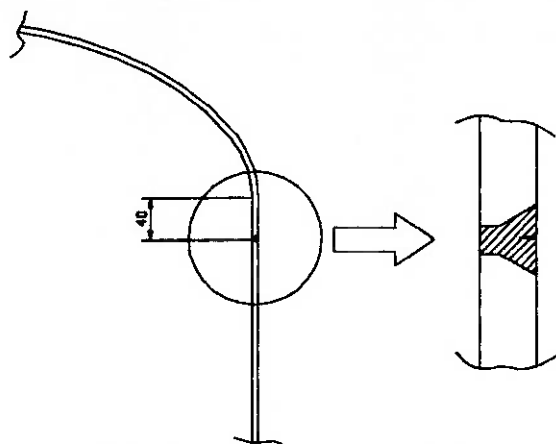


Fig. 27.1 - Trinca axissimétrica no lado externo da junta circunferencial do casco com o tampo

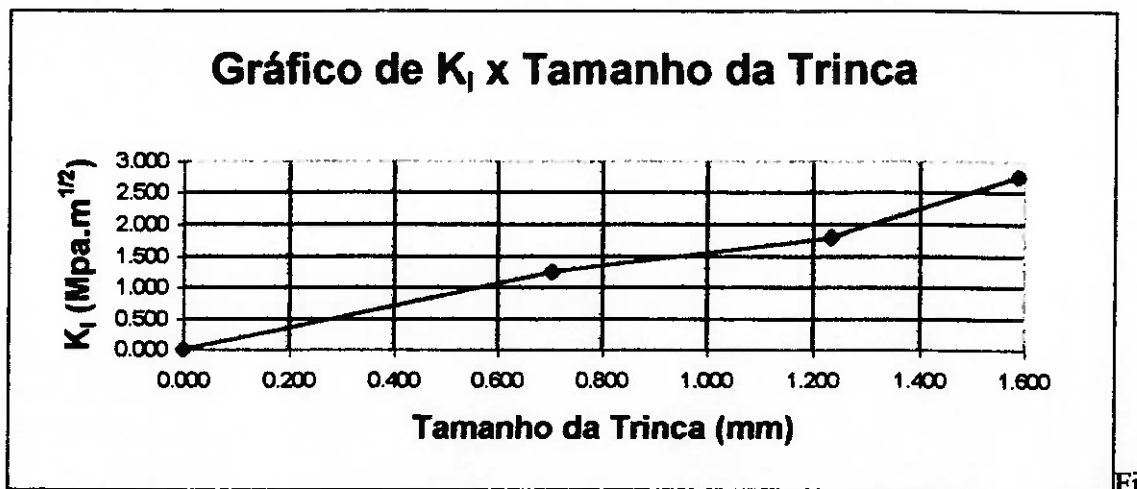
O estudo foi feito para a condição do teste hidrostático (pressão interna de 0,7357 MPa e temperatura entre 10°C e 49°C).

A espessura utilizada no modelo deve-se levar em consideração a possível redução na espessura na conformação do casco e dos tampos. Como já visto anteriormente, a redução de espessura na conformação do tampo e do casco cilíndrico não ultrapassa o valor de 10% da espessura inicial. Portanto, adotou-se uma espessura do casco e do tampo no modelo de 5,7 mm (6,3 mm - 10% x 6,3 mm).

O Método de Elementos Finitos (M.E.F.) foi feito com o auxílio do programa SAP90 Versão 5.04. No Apêndice VI, estão mostrados os modelos utilizados no M.E.F. e os resultados obtidos para diferentes dimensões de trincas.

No Apêndice VII, estão calculado o fator de concentração de tensão K_t para diferentes dimensões de trincas a partir dos resultados obtidos no M.E.F.

Tamanho da Trinca (mm)	Fator K_t pelo M.E.F. (MPa.m ^{1/2})
1,588	2,80
1,235	1,80
0,705	1,20



g. 27.2 - Gráfico do fator de concentração de tensão K_I em função do tamanho da trinca

A verificação da ocorrência ou não de uma fratura frágil devido a propagação da trinca axissimétrica no junta circunferencial pode ser feita através da comparação do fator de concentração de tensão K_I com o fator de concentração crítico K_{IC} do material depositado na junta soldada ou com o K_{IC} do material do casco cilíndrico (A-516 grau 60).

O fator K_{IC} de um determinado material pode ser estimado a partir dos valores de teste de impacto deste material. Conforme Barson^[20], tem-se:

$$\left(\frac{K_{IC}}{\sigma_{ys}} \right)^2 = 5 \left(\frac{CVN}{\sigma_{ys}} - 0,05 \right)$$

Onde: K_{IC} - fator concentração de tensão crítica (ksi.in^{1/2})

σ_{ys} - tensão de escoamento do material (ksi)

CVN - energia absorvida no ensaio Charpy V-notch (lb.in)

Conforme a AWS^[20], o material depositado na soldagem com o eletrodo revestido E7018 requer no ensaio de impacto (Charpy V-notch) no mínimo 27J a temperatura de -29°C (20 ft.lb a -20°F). Conforme o parágrafo UW-84 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1]), o material SA-516 grau 60 requer, no ensaio de impacto (Charpy V-Notch) no mínimo 20J (15 ft.lb) a temperatura de operação mínima (0°C ou 32°F).

	Charpy V-notch	Tensão de Escoamento (mín.)	K_{IC}
Material depositado (E7018)	20 ft.lb a -20°F (27J a -29°C)	60 ksi (420 MPa)	71,4 ksi.in ^{1/2} a -20°F (78,5 MPa.m ^{1/2} a -29°C)
SA-516 grau 60	15 ft.lb a 32°C (20J a 0°C)	32 ksi (220 MPa)	46,3 ksi.in ^{1/2} a 32°F (50,9 MPa.m ^{1/2} a 0°C)

Para que ocorrer fratura frágil, deve-se ter o valor de K_I maior que o valor de K_{IC} do material, sendo que K_{IC} deve ser relativo a temperatura mínima de operação do vaso. O valor de K_{IC} do material depositado levantado na tabela acima é referente a temperatura de -29°C, temperatura inferior a temperatura mínima de operação do

Tanque de Descarga Contínua que é de 0°C. Portanto, o valor de K_{IC} do material depositado com o eletrodo E7018 a temperatura de 0°C é certamente maior que 78,5 MPa.m^{1/2}, valor referente a -29°C.

Tamanho da Trinca (mm)	K_I pelo M.E.F. (MPa.m ^{1/2})	K_{IC}	
		Mat. Depositado a -29°C (MPa.m ^{1/2})	SA-516 gr. 60 a 0°C (MPa.m ^{1/2})
1,588	2,80	78,5	50,9
1,235	1,80	78,5	50,9
0,705	1,20	78,5	50,9

Comparando diretamente os valores de K_{IC} da tabela com os valores de K_I obtidos para diferentes dimensões de trincas, verifica-se que o fator K_I é bem menor que o fator K_{IC} .

Portanto, com uma trinca de 1,588 mm, o vaso está ainda muito longe da ocorrência de uma fratura frágil nas condições de teste hidrostático. Isto se deve ao código ASME dimensionar vasos de pressão sob o critério conhecido como "Leak Before Break". Ou seja, os vasos projetados conforme o ASME são projetados para que ocorra vazamento antes que o vaso rompa, não ocorrendo fratura frágil do vaso. Isto permite que a trinca possa ser reparada antes que ocorra o rompimento total do vaso e conseqüente perda total do vaso.

28 - TESTE HIDROSTÁTICO

O teste hidrostático serve para testar a estanqueidade do vaso de pressão e verificar a resistência das juntas soldadas. E ainda, o teste hidrostático serve ainda para aliviar a tensões internas devido a soldagem.

O código ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1] determina que a temperatura do teste hidrostático que:

- toda a fabricação deve estar terminada, exceto operações que não necessitem ser submetidos ao teste, como acabamento de soldagem e usinagem superficial estético que não alterem a espessura do material base.

- todas o exames devem ter sido feitos, excetos aqueles que devam ser feitos após o teste hidrostático.

- a temperatura de teste recomendada deve ser pelo menos 30°F (°C) acima da Mínima Temperatura de Projeto do Metal e não maior que 120°F (49°C)

A mínima temperatura para os materiais do vaso é de cerca de 20°F (-7°C) conforme a UCS-66. Então, recomenda-se que a temperatura de teste seja maior que 10°C (50°F) e menor que 49°C (120°C).

Em relação ao teste hidrostático, a norma da Petrobrás diz, basicamente:

- utilizar de no mínimo três manômetros no teste hidrostático. Sendo, que um dos manômetro deve ser do tipo registrador e pelo menos um dos manômetros devem estar em local a uma distância segura do equipamento e visível ao inspetor durante todo o tempo da pressurização.

- o teste deve ser realizado depois de decorrido 48 horas após a última soldagem de qualquer parte submetida a pressão ou partes da sustentação do vaso.

- o tempo mínimo de pressurização a pressão de teste deve ser de pelo menos de 30 minutos antes de proceder com o exame visual.

- a temperatura da água deve ser maior que 15°C ou estar compatível com a temperatura de projeto para equipamentos operando a baixa temperatura.

Conforme o ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1], a pressão do teste pode ser calculado da seguinte forma:

$$P_{HIDROSTATICO} = 1,5 \times P_{PROJETO} \left(\frac{S_{HIDROSTATICO}}{S_{PROJETO}} \right)$$

Onde: $P_{HIDROSTATICO}$ - pressão no teste hidrostático

$P_{PROJETO}$ - pressão de projeto

$S_{HIDROSTATICO}$ - tensão admissível do material a temp. do teste

$S_{PROJETO}$ - tensão admissível do material a temp. de projeto

Para o vaso em projeto, tem-se:

$$P_{PROJETO} = 490,3 \text{ kPa (71,1 psi)}$$

Material	Tensão Admissível, 10°C a 49°C	Tensão Admissível, 158°C	Pressão de Teste
SA-516 gr. 60	103,4 MPa	103,4 MPa	0,7357 MPa (7,5 kgf/cm ²)
SA-106 gr. B	103,4 MPa	103,4 MPa	0,7357 MPa (7,5 kgf/cm ²)
SA-105	120,7 MPa	120,7 MPa	0,7357 MPa (7,5 kgf/cm ²)
SA-193 B7	172,4 MPa	172,4 MPa	0,7357 MPa (7,5 kgf/cm ²)

Portanto, será feito o teste a uma pressão mínima de 735,7 kPa (7,5 kgf/cm²) e a uma temperatura entre 10°C e 49°C.

Deve-se seguir o seguinte esquema no teste hidrostático:

- elevar a pressão até 50% da pressão de teste
- proceder com a inspeção do equipamento
- aumentar gradativamente a pressão até atingir a pressão de teste
- permanecer na pressão de teste no mínimo por 30 minutos.
- por motivo de segurança, nenhuma inspeção deve ser feita com o vaso na pressão de teste. Deve-se manter distância segura com o vaso nesta pressão.
- abaixar a pressão até 65% de pressão de teste e executar uma nove inspeção
- reduzir a pressão gradativamente até a pressão atmosférica

29 - ACABAMENTO E PINTURA

O acabamento e pintura deve se feito após finalizado toda a fabricação e testes, exames e inspeções. Pois, durante os testes e exames é importante o acesso e a visualização dos cordões de soldas.

Após a finalização da fabricação e testes, a superfície deve ser limpa de impurezas, oleosidade, graxas e oxidação para a pintura de uma demão de pintura de fundo ("primer") e duas com uma tinta de acabamento.

A limpeza pode ser feita com o jateamento de areia ou de granalha de aço. O uso de granalha de ferro tem um custo maior, e, por isso, tem-se sempre a preocupação de reutilização das granalhas de aço. O uso de areia na limpeza de superfícies tem um custo bem menor e a areia pode ser reaproveitada, embora seja comum o não reaproveitamento da areia.

O aço, depois do jateamento, torna-se altamente suscetível ao ataque corrosivo da atmosfera e, portanto, é não só recomendável mas indispensável que a aplicação da primeira demão de "primer" seja feita logo após alcançado o grau de jateamento pré-estabelecido, ao contrário será perdido todo o objetivo da custosa operação de jateamento.

Para melhor caracterização dos diferentes tratamentos utilizados na preparação de superfícies metálicas, para aplicação de revestimento, é prática comum adotar-se as normas do "Steel Structure Painting Council" (SSPC) ou da "Swedish Standards Institution" (SSI).

Conforme o SSPC e o SSI, tem-se:

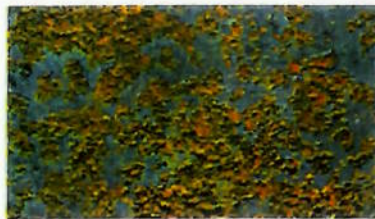
SIS	SSPC	
	SSPC-SP 1	Limpeza com solventes
St 2	SSPC-SP 2	Lipeza manual
St 3	SSPC-SP3	Limpeza com ferramenta mecanizada
	SSPC-SP 4	Limpeza com chama
Sa 3	SSPC-SP 5	Jateamento ao metal branco
Sa 2	SSPC-SP 6	Jateamento comercial
Sa 1	SSPC-SP 7	Jato de limpeza ligeira ou leve
	SSPC-SP 8	Decapagem
	SSPC-SP 9	Exposição ao tempo seguida de jateamento
Sa 2½	SSPC-SP 10	Jato quase branco

Nas páginas seguintes, estão ilustrados os padrões de acabamento superficial. O padrão de acabamento varia conforme o estado de corrosão do material antes de ser tratado superficialmente.



A

Graus de corrosão



B

St2

Limpeza mecânica



St3

Limpeza mecânica



Sa1

Jateamento ligeiro

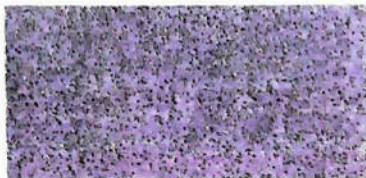


Sa2

Jateamento comercial

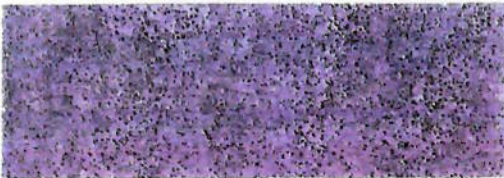


Sa2½

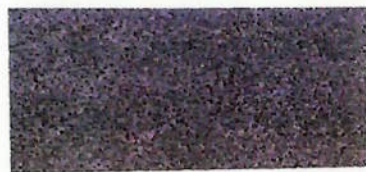


Jateamento ao metal
quase branco

Sa2½

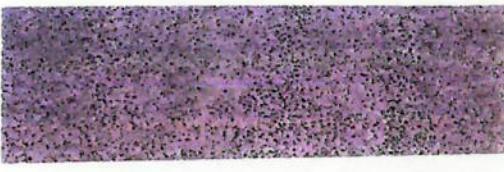


a3



Jateamento ao metal
branco

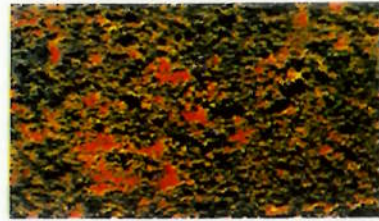
Sa3





C

St2

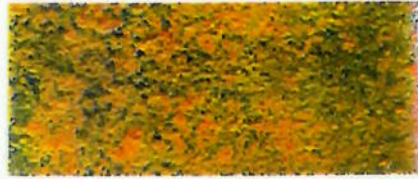


D

St2



St3



St3



Sa1



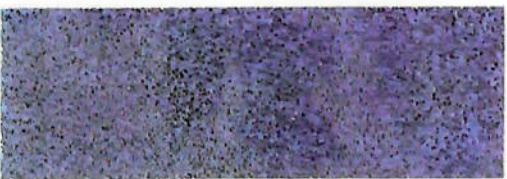
Sa1



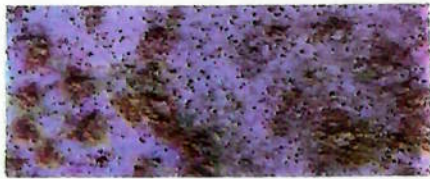
Sa2



Sa2



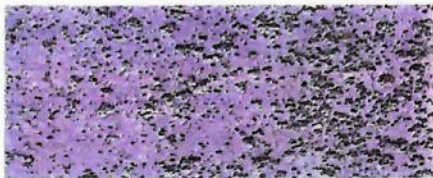
Sa2½



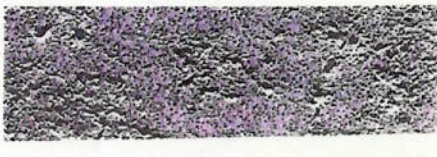
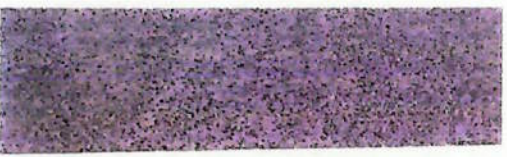
Sa2½



Sa3



Sa3



Conforme as normas suecas SIS-055900, pode-se apresentar o padrão de jateamento aconselhado para cada sistema de pintura:

Shop primers	Padrão Sa 3 ou Sa 2½
Silicato inorgânico de zinco	
Epóxi rico em zinco	
Poliuretana	
Epóxi catalizado	
Coal tar epóxi	
Vinílico	
Borracha clorada	Padrão Sa 2½ ou Sa 2
Éster epóxi	
Éster de poliuretana	
Alquídico	Padrão Sa 2 ou St 3
Óleo-resinoso	
Betuminoso	Padrão St 3 ou Sa 1

Em geral, utiliza-se o padrão Sa 2 para tratamento superficial para pinturas temporárias (por exemplo, pintura para peça de estoque a fim de evitar corrosão). E se utiliza o padrão Sa 2½ para tratamento superficial para pintura permanente. Então, utilizar-se-á o padrão Sa 2½ para tratamento superficial do vaso de pressão em projeto.

Basicamente, pode ser encontrado no mercado "primer" com as seguintes bases:

- Zarcão
- Cromatos de zinco
- Tetróxicrimato de zinco
- Pó de zinco
- Pó de alumínio
- Óxido de ferro

Os tipo mais comuns e mais utilizados são o "primer" a base de zarcão e a base de óxido de ferro. O "primer" a base de zarcão vem caindo em desuso devido a sua alta toxicidade (cancerígeno) e seu alto custo de aplicação. Utilizar-se-á o "primer" a base de óxido de ferro, que possui uma coloração avermelhada e tem um custo bem reduzido em comparação aos demais tipos de "primer".

Após a pintura do vaso com "primer", deve-se ser feito a pintura final e estética em duas demãos. Existem vários tipo de tintas para acabamento final, dentre elas, destacam:

- Tintas alquídicas
- Tintas a base de epóxi
- Tintas a base de poliuretano

A tintas do tipo alquídicas tem uma resistências menor a intempéries, seu uso é recomendado em ambientes menos agressivos como em zona rural ou em lugares cobertos. As tintas a base de epóxi são mais recomendadas para usos em ambientes mais agressivos como em indústrias químicas e petroquímicas. As tintas a base de poliuretano

destinas-se a uso em temperaturas mais elevadas indicadas com temperaturas de serviço contínuas acima de 90°C ou com picos de temperatura de cerca de 120°C.

Como a temperatura interna do vaso de pressão é cerca de 148°C, já pode ser considerado a necessidade de uma tinta destinada a uso em altas temperaturas. Seleciona-se, então, uma tinta a base de poliuretano.

30 - CONCLUSÕES

Foi feito neste trabalho o projeto completo do Tanque de Descarga Contínua. Utilizou-se para isto, o código da American Society of Mechanics Engineers (ASME), código mais utilizado e difundido para projetos de vasos de pressão e caldeiras. Verificou-se que o código ASME se utiliza de outros padrões como o ANSI (American National Standards Institute padrão para flanges, dutos e conexões) e o ASTM (American Society of Testing and Materials, padrão para materiais e procedimentos de testes para materiais). Além do código ASME, utilizou-se as normas de projetos, fabricação e montagem para vasos de pressão da Petrobrás.

Além do projeto do Tanque, foi levantado os procedimentos para fabricação (conformação de casco e tampo, furação das aberturas de bocais), montagem (procedimento, parâmetros de soldagem), teste hidrostático, inspeção (visual, radiográfico e com líquido penetrante) e acabamento final do Tanque de Descarga.

Na seleção do processo de soldagem, chegou-se a conclusão que em equipamentos soldados de pequenas dimensões de aço-carbono, o uso de Eletrodo Revestido é o processo mais recomendado devido ao seu baixo custo. Os demais processos (MIG, MAG, TIG e Arco Submerso) possuem um alto custo fixo de preparação de equipamento de soldagem que inviabiliza a sua utilização em equipamentos de dimensões reduzidas.

Na análise de suscetibilidade de trinca frágil a partir de uma trinca inserida na junta circunferencial entre o casco e um dos tampos, verificou-se que o Tanque de Descarga projetado neste trabalho está dentro do critério de projeto conhecido como "Leak Before Braking". Os vasos projetados sob este critério de projeto possuem a característica de vazam antes de romper por fratura frágil, permitindo o reparo da trinca antes da ruptura total do vaso.

31 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WYLEN, Gordon J.V.; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da Termodinâmica Clássica.** Edgard Blücher, São Paulo, 1993.
2. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICS ENGINEERS. **Boiler and pressure vessel code.** New York, 1994. Seção VIII, Divisão 1.
3. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICS ENGINEERS. **Pipe flanges and flanged fittings.** New York, 1991. ASME/ANSI B16.5.
4. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICS ENGINEERS. **Forged fittings, socket-welding and threaded.** New York, 1991. ASME/ANSI B16.11.
5. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICS ENGINEERS. **Buttwelding ends.** New York, 1991. ASME/ANSI B16.25.
6. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICS ENGINEERS. **Wrought steel buttwelding short radius elbows and returns.** New York, 1991. ASME/ANSI B16.28.
7. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICS ENGINEERS. **Welded and seamless wrought steel pipe.** New York, 1991. ASME/ANSI B36.10.
8. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICS ENGINEERS. **Ferrous materials.** New York, 1993. Seção II, Parte A
9. PETROBRÁS. **Projeto de Vaso de Pressão.** São Paulo, s.d. N-253f
10. PETROBRÁS. **Apresentação de Projeto de Vaso de de Pressão.** São Paulo, s.d. N-266c
11. PETROBRÁS. **Fabricação de Vaso de Pressão.** São Paulo, s.d. N-268a
12. PETROBRÁS. **Montagem de Vasos de Pressão.** São Paulo, s.d. N-269a
13. BEDNAR, Henry H. **Pressure vessel design handbook.** Van Nostrand Reinhold, New York, 1985.
14. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICS ENGINEERS. **Materials Properties.** New York, 1993. Seção II, Parte D
15. USIMINAS. **Linha de Produtos.** Ipatinga, s.d.

17. AMERICAN WELDING SOCIETY. **Structural Welding Code - Steel.** Miami, 1986. D1.1
18. AMERICAN WELDING SOCIETY. **Specification for Covered Carbon Steel Arc Welding Electrodes.** Miami, 1981. A5.1
19. AMERICAN SOCIETY OF MECHANICS ENGINEERS. **Welding and Brazing Qualifications.** New York, 1995. Seção IX.
20. BARSOM, J.M.; ROLFE, S.T. **Fracture and Fatigue Control Structure.** Prentice-Hall, Englewood Cliffs, s.d.
21. OKUMURA, Toshie; TANIGUSHI, Célio. **Engenharia de Soldagem e Aplicações.** Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1982.
22. BROEK, DAVID. **Elementary Engineering Fracture Mechanics.** Martinus Nijhoff, Dordrecht, 1986.
23. CONFORJA. **Catálogo de Produtos.** Mauá, s.d.
24. SUMARÉ INDÚSTRIA QUÍMICA. **Introdução a Proteção Anticorrosiva.** São Paulo, s.d.
25. HARVEY, John F. **Theory and design of pressure vessels.** Van Nostrand Reinhold, New York, 1980.
26. SPENCE, J.; TOOTH, A.S. **Pressure vessel design.** E & FN Spon. London, 1994
27. MOSS, Dennis R. **Pressure Vessel Design Manual.** Gulf Publishing, Houston, 1987.
28. CARY, Howard B. **Modern Welding Technology.** Prentice-Hall, Englewood Cliffs, s.d.

APÊNDICE I - DIMENSIONAMENTO DO CASCO CILÍNDRICO

Pressão interna: $P = 71,1 \text{ psi}$
Raio interno corroído: $R = 350 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 353 \text{ mm} = 13,8976 \text{ pol.}$
 (correção com sobre-espessura de corrosão)
Tensão adm. do material: $S = 15000 \text{ psi}$ (p/ SA-516 gr. 60 à 158°C)

Pelo parágrafo UG-27 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1]), tem-se para tensão circunferencial (juntas longitudinais):

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} + C$$

Onde: P - pressão interna de projeto
 R - raio interno do casco cilíndrico
 S - tensão admissível do material do casco cilíndrico
 E - eficiência de junta soldadas
 C - sobre-espessura de corrosão

Eficiência de junta soldada: $E = 0,85$

$$t_r = \frac{71,1 \times 13,8976}{15000 \times 0,85 - 0,6 \times 71,1} + 0,118 = 0,078 + 0,118 = 0,196 \text{ pol.}$$

Pelo parágrafo UG-27 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1]), tem-se para tensão longitudinal (juntas circunferenciais):

$$t = \frac{PR}{2SE + 0,4P} + C$$

Onde: P - pressão interna de projeto
 R - raio interno do casco cilíndrico
 S - tensão admissível do material do casco cilíndrico
 E - eficiência de junta soldadas
 C - sobre-espessura de corrosão

Eficiência de junta soldada: $E = 0,85$

$$t_r = \frac{71,1 \times 13,8976}{2 \times 15000 \times 0,85 + 0,4 \times 71,1} + 0,118 = 0,039 + 0,118 = 0,157 \text{ pol.}$$

Utiliza-se, então, a maior espessura requerida: $t_r = 4,98 \text{ mm} = 0,196 \text{ pol.}$

Pelo parágrafo UG-16 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1]), deve-se ter: $t_n \geq (3/32) \text{ pol.}$

$$t_n = 0,196 \text{ pol.} \geq \frac{3}{32} \text{ pol.} = 0,09375 \text{ pol.} \quad \Rightarrow \quad \text{OK!}$$

Resumindo:

Espessura mínima do casco cilíndrico: 4,98 mm = 0,196 pol.

APÊNDICE II - DIMENSIONAMENTO DOS TAMPOS ELIPSÓIDAI 2:1

Pressão interna: $P = 71,1 \text{ psi}$
Raio interno corroído: $R = 350 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 353 \text{ mm} = 13,8976 \text{ pol.}$
Tensão adm. do material: $S = 15000 \text{ psi}$ (p/ SA-516 gr. 60 à 158°C)
Eficiência de junta soldada: $E = 1,0$

Pelo parágrafo UG-32 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1]), tem-se para tampos elipsóidais 2:1:

$$t = \frac{PD}{2SE - 0,2P} + C$$

Onde: P - pressão interna de projeto
 D - diâmetro interno da saia do tampo (parte cilíndrica do tampo)
 S - tensão admissível do material do tampo elipsoidal
 E - eficiência de junta soldadas
 C - sobre-espessura de corrosão

$$t_r = \frac{71,1 \times 27,7953}{15000 \times 1,0 - 0,2 \times 71,1} + 0,118 = 0,066 + 0,118 = 0,184 \text{ pol.}$$

Para a saia do tampo, calcula-se pelo parágrafo UG-27 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1]), também utilizada no cálculo de espessura de parede de casco cilíndrico:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

$$t_r = \frac{71,1 \times 13,8976}{15000 \times 1,0 - 0,6 \times 71,1} + 0,118 = 0,066 + 0,118 = 0,184 \text{ pol.}$$

Adota-se, então, a maior espessura requerida: $t_r = 4,67 \text{ mm} = 0,184 \text{ pol.}$
 Pelo parágrafo UG-16 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1]), deve-se ter: $t_n \geq (3/32) \text{ pol.}$

$$t_n = 0,184 \text{ pol.} \geq \frac{3}{32} \text{ pol.} = 0,09375 \text{ pol.} \Rightarrow \text{OK!}$$

Resumindo:

Espessura mínima do casco cilíndrico: $4,67 \text{ mm} = 0,184 \text{ pol.}$

APÊNDICE III - DIMENSIONAMENTO DA BOCA DE VISITA

Para o cálculo da espessura requerida para o casco cilíndrico, necessita-se do diâmetro interno da boca de visita, porém o diâmetro interno varia com a espessura de parede. Como a espessura de parede é o que deseja-se obter com os cálculos, estimar-se-á o diâmetro interno igual ao diâmetro externo (406,4 mm). Esta aproximação pode ser considerado como boa já que o diâmetro interno é grande e, ainda, esta aproximação é a favor do coeficiente de segurança.

Pressão de projeto: 390,3 kPa (71,1 psi)
Material do pescoço da boca de visita: SA-516 gr. 60
Diâmetro nominal da boca de visita: 16,000 pol.

O cálculo para espessura do pescoço da Boca de Visita é através do mesmo método de calcular de um casco cilíndrico, já feito antes. Será utilizado nos cálculos um raio interno aproximado de 8 polegadas, o que na realidade é o raio externo.

Pressão interna: $P = 71,1 \text{ psi}$
Raio interno corroído: $R = 8 \text{ pol.} + 0,118 \text{ pol.} = 8,118 \text{ pol.}$
 (correção com sobre-espessura de corrosão)
Tensão adm. do material: $S = 15000 \text{ psi}$ (p/ SA-516 gr. 60 à 158°C)

Pelo parágrafo UG-27 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1]), tem-se para tensão circunferencial (juntas longitudinais):

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

Onde: P - pressão interna de projeto
 R - raio interno do casco cilíndrico
 S - tensão admissível do material do casco cilíndrico
 E - eficiência de junta soldadas

Eficiência de junta soldada: $E = 0,85$

$$t_r = \frac{71,1 \times 8,118}{15000 \times 0,85 - 0,6 \times 71,1} + 0,118 = 0,045 + 0,118 = 0,163 \text{ pol.}$$

Pelo parágrafo UG-27 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1]), tem-se para tensão longitudinal (juntas circunferenciais):

$$t = \frac{PR}{2SE + 0,4P}$$

Onde: P - pressão interna de projeto
 R - raio interno do casco cilíndrico
 S - tensão admissível do material do casco cilíndrico
 E - eficiência de junta soldadas

Eficiência de junta soldada: $E = 0,85$

$$t_r = \frac{71,1 \times 8,118}{2 \times 15000 \times 0,85 + 0,4 \times 71,1} + 0,118 = 0,022 + 0,118 = 0,140 \text{ pol.}$$

Adota-se, então, a maior espessura requerida: $t_r = 4,14 \text{ mm} = 0,140 \text{ pol.}$
 Pela UG-16 (ASME, Seção VIII, Divisão 1), deve-se ter: $t_n \geq (3/32) \text{ pol.}$

$$t_n = 0,140 \text{ pol.} \geq \frac{3}{32} \text{ pol.} = 0,09375 \text{ pol.} \quad \Rightarrow \quad \text{OK!}$$

Resumindo:

Espessura mín. do pescoço da Boca de Visita: $4,14 \text{ mm} = 0,140 \text{ pol.}$

APÊNDICE IV - VERIFICAÇÃO DAS ESPESSURAS DOS BOCAIS

Pelo parágrafo UG-45 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[1]), verifica-se se a espessura do bocal é suficiente. A espessura do pescoço dos bocais e outras conexões, inclusive bocas de visitas, não deve ser menor que:

$$t_r = \frac{PR}{SE - 0,6P} + C$$

Onde: P - pressão de projeto

R - raio interno do bocal

S - tensão admissível do bocal

E - eficiência de junta (se o bocal for sem costura, E=1,0)

C - sobre-espessura de corrosão

E ainda, a espessura do pescoço dos bocais (exceto bocas de visitas) também não deve ser menor que as seguintes espessuras:

- t_{rv} - espessura mínima requerida ao casco ou ao tampo com E=1,0, dependendo de onde está localizado o bocal:

p/ o casco:

$$t_{rv} = \frac{71,1 \times 13,8976}{15000 \times 0,1 - 0,6 \times 71,1} + 0,118 = 0,066 + 0,118 = 0,184 \text{ pol.}$$

p/ o tampo:

$$t_{rv} = \frac{71,1 \times 27,7953}{2 \times 15000 \times 1,0 - 0,2 \times 71,1} + 0,118 = 0,066 + 0,118 = 0,184 \text{ pol.}$$

- t_p - espessura padrão mínima

$$t_p = (\text{menor espessura padrao}) \times 0,85 + C$$

Bocal A (saída de vapor)

Diâmetro nominal: 4 pol.
Diâmetro externo: 114,3 mm^(*) = 4,500 pol.
Espessura de parede: $t_n = 6,02 \text{ mm}^{(*)} = 0,237 \text{ pol.}$
 (Schedule 40)
Localização: tempo superior
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ASME/ANSI B36.10^[7]

$$R_n = \frac{D_o - 2 \times t_n}{2} + C = \frac{4,500 - 2 \times 0,237}{2} + 0,118 = 2,131 \text{ pol.}$$

$$t_m = \frac{71,1 \times 2,131}{15000 \times 1,0 - 0,6 \times 71,1} + 0,118 = 0,010 + 0,118 = 0,128 \text{ pol.}$$

$$t_p = 0,875 \times 0,083 + 0,118 = 0,073 + 0,118 = 0,191 \text{ pol.}$$

t_n	t_m	t_{rv}	t_p	$t_{\min}$ (menor de t_m , t_{rv} e t_p)	$t_n > t_{\min}$
0,237 pol.	0,128 pol.	0,184 pol.	0,191 pol.	0,128 pol.	OK!

Portanto, a espessura do bocal A é suficiente.

Bocal C (saída de água)

Diâmetro nominal: 3 pol.
Diâmetro externo: 88,9 mm^(*) = 3,500 pol.
Espessura nominal: $t_n = 5,49 \text{ mm}^{(*)} = 0,216 \text{ pol.}$
 (Schedule 40)
Localização: casco cilíndrico
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ASME/ANSI B36.10^[7]

$$R_n = \frac{D_o - 2 \times t_n}{2} + C = \frac{3,500 - 2 \times 0,216}{2} + 0,118 = 1,652 \text{ pol.}$$

$$t_m = \frac{71,1 \times 1,652}{15000 \times 1,0 - 0,6 \times 71,1} + 0,118 = 0,007 + 0,118 = 0,125 \text{ pol.}$$

$$t_p = 0,875 \times 0,083 + 0,118 = 0,073 + 0,118 = 0,191 \text{ pol.}$$

t_n	t_m	t_{rv}	t_p	$t_{\min}$ (menor de t_m , t_{rv} e t_p)	$t_n > t_{\min}$
0,216 pol.	0,125 pol.	0,184 pol.	0,191 pol.	0,125 pol.	OK!

Bocal D (entrada de descarga)

Diâmetro nominal: 4 pol.
Diâmetro externo: 114,3 mm^(*) = 4,500 pol.
Espessura nominal: $t_n = 6,02 \text{ mm}^{(*)} = 0,237 \text{ pol.}$
 (Schedule 40)
Localização: tampo superior
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ASME/ANSI B36.10^[7]

$$R_n = \frac{D_o - 2 \times t_n}{2} + C = \frac{4,500 - 2 \times 0,237}{2} + 0,118 = 2,131 \text{ pol.}$$

$$t_m = \frac{71,1 \times 2,131}{15000 \times 1,0 - 0,6 \times 71,1} + 0,118 = 0,010 + 0,118 = 0,128 \text{ pol.}$$

$$t_p = 0,875 \times 0,083 + 0,118 = 0,073 + 0,118 = 0,191 \text{ pol.}$$

t_n	t_m	t_{rv}	t_p	$t_{\min}$ (menor de t_m , t_{rv} e t_p)	$t_n > t_{\min}$
0,237 pol.	0,128 pol.	0,184 pol.	0,191 pol.	0,128 pol.	OK!

Bocal E (ventilação)

O bocal E é formado por uma meia-luva de diâmetro nominal de ½ polegada de classe 6000. Segundo a ASME/ANSI, uma meia-luva de classe 6000 tem como equivalente um tubo de mesmo diâmetro nominal e de Schedule 80.

Então:

Diâmetro nominal: ½ pol.
Diâmetro externo: 21,3 mm^(*) = 0,840 pol.
Espessura nominal: $t_n = 3,73 \text{ mm}^{(*)} = 0,147 \text{ pol.}$
 (Schedule 80)
Localização: tampo superior
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ASME/ANSI B36.10^[7]

$$R_n = \frac{D_o - 2 \times t_n}{2} + C = \frac{0,840 - 2 \times 0,147}{2} + 0,118 = 0,391 \text{ pol.}$$

$$t_m = \frac{71,1 \times 0,391}{15000 \times 1,0 - 0,6 \times 71,1} + 0,118 = 0,002 + 0,118 = 0,120 \text{ pol.}$$

$$t_p = 0,875 \times 0,109 + 0,118 = 0,095 + 0,118 = 0,213 \text{ pol.}$$

t_n	t_m	t_{rv}	t_p	t_{min} (menor de t_m , t_{rv} e t_p)	$t_n > t_{min}$
0,147 pol.	0,120 pol.	0,184 pol.	0,213 pol.	0,120 pol.	OK!

Bocal F (dreno)

O bocal F é formado por uma meia-luva de diâmetro nominal de ½ polegada de classe 6000. Segundo a ASME/ANSI, uma meia-luva de classe 6000 tem como equivalente um tubo de mesmo diâmetro nominal e de Schedule 80.

Então:

Diâmetro nominal: ¾ pol.
Diâmetro externo: 26,7 mm^(*) = 1,050 pol.
Espessura nominal: $t_n = 3,91 \text{ mm}^{(*)} = 0,154 \text{ pol.}$
 (Schedule 80)
Localização: tampo superior
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ANSI

$$R_n = \frac{D_o - 2 \times t_n}{2} + C = \frac{1,050 - 2 \times 0,154}{2} + 0,118 = 0,489 \text{ pol.}$$

$$t_m = \frac{71,1 \times 0,489}{15000 \times 1,0 - 0,6 \times 71,1} + 0,118 = 0,002 + 0,118 = 0,120 \text{ pol.}$$

$$t_p = 0,875 \times 0,113 + 0,118 = 0,073 + 0,118 = 0,216 \text{ pol.}$$

t_n	t_m	t_{rv}	t_p	t_{min} (menor de t_m , t_{rv} e t_p)	$t_n > t_{min}$
0,154 pol.	0,120 pol.	0,184 pol.	0,216 pol.	0,120 pol.	OK!

Bocal G (manômetro)

O bocal G é formado por uma meia-luva de diâmetro nominal de ½ polegada de classe 6000. Segundo a ASME/ANSI, uma meia-luva de classe 6000 tem como equivalente um tubo de mesmo diâmetro nominal e de Schedule 80.

Então:

Diâmetro nominal: ½ pol.
Diâmetro externo: 21,3 mm^(*) = 0,840 pol.
Espessura nominal: $t_n = 3,73 \text{ mm}^{(*)} = 0,147 \text{ pol.}$
 (Schedule 80)
Localização: tampo superior
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ANSI

$$R_n = \frac{D_o - 2 \times t_n}{2} + C = \frac{0,840 - 2 \times 0,147}{2} + 0,118 = 0,391 \text{ pol.}$$

$$t_m = \frac{71,1 \times 0,391}{15000 \times 1,0 - 0,6 \times 71,1} + 0,118 = 0,002 + 0,118 = 0,120 \text{ pol.}$$

$$t_p = 0,875 \times 0,109 + 0,118 = 0,095 + 0,118 = 0,213 \text{ pol.}$$

t_n	t_m	t_{rv}	t_p	$t_{\min}$ (menor de t_m , t_{rv} e t_p)	$t_n > t_{\min}$
0,147 pol.	0,120 pol.	0,184 pol.	0,213 pol.	0,120 pol.	OK!

Bocais I_1 e I_2 (medidor de nível)

Os bocais I_1 e I_2 são formados por meia-luvas de diâmetro nominal de $\frac{1}{2}$ polegada de classe 6000. Segundo a ASME/ANSI, uma meia-luva de classe 6000 tem como equivalente um tubo de mesmo diâmetro nominal e de Schedule 80.

Então:

Diâmetro nominal: 1 pol.
Diâmetro externo: 33,4 mm^(*) = 1,315 pol.
Espessura nominal: $t_n = 4,55 \text{ mm}^{(*)} = 0,179 \text{ pol.}$
 (Schedule 40)
Localização: tampo superior
 (*) - dimensão em milímetro fornecida pela ANSI

$$R_n = \frac{D_o - 2 \times t_n}{2} + C = \frac{1,315 - 2 \times 0,237}{2} + 0,118 = 0,539 \text{ pol.}$$

$$t_m = \frac{71,1 \times 0,539}{15000 \times 1,0 - 0,6 \times 71,1} + 0,118 = 0,003 + 0,118 = 0,121 \text{ pol.}$$

$$t_p = 0,875 \times 0,133 + 0,118 = 0,073 + 0,118 = 0,234 \text{ pol.}$$

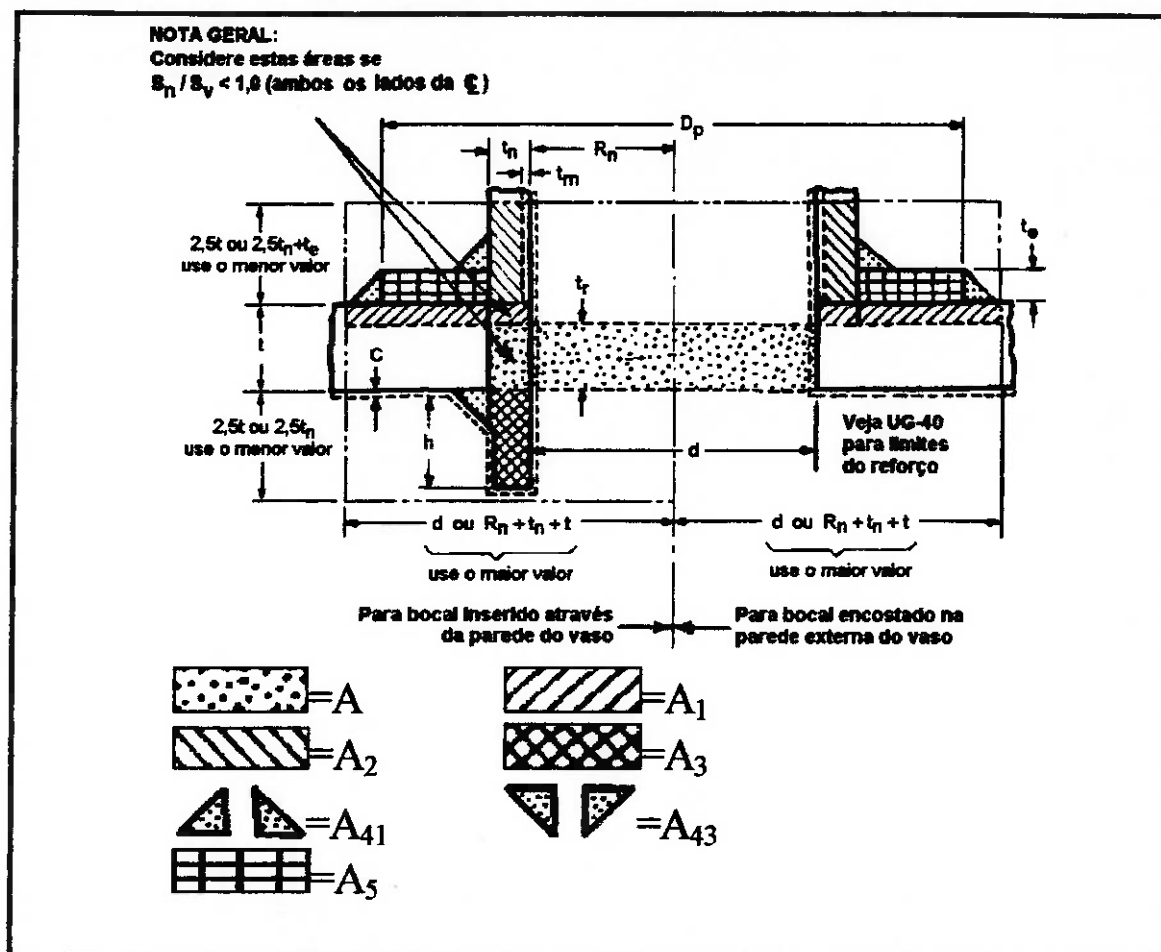
t_n	t_m	t_{rv}	t_p	$t_{\min}$ (menor de t_m , t_{rv} e t_p)	$t_n > t_{\min}$
0,179 pol.	0,121 pol.	0,184 pol.	0,234 pol.	0,121 pol.	OK!

APÊNDICE V - REFORÇOS DE ABERTURA DE BOCAL

O verificação de necessidade ou não de reforços de abertura de bocal é feita pelos parágrafos UG-36 a UG-43 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]).

V.1 - Área requerida ao reforço

Pelo parágrafo UG-37 (ASME, Seção VIII, Divisão 1^[2]), verifica-se se a área do reforço existente é maior que a área de reforço requerida.



Reforço de abertura de bocal (figura UG-37.1)

Onde:

C = sobre-espessura de corrosão

d = diâmetro interno da abertura do bocal

D_p = diâmetro externo do reforço

E = 1

$E_1 = 1$, qdo. o bocal está no meio de uma chapa ou em junta de categ. B

= eficiência de junta
 F = fator de correção geométrica (fig. UG-37)
 f_r = fatores de redução de resistência, sempre menor que 1
 $f_{r1} = S_n/S_v$ (bocal inserido pela abertura)
 $= 1,0$ (bocal encostado na parede do vaso)
 $f_{r2} = S_n/S_v$
 $f_{r3} = (\text{menor de } S_n \text{ ou } S_p)/S_v$
 $f_{r4} = S_p/S_v$
 h = projeção interna do bocal
 leg = tamanho dos filetes de soldas
 S_v = tensão admissível da parede do vaso
 S_p = tensão admissível do reforço
 S_n = tensão admissível do bocal
 t = espessura nominal da parede do vaso
 t_e = espessura do reforço
 t_n = espessura nominal da parede do bocal
 t_r = espessura requerida à parede do vaso
 t_m = espessura requerida à parede do bocal

•Sem elemento de reforço:

$$\begin{aligned}
 A &= dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1}) \\
 A_1 &\begin{cases} = d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \\ = 2(t + t_n)(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \end{cases} \\
 A_2 &\begin{cases} = 5(t_n - t_m)f_{r2}t \\ = 5(t_n - t_m)f_{r2}t_n \end{cases} \\
 A_3 &= 2(t_n - C)f_{r2}h \\
 A_{41} &= (leg)^2 f_{r2} \\
 A_{43} &= (leg)^2 f_{r2}
 \end{aligned}$$

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} \geq A \quad \Rightarrow \text{não é necessário reforço adicional}$$

•Com elemento de reforço:

$$\begin{aligned}
 A &= dt_r F + 2t_n t_r F(1 - f_{r1}) \\
 A_1 &\begin{cases} = d(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \\ = 2(t + t_n)(E_1 t - Ft_r) - 2t_n(E_1 t - Ft_r)(1 - f_{r1}) \end{cases} \\
 A_2 &\begin{cases} = 5(t_n - t_m)f_{r2}t \\ = 2(t_n - t_m)(2,5t_n + t_e)f_{r2} \end{cases} \\
 A_3 &= 2(t_n - C)f_{r2}h \\
 A_{41} &= (leg)^2 f_{r3}
 \end{aligned}$$

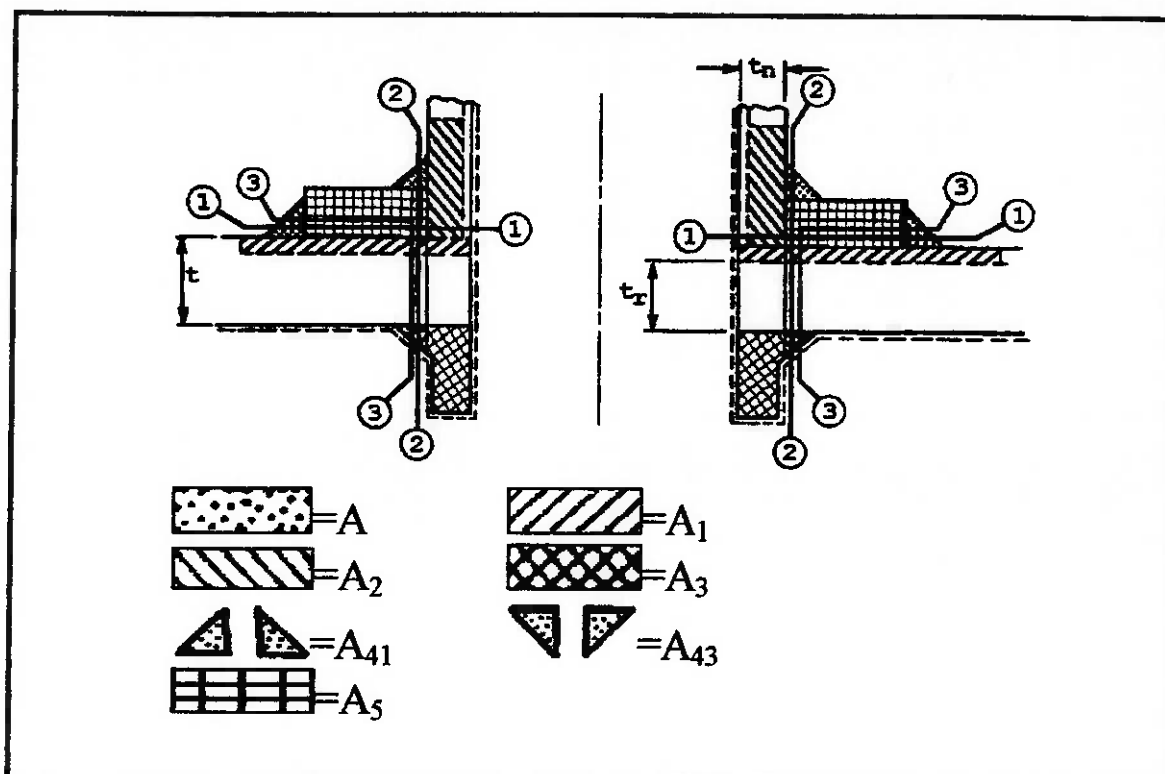
$$A_{42} = (leg)^2 f_{r4}$$

$$A_{43} = (leg)^2 f_{r2}$$

$$A_5 = (D_p - d - 2t_n) t_e f_{r4}$$

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + A_5 \geq A \Rightarrow \text{abertura reforçada adequadamente}$$

V.2 - Resistência do reforço e soldas do reforço



“Path” de resistência do reforço (figura UCS-41)

•Carregamentos suportados pelas soldas:

$$W = [A - (d - 2t_n)(E_1 t - F t_r)] S$$

$$W_{1-1} = (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42}) S$$

$$W_{2-2} = (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2t_n t_{r1}) S$$

$$W_{3-3} = (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2t_n t_{r1}) S$$

•Tensões admissíveis:

Tensão cisalhamento no filete de solda (UW-15):

$$\tau_{\text{fillet}} = 0,49S$$

Tensão na solda de penetração total (UW-15):

$$\sigma_{\text{groove}} = 0,74S$$

Cisalhamento na solda de penetração total (UW-15): $\tau_{groove} = 0,60S$

Cisalhamento na parede do bocal (UG-45): $\tau_{nozzle} = 0,70S$

• Resistência do elementos de conexão:

Filete superior = $(\pi/2) \times \text{diâm. externo do bocal} \times \text{leg} \times \tau_{fillet}$

Parede do bocal = $(\pi/2) \times \text{diâm. princ. do bocal} \times t_n \times \tau_{nozzle}$

Solda de penetração total = $(\pi/2) \times \text{diâm. ext. do bocal} \times t \times \sigma_{groove}$

Filete externo (reforço) = $(\pi/2) \times \text{diâm. ext. do reforço} \times \text{leg} \times \tau_{fillet}$

Filete inferior = $(\pi/2) \times \text{diâm. externo do bocal} \times \text{leg} \times \tau_{fillet}$

• Verificação da resistências de 1-1, 2-2 e 3-3 pela UG-41(b)(1):

1-1 (filete externo)+(parede do bocal) > (menor de W_{1-1} ou W)

2-2 (filete superior)+(solda penetração total)+
+(filete inferior) > (menor de W_{2-2} ou W)

3-3 (filete externo)+(solda penetração total)+
+(filete inferior) > (menor de W_{3-3} ou W)

V.3 - Bocal A (sáida de vapor)

O bocal A possui as seguintes dimensões:

Diâmetro nominal do bocal: 4 pol.

Diâmetro externo: 114,3 mm^(*) = 4,500 pol.

Espessura nominal: $t_n = 6,02 \text{ mm}^{(*)} = 0,237 \text{ pol.}$
(Schedule 40)

Localização: tampo superior

(*) - dimensões em mm fornecida pelo ANSI

$S_v = 15000 \text{ psi}$ (SA-516 grau 60)

$S_n = 15000 \text{ psi}$ (SA-106 grau B)

$S_p = 15000 \text{ psi}$ (SA-516 grau 60)

$C = 3 \text{ mm} = 0,118 \text{ pol.}$

$d = 4,500 - 2 \times 0,237 = 4,026 \text{ pol}$

$E = 1,0$

$E_1 = 1,0$

$F = 1,0$

$f_{t1} = 1,0$

$f_{t2} = 1,0$

$f_{t3} = 1,0$

$f_{t4} = 1,0$

$h = 0 \text{ mm}$ (não há projeção interna)

$\text{leg} = 0 \text{ mm}$ (não foi ainda definido tamanho dos filetes de solda)

$t = 6,30 \text{ mm} = 0,248 \text{ pol.}$

$$t_n = 6,02 \text{ mm} = 0,237 \text{ pol.}$$

$$t_{rv} = 0,184 \text{ pol. (conforme calculado no Apêndice 4)}$$

$$t_m = 0,128 \text{ pol. (conforme calculado no Apêndice 4)}$$

• Sem reforço:

$$A_{req} = 0,741 \text{ pol}^2$$

$$A_1 = 0,258 \text{ pol}^2$$

$$A_2 = 0,129 \text{ pol}^2$$

$$A_3 = 0 \text{ pol}^2$$

$$A_{41} = 0 \text{ pol}^2$$

$$A_{42} = 0 \text{ pol}^2$$

$$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 = 0,387 \text{ pol}^2 < A_{req} = 0,741 \text{ pol}^2 \Rightarrow \text{necessita de reforço}$$

• Com reforço:

$$t_c = 6,30 \text{ mm} = 0,248 \text{ pol.}$$

$$D_p = 214,3 \text{ mm} = 8,437 \text{ pol.}$$

$$A_{req} = 0,741 \text{ pol}^2$$

$$A_1 = 0,258 \text{ pol}^2$$

$$A_2 = 0,129 \text{ pol}^2$$

$$A_3 = 0 \text{ pol}^2$$

$$A_{41} = 0 \text{ pol}^2$$

$$A_{42} = 0 \text{ pol}^2$$

$$A_5 = 0,355 \text{ pol}^2$$

$$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_5 = 0,742 \text{ pol}^2 \geq A_{req} = 0,741 \text{ pol}^2 \Rightarrow \text{OK!}$$

• “Path’s” de resistência:

$$W = [A - (d - 2t_n)(E_1 t - F t_r)] S = 7250 \text{ lb}$$

$$W_{1-1} = (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) S = 7260 \text{ lb}$$

$$W_{2-2} = (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2t_n t_{f_{r1}}) S = 227,5 \text{ lb}$$

$$W_{3-3} = (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2t_n t_{f_{r1}}) S = 853,4 \text{ lb}$$

• Tensões

Tensão cisalhamento no filete de solda (UW-15):

$$\tau_{fillet} = 7350 \text{ psi}$$

Tensão na solda de penetração total (UW-15):

$$\sigma_{groove} = 11100 \text{ psi}$$

Cisalhamento na solda de penetração total (UW-15): $\tau_{groove} = 9000 \text{ psi}$

Cisalhamento na parede do bocal (UG-45): $\tau_{nozzle} = 10500 \text{ psi}$

• Resistência do elementos da junta

Como não se conhece as dimensões dos filetes de solda, será adotado que as resistência dos filetes são iguais a zero. Portanto, só serão considerados a resistência da parede do bocal e da solda de penetração total.

Parede do bocal =

$$= (\pi/2) \times \text{diâmetro interno} \times t_n \times \text{cisalhamento da parede do bocal} =$$

$$= 14343 \text{ lb}$$

Solda de penetração total =

$$= (\pi/2) \times \text{diâm. externo do bocal} \times t \times \text{tensão no cordão de solda} =$$

$$= 15777 \text{ lb}$$

• Verificação da resistência dos elementos

$$1 - 1 = 0 + 14343 = 14343 \text{ lb}$$

$$2 - 2 = 0 + 15777 + 0 = 15777 \text{ lb}$$

$$3 - 3 = 0 + 15777 + 0 = 15777 \text{ lb}$$

O bocal A terá o anel de reforço de abertura de bocal terá as seguintes dimensões:

Diâmetro externo:	150 mm = 5,905 pol.
Espessura:	6,30 mm = 0,248 pol.

V.4 - Bocal B (válvula de segurança)

O bocal B possui as seguintes dimensões:

Diâmetro nominal do bocal:	2 pol.
Diâmetro interno:	2 pol.
Espessura nominal:	0,22 pol
Localização:	tampo superior

Pela UG-36 (ASME, Seção VIII, Divisão 1), conexões soldadas com diâmetro da abertura não maior que 3 1/2 polegadas em casco ou tampo com espessura de parede igual ou menor que 3/8 polegadas e em vasos não submetidos a rápidas flutuações de pressão não necessitam de reforços.

O vaso em projeto não sofre flutuações rápidas de pressão já que trabalha em regime contínuo. Portanto, o bocal B não necessita de reforço de abertura de bocal.

V.5 - Bocal C (sáida de água)

O bocal C possui as seguintes dimensões:

Diâmetro nominal do bocal: 3 pol.
Diâmetro externo: $88,9 \text{ mm}^{(*)} = 3,500 \text{ pol.}$
Espessura nominal: $t_n = 4,49 \text{ mm}^{(*)} = 0,216 \text{ pol.}$
 (Schedule 40)
Localização: casco cilíndrico
 (*) - dimensões em mm fornecida pelo ANSI

$S_v = 15000 \text{ psi (SA-516 grau 60)}$

$S_n = 15000 \text{ psi (SA-106 grau B)}$

$S_p = 15000 \text{ psi (SA-516 grau 60)}$

$C = 3 \text{ mm} = 0,118 \text{ pol.}$

$d = 3,068 \text{ pol}$

$E = 1,0$

$E_1 = 1,0$

$F = 1,0$

$f_{r1} = 1,0$

$f_{r2} = 1,0$

$f_{r3} = 1,0$

$f_{r4} = 1,0$

$\text{leg} = 0 \text{ mm (não foi ainda definido tamanho dos filetes de solda)}$

$t = 6,30 \text{ mm} = 0,248 \text{ pol.}$

$t_n = 5,49 \text{ mm} = 0,216 \text{ pol.}$

$t_{rv} = 0,184 \text{ pol. (conforme calculado no Apêndice 4)}$

$t_{rn} = 0,125 \text{ pol. (conforme calculado no Apêndice 4)}$

$h = (\text{menor de } 2,5t \text{ ou } 2,5t_n) = 0,54 \text{ pol. (pois proj. interna } > 2,5t \text{ ou } 2,5t_n)$

• Sem reforço:

$$A_{req} = 0,564 \text{ pol}^2$$

$$A_1 = 0,196 \text{ pol}^2$$

$$A_2 = 0,098 \text{ pol}^2$$

$$A_3 = 0,141 \text{ pol}^2$$

$$A_{41} = 0 \text{ pol}^2$$

$$A_{42} = 0 \text{ pol}^2$$

$$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 = 0,435 \text{ pol}^2 < A_{req} = 0,564 \text{ pol}^2 \Rightarrow \text{necessita de reforço}$$

• Com reforço:

$$t_c = 6,30 \text{ mm} = 0,248 \text{ pol.}$$

$$D_p = 188,9 \text{ mm} = 7,437 \text{ pol.}$$

$$A_{req} = 0,564 \text{ pol}^2$$

$$A_1 = 0,196 \text{ pol}^2$$

$$A_2 = 0,133 \text{ pol}^2$$

$$A_3 = 0,141 \text{ pol}^2$$

$$A_{41} = 0 \text{ pol}^2$$

$$A_{42} = 0 \text{ pol}^2$$

$$A_5 = 0,196 \text{ pol}^2$$

$$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_5 = 0,666 \text{ pol}^2 \geq A_{req} = 0,564 \text{ pol}^2 \Rightarrow \text{OK!}$$

•“Path’s” de resistência:

$$W = [A - (d - 2t_n)(E_1t - Ft_r)]S = 6714 \text{ lb}$$

$$W_{1-1} = (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42})S = 4935 \text{ lb}$$

$$W_{2-2} = (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2t_n t_{f_{r1}})S = 5717 \text{ lb}$$

$$W_{3-3} = (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2t_n t_{f_{r1}})S = 8657 \text{ lb}$$

•Tensões

Tensão cisalhamento no filete de solda (UW-15): $\tau_{fillet} = 7350 \text{ psi}$

Tensão na solda de penetração total (UW-15): $\sigma_{groove} = 11100 \text{ psi}$

Cisalhamento na solda de penetração total (UW-15): $\tau_{groove} = 9000 \text{ psi}$

Cisalhamento na parede do bocal (UG-45): $\tau_{nozzle} = 10500 \text{ psi}$

•Resistência do elementos da junta

Como não se conhece as dimensões dos filetes de solda, será adotado que as resistência dos filetes são iguais a zero. Portanto, só serão considerados a resistência da parede do bocal e da solda de penetração total.

Parede do bocal =

$$= (\pi/2) \times \text{diâmetro interno} \times t_n \times \text{cisalhamento da parede do bocal} =$$

$$= 10929 \text{ lb}$$

Solda de penetração total =

$$= (\pi/2) \times \text{diâm. externo do bocal} \times t \times \text{tensão no cordão de solda} =$$

$$= 12271 \text{ lb}$$

•Verificação da resistência dos elementos

$$1 - 1 = 0 + 10929 = 10929lb$$

$$2 - 2 = 0 + 12271 + 0 = 12271lb$$

$$3 - 3 = 0 + 12271 + 0 = 12271lb$$

O bocal C terá o anel de reforço de abertura de bocal terá as seguintes dimensões:

Diâmetro externo:	120 mm = 4,724 pol.
Espessura:	6,30 mm = 0,248 pol.

V.6 - Bocal D (entrada de descarga)

O bocal D possui as seguintes dimensões:

Diâmetro nominal do bocal:	4 pol.
Diâmetro externo:	114,3 mm ^(*) = 4,500 pol.
Espessura nominal:	t _n = 6,02 mm ^(*) = 0,237 pol. (Schedule 40)
Localização:	tampo superior
(*) - dimensões em mm fornecida pelo ANSI	

$$S_v = 15000 \text{ psi (SA-516 grau 60)}$$

$$S_n = 15000 \text{ psi (SA-106 grau B)}$$

$$S_p = 15000 \text{ psi (SA-516 grau 60)}$$

$$C = 3 \text{ mm} = 0,118 \text{ pol.}$$

$$d = 4,500 - 2 \times 0,237 = 4,026 \text{ pol}$$

$$E = 1,0$$

$$E_1 = 1,0$$

$$F = 1,0$$

$$f_{r1} = 1,0$$

$$f_{r2} = 1,0$$

$$f_{r3} = 1,0$$

$$f_{r4} = 1,0$$

$$h = 0 \text{ mm (não há projeção interna)}$$

$$\text{leg} = 0 \text{ mm (não foi ainda definido tamanho dos filetes de solda)}$$

$$t = 6,30 \text{ mm} = 0,248 \text{ pol.}$$

$$t_n = 6,02 \text{ mm} = 0,237 \text{ pol.}$$

$$t_{rv} = 0,184 \text{ pol. (conforme calculado no Apêndice 4)}$$

$$t_m = 0,128 \text{ pol. (conforme calculado no Apêndice 4)}$$

•Sem reforço:

$$A_{req} = 0,741 pol^2$$

$$A_1 = 0,258 pol^2$$

$$A_2 = 0,129 pol^2$$

$$A_3 = 0 pol^2$$

$$A_{41} = 0 pol^2$$

$$A_{42} = 0 pol^2$$

$$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 = 0,387 pol^2 < A_{req} = 0,741 pol^2 \Rightarrow \text{necessita de reforço}$$

• Com reforço:

$$t_e = 6,30 \text{ mm} = 0,248 \text{ pol.}$$

$$D_p = 254,3 \text{ mm} = 10,012 \text{ pol.}$$

$$A_{req} = 0,741 pol^2$$

$$A_1 = 0,258 pol^2$$

$$A_2 = 0,129 pol^2$$

$$A_3 = 0 pol^2$$

$$A_{41} = 0 pol^2$$

$$A_{42} = 0 pol^2$$

$$A_5 = 0,355 pol^2$$

$$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_5 = 0,742 pol^2 \geq A_{req} = 0,741 pol^2 \Rightarrow \text{OK!}$$

• “Path’s” de resistência:

$$W = [A - (d - 2t_n)(E_1 t - F t_r)] S = 7250 lb$$

$$W_{1-1} = (A_2 + A_5 + A_{41} + A_{42}) S = 7260 lb$$

$$W_{2-2} = (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2t_n t f_{r1}) S = 227,5 lb$$

$$W_{3-3} = (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2t_n t f_{r1}) S = 853,4 lb$$

• Tensões

Tensão cisalhamento no filete de solda (UW-15): $\tau_{fillet} = 7350 \text{ psi}$

Tensão na solda de penetração total (UW-15): $\sigma_{groove} = 11100 \text{ psi}$

Cisalhamento na solda de penetração total (UW-15): $\tau_{groove} = 9000 \text{ psi}$

Cisalhamento na parede do bocal (UG-45): $\tau_{nozzle} = 10500 \text{ psi}$

• Resistência do elementos da junta

Como não se conhece as dimensões dos filetes de solda, será adotado que as resistência dos filetes são iguais a zero. Portanto, só serão considerados a resistência da parede do bocal e da solda de penetração total.

Parede do bocal =

$$= (\pi/2) \times \text{diâmetro interno} \times t_n \times \text{cisalhamento da parede do bocal} =$$

$$= 14343 \text{ lb}$$

Solda de penetração total =

$$= (\pi/2) \times \text{diâm. externo do bocal} \times t \times \text{tensão no cordão de solda} =$$

$$= 15777 \text{ lb}$$

•Verificação da resistência dos elementos

$$1 - 1 = 0 + 14343 = 14343 \text{ lb}$$

$$2 - 2 = 0 + 15777 + 0 = 15777 \text{ lb}$$

$$3 - 3 = 0 + 15777 + 0 = 15777 \text{ lb}$$

O bocal D terá o anel de reforço de abertura de bocal terá as seguintes dimensões:

Diâmetro externo:	150 mm = 5,905 pol.
Espessura:	6,30 mm = 0,248 pol.

V.7 - Bocal E (ventilação)

O bocal E possui as seguintes dimensões:

Diâmetro nominal:	4 pol.
Localização:	tampo superior

Pela UG-36 (ASME, Seção VIII, Divisão 1), conexões soldadas com diâmetro da abertura não maior que 3 1/2 polegadas em casco ou tampo com espessura de parede igual ou menor que 3/8 polegadas e em vasos não submetidos a rápidas flutuações de pressão não necessitam de reforços.

O vaso em projeto não sofre flutuações rápidas de pressão já que trabalha em regime contínuo. Portanto, o bocal E não necessita de reforço de abertura de bocal.

V.8 - Bocal F (dreno)

O bocal F possui as seguintes dimensões:

Diâmetro nominal:	¾ pol.
Localização:	tampo inferior

Pela UG-36 (ASME, Seção VIII, Divisão 1), conexões soldadas com diâmetro da abertura não maior que 3 1/2 polegadas em casco ou tampo com espessura de parede igual ou menor que 3/8 polegadas e em vasos não submetidos a rápidas flutuações de pressão não necessitam de reforços.

O vaso em projeto não sofre flutuações rápidas de pressão já que trabalha em regime contínuo. Portanto, o bocal F não necessita de reforço de abertura de bocal.

V.9 - Bocal G (manômetro)

O bocal G possui as seguintes dimensões:

Diâmetro nominal:	½ pol.
Localização:	tampo inferior

Pela UG-36 (ASME, Seção VIII, Divisão 1), conexões soldadas com diâmetro da abertura não maior que 3 1/2 polegadas em casco ou tampo com espessura de parede igual ou menor que 3/8 polegadas e em vasos não submetidos a rápidas flutuações de pressão não necessitam de reforços.

O vaso em projeto não sofre flutuações rápidas de pressão já que trabalha em regime contínuo. Portanto, o bocal G não necessita de reforço de abertura de bocal.

V.10 - Bocal H (Boca de Visita)

O bocal H possui as seguintes dimensões:

Diâmetro nominal do bocal:	16 pol.
Diâmetro externo:	16 pol.
Espessura nominal:	0,248 pol.
Localização:	casco cilíndrico

$$S_v = 15000 \text{ psi (SA-516 grau 60)}$$

$$S_n = 15000 \text{ psi (SA-516 grau 60)}$$

$$S_p = 15000 \text{ psi (SA-516 grau 60)}$$

$$C = 3 \text{ mm} = 0,118 \text{ pol.}$$

$$d = 16,000 - 2 \times 0,248 = 15,504 \text{ pol}$$

$$E = 1,0$$

$$E_1 = 1,0$$

$$F = 1,0$$

$$f_{r1} = 1,0$$

$$f_{r2} = 1,0$$

$$f_{r3} = 1,0$$

$$f_{r4} = 1,0$$

$h = 0 \text{ mm}$ (não há projeção interna)
 $leg = 0 \text{ mm}$ (não foi ainda definido tamanho dos filetes de solda)
 $t = 6,30 \text{ mm} = 0,248 \text{ pol.}$
 $t_n = 6,30 \text{ mm} = 0,248 \text{ pol.}$
 $t_{rv} = 0,184 \text{ pol.}$ (conforme calculado no Apêndice 3)
 $t_m = 0,184 \text{ pol.}$ (conforme calculado no Apêndice 4)

• Sem reforço:

$$\begin{aligned}
 A_{req} &= 2,853 \text{ pol}^2 \\
 A_1 &= 0,992 \text{ pol}^2 \\
 A_2 &= 0,080 \text{ pol}^2 \\
 A_3 &= 0 \text{ pol}^2 \\
 A_{41} &= 0 \text{ pol}^2 \\
 A_{42} &= 0 \text{ pol}^2 \\
 A_{total} &= A_1 + A_2 + A_3 = 1,072 \text{ pol}^2 < A_{req} = 2,853 \text{ pol}^2 \Rightarrow \text{necessita de reforço}
 \end{aligned}$$

• Com reforço:

$$\begin{aligned}
 t_e &= 6,30 \text{ mm} = 0,248 \text{ pol.} \\
 D_p &= 626,4 \text{ mm} = 24,661 \text{ pol.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{req} &= 2,853 \text{ pol}^2 \\
 A_1 &= 0,992 \text{ pol}^2 \\
 A_2 &= 0,080 \text{ pol}^2 \\
 A_3 &= 0 \text{ pol}^2 \\
 A_{41} &= 0 \text{ pol}^2 \\
 A_{42} &= 0 \text{ pol}^2 \\
 A_5 &= 2,255 \text{ pol}^2 \\
 A_{total} &= A_1 + A_2 + A_3 + A_5 = 3,327 \text{ pol}^2 \geq A_{req} = 2,853 \text{ pol}^2 \Rightarrow \text{OK!}
 \end{aligned}$$

• “Path’s” de resistência:

$$\begin{aligned}
 W &= [A - (d - 2t_n)(E_1 t - F t_r)] S = 2791 \text{ lb} \\
 W_{1-1} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{42}) S = 35025 \text{ lb} \\
 W_{2-2} &= (A_2 + A_3 + A_{41} + A_{43} + 2t_n t_{f,r1}) S = 3045 \text{ lb} \\
 W_{3-3} &= (A_2 + A_3 + A_5 + A_{41} + A_{42} + A_{43} + 2t_n t_{f,r1}) S = 36870 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

• Tensões

Tensão cisalhamento no filete de solda (UW-15):	$\tau_{\text{fillet}} = 7350 \text{ psi}$
Tensão na solda de penetração total (UW-15):	$\sigma_{\text{groove}} = 11100 \text{ psi}$
Cisalhamento na solda de penetração total (UW-15):	$\tau_{\text{groove}} = 9000 \text{ psi}$
Cisalhamento na parede do bocal (UG-45):	$\tau_{\text{nozzle}} = 10500 \text{ psi}$

• Resistência do elementos da junta

Como não se conhece as dimensões dos filetes de solda, será adotado que as resistência dos filetes são iguais a zero. Portanto, só serão considerados a resistência da parede do bocal e da solda de penetração total.

$$\begin{aligned} \text{Parede do bocal} &= \\ &= (\pi/2) \times \text{diâmetro interno} \times t_n \times \text{cisalhamento da parede do bocal} = \\ &= 63417 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Solda de penetração total} &= \\ &= (\pi/2) \times \text{diâm. externo do bocal} \times t \times \text{solda de penetração total} = \\ &= 56096 \text{ lb} \end{aligned}$$

• Verificação da resistência dos elementos

$$\begin{aligned} 1-1 &= 0 + 63417 = 63417 \text{ lb} \\ 2-2 &= 0 + 56096 + 0 = 56096 \text{ lb} \\ 3-3 &= 0 + 56096 + 0 = 56096 \text{ lb} \end{aligned}$$

O bocal H terá o anel de reforço de abertura de bocal terá as seguintes dimensões:

Diâmetro externo:	650 mm = 25,991 pol.
Espessura:	6,30 mm = 0,248 pol.

V.11 - Bocais I_1 e I_2 (medidor de nível)

Os bocais I_1 e I_2 possuem as seguintes dimensões:

Diâmetro nominal:	1 pol.
Localização:	tampo inferior

Pela UG-36 (ASME, Seção VIII, Divisão 1), conexões soldadas com diâmetro da abertura não maior que 3 1/2 polegadas em casco ou tampo com espessura de parede igual ou menor que 3/8 polegadas e em vasos não submetidos a rápidas flutuações de pressão não necessitam de reforços.

O vaso em projeto não sofre flutuações rápidas de pressão já que trabalha em regime contínuo. Portanto, os bocais I_1 e I_2 não necessitam de reforços de abertura de bocal.

APÊNDICE VI - MODELO UTILIZADO NO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Foi utilizado o software SAP90 na versão 5.04 para rodar o Método de Elementos Finitos (M.E.F.).

Foi estudado a junta circunferencial entre o casco e um dos tampos elipsoidais. O casco cilíndrico e o tampo são estrutura axissimétricas com simetrias em torno do eixo do vaso de pressão. Tendo em vista isto, utilizou-se o módulo do ASOLID do SAP90 destinado a modelar sólidos axissimétricos. Foram utilizados apenas elementos quadriláteros de quatro nós e elementos triangulares de três nós.

Foi utilizado no total três modelos: sem trinca, com trinca axissimétrica na junta soldada circunferencial de 1,588 mm, com trinca de 1,235 mm e com trinca de 0,705 mm. A figura VII.1 mostra o modelo básico do vaso utilizado para os três modelos.

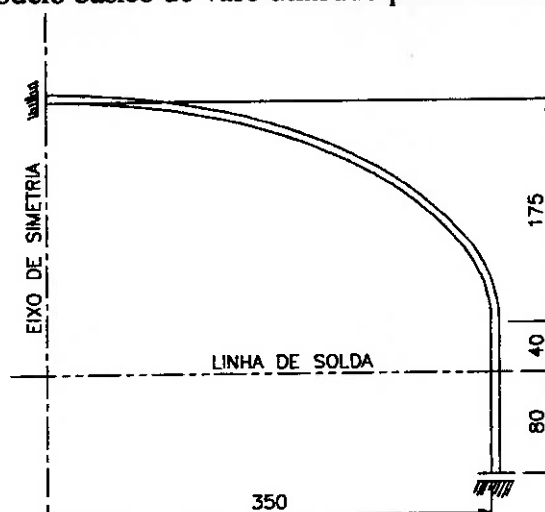


Fig. VI.1 - Esquema do modelo básico utilizado no M.E.F.

O carregamento imposto aos modelos foi uma pressão de 0,7355 MPa (pressão do teste hidrostático) a parede interna do casco cilíndrico e do tampo.

VI.1 - Modelo do Tampo Elipsoidal 2:1 Sem a Saia

Na modelagem do tampo elipsoidal 2:1, utilizou-se apenas elementos quadriláteros de quatro nós. As figuras VI.1.2 e VI.1.3 mostram detalhes regiões 1 e regiões 2 (figura VI.1.1).

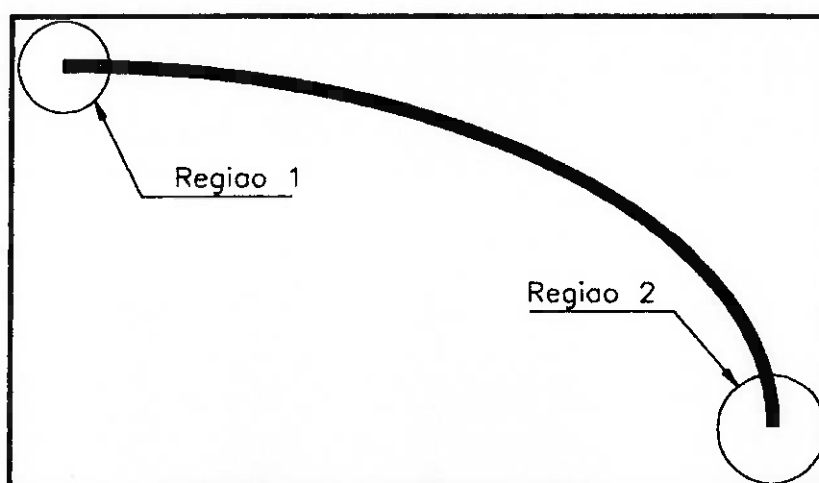


Fig. VI.1.1 - Região 1 e região 2

							
805	806	807	808	809	810	FILE : feed UNDEFORMED SHAPE SAP90	
200	199	198	197	196			
604	605	606	607	608	609		
400	399	398	397	396			
403	404	405	406	407	408		
600	599	598	597	596			
202	203	204	205	206	207		
800	799	798	797	796			
1	2	3	4	5	6		

Fig. VI.1.2 - Detalhe de região 1 (vide fig. VI.1.1)

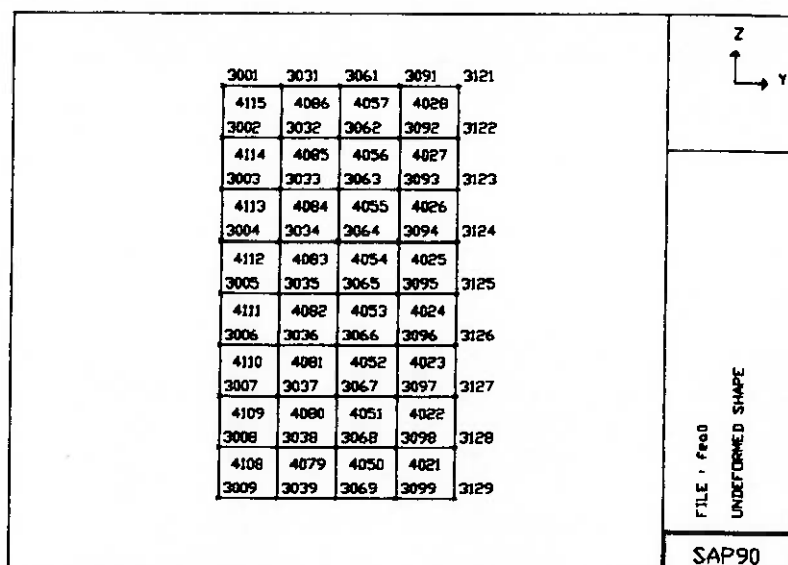


Fig. VI.2.2 - Detalhe de região 3 (vide fig. VI.2.1)

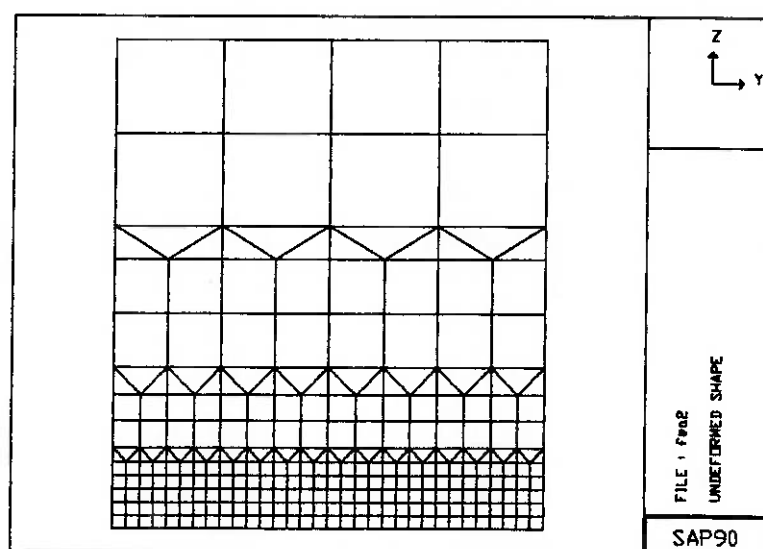


Fig. VI.2.3 - Detalhe de região 4 (vide fig. VI.2.1)

VI.3 - Modelo do Casco Cilíndrico

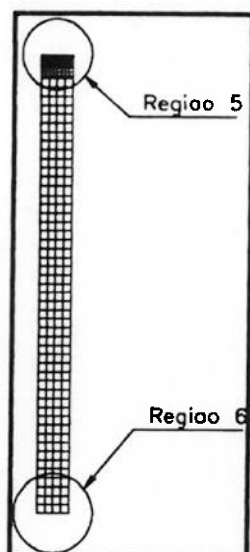


Fig. VI.3.1 - Região 5 e região 6

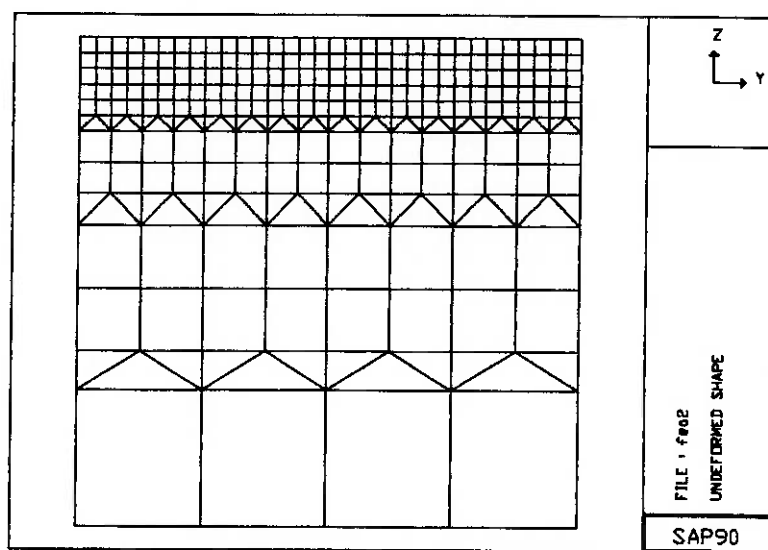


Fig. VI.3.2 - Detalhe de região 5 (vide fig. VI.3.1)

3544	3594	3644	3694	3744
5152	5103	5054	5005	
3545	3595	3645	3695	3745
5151	5102	5053	5004	
3546	3596	3646	3696	3746
5150	5101	5052	5003	
3547	3597	3647	3697	3747
5149	5100	5051	5002	
3548	3598	3648	3698	3748
5148	5099	5050	5001	
3549	3599	3649	3699	3749
5147	5098	5049	5000	
3550	3600	3650	3700	3750



FILE : F000
UNDEFORMED SHAPE

SAP90

Fig. VI.3.3 - Detalhe de região 5 (vide fig. VI.3.1)

VI.4 - Conexão e Casco Cilíndrico e a Saia Tampo Elipsoidal

Junção entre o casco cilíndrico e a saia do tampo é o que determina o tamanho da trinca. Na região da Linha de Solda, os nós do casco cilíndrico junto possuem a mesma coordenada dos nós da saia do tampo.

Com o comando CONSTRAINT do SAP90, pode-se limitar os deslocamentos de um nó com o deslocamentos de um outro nó. Assim, pode unir dois nós como se fossem apenas um nó; e assim, “soldar” a saia do tampo elipsoidal com o casco cilíndrico. Caso não se “solde” todos os nós da saia do tampo com todos os nós do casco cilíndrico, cria-se uma trinca.

APÊNDICE VII - CÁLCULO DE K_I A PARTIR DO RESULTADOS DO M.E.F.

Os cálculos do fator de concentração K_I a partir das tensões obtidas no modelos do vaso com trincas de diversos tamanhos e no modelo do vaso sem trinca foram baseado em Souza^[20]. Conforme Souza^[20], tem-se:

$$(\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{ST})\sqrt{2\pi r} \cong K_I F_{ij}(\theta)$$

Onde: σ_{ij} tensão no ponto analisado sem a trinca
 σ_{ij}^{ST} tensão no ponto analisado com a trinca
 r raio a partir da ponta da trinca
 $F_{ij}(\theta)$ função dependente da posição angular, tomada a partir da ponta da trinca (figura abaixo)

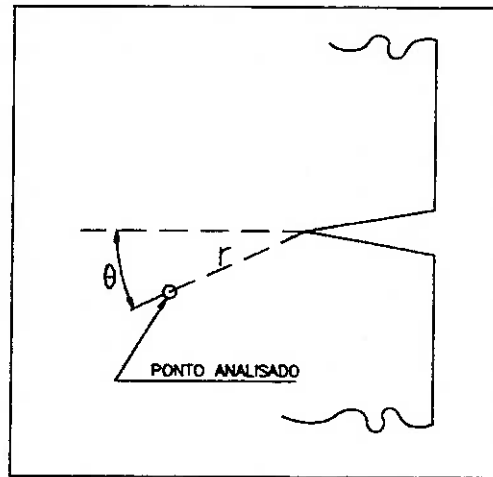


Fig. VII.1 - Esquema da trinca

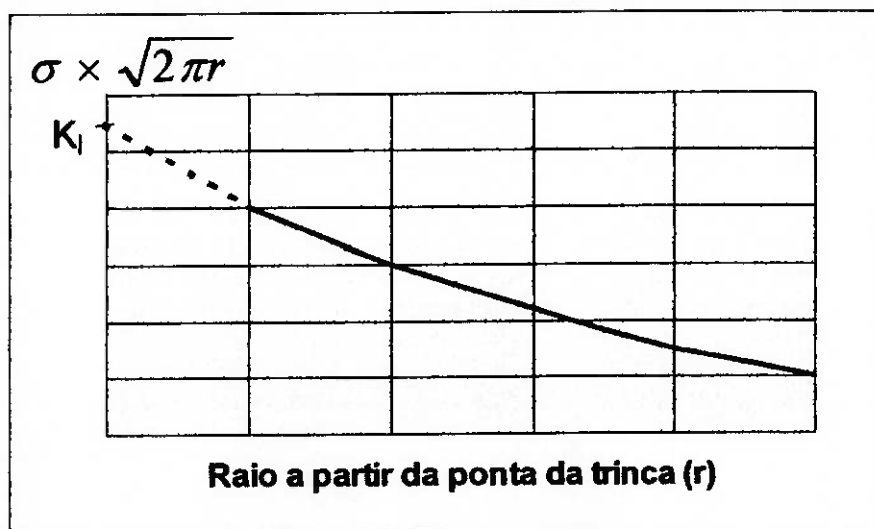
Para $\theta = 0^\circ$, tem-se $F_{ij}=0$; então para $\theta = 0^\circ$:

$$(\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{ST})\sqrt{2\pi r} \cong K_I$$

Pode-se chegar ao valor de K_I , fazendo o seguinte limite:

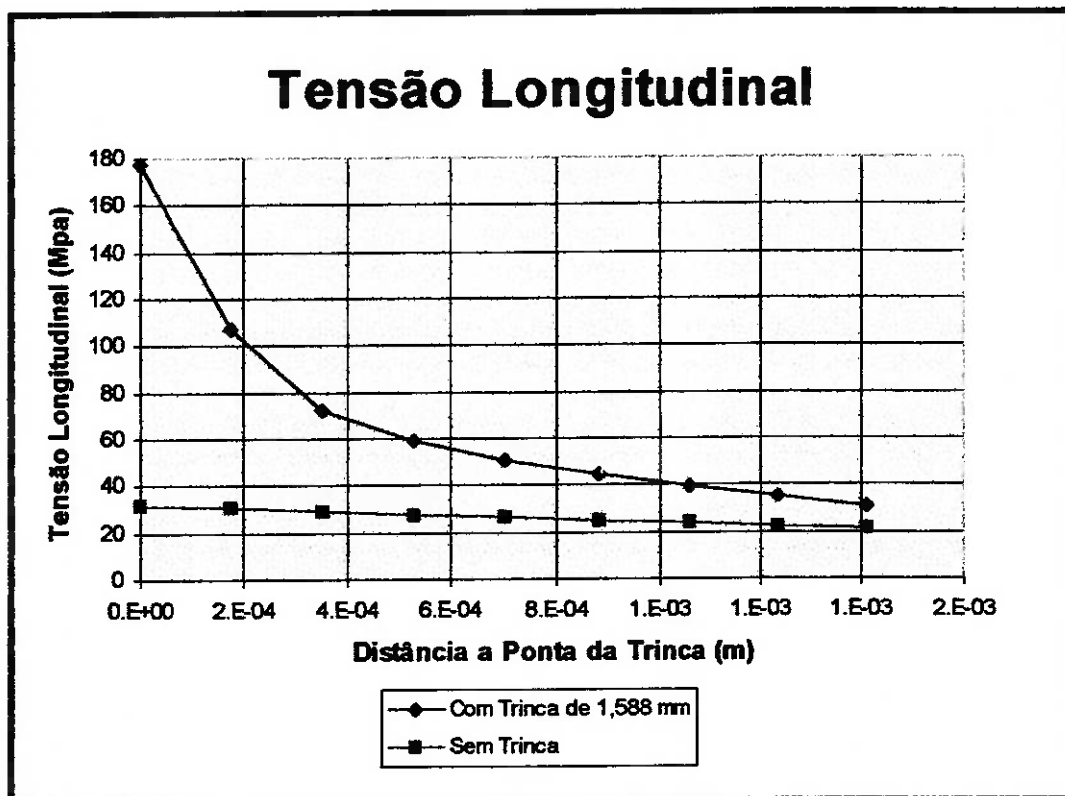
$$K_I \cong \lim_{r \rightarrow 0} (\sigma \times \sqrt{2\pi r})$$

Onde: $\sigma = (\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^{ST})$

Fig. VII.2 - Gráfico $\sigma \sqrt{2\pi r} \times r$

VII.1 - Cálculo de K_I para Trinca de 1,588mm

Mapeando as tensões para $\theta = 0^\circ$ do modelo com a trinca de 1,588 mm e do modelo sem trinca, obtém-se o seguinte gráfico:

Fig. VII.1.1 - Gráfico da tensões em função da distância a ponta da trinca ($\theta=0^\circ$)

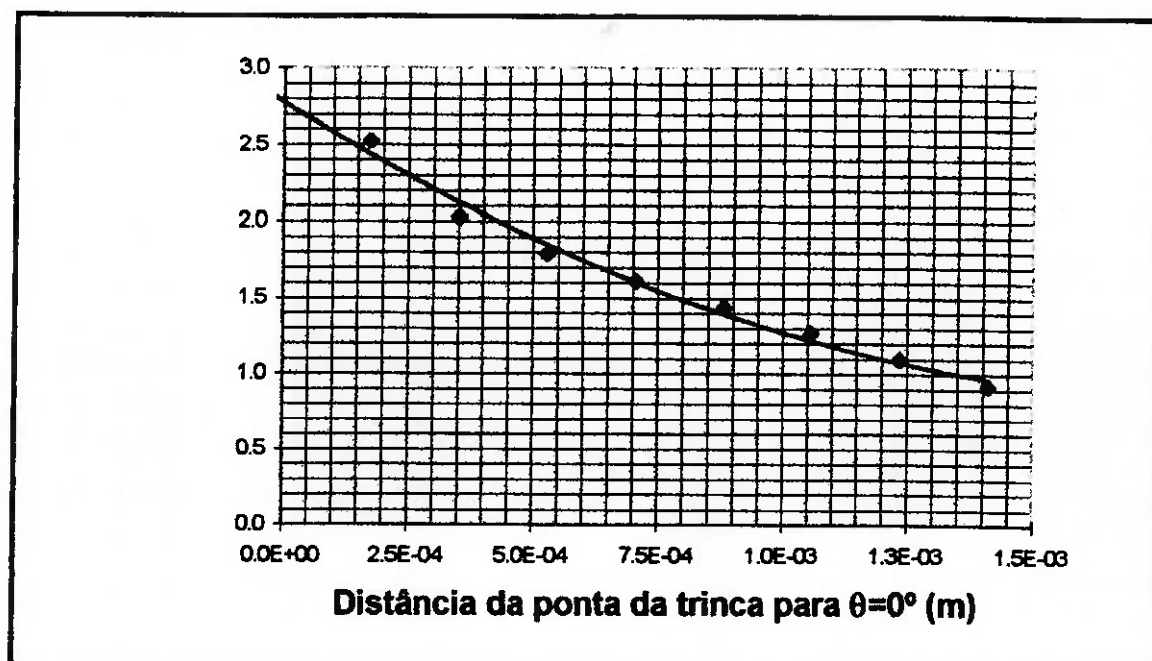


Fig. VII.1.2 - Gráfico $\sigma\sqrt{2\pi r}$ x r para trinca de 1,588 mm

Portanto, o fator K_I para a trinca de 1,588 mm é de cerca de 2,80 MPa.mm^{1/2}

VII.2 - Cálculo de K_I para Trinca de 1,235 mm

Mapeando as tensões para $\theta = 0^\circ$ do modelo com a trinca de 1,235 mm e do modelo sem trinca, obtém-se o seguinte gráfico:

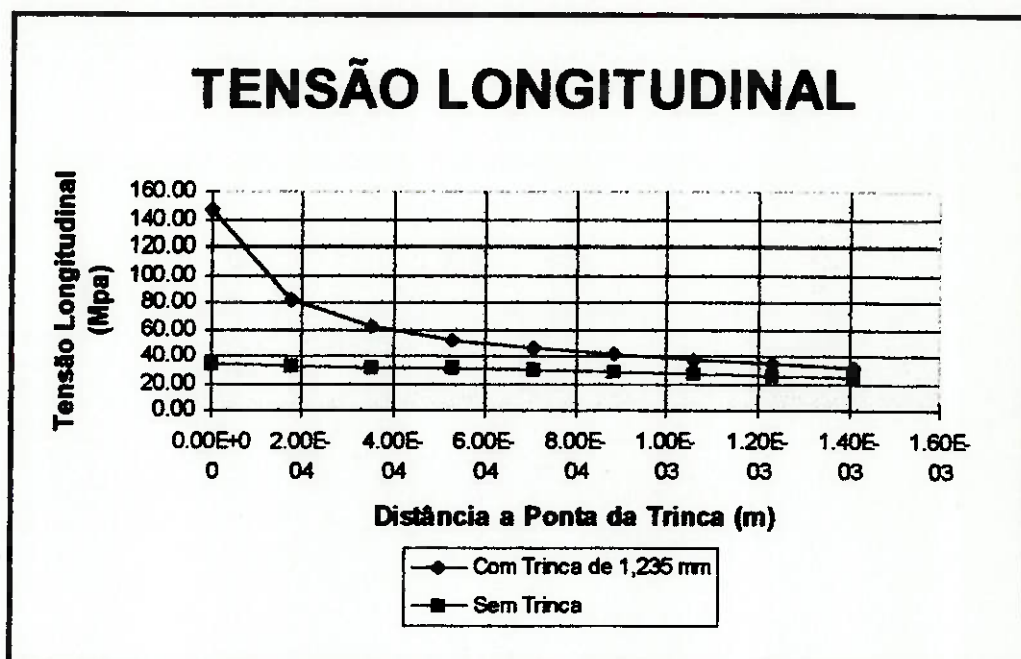


Fig. VII.2.1 - Gráfico da tensões em função da distância a ponta da trinca ($\theta=0^\circ$)

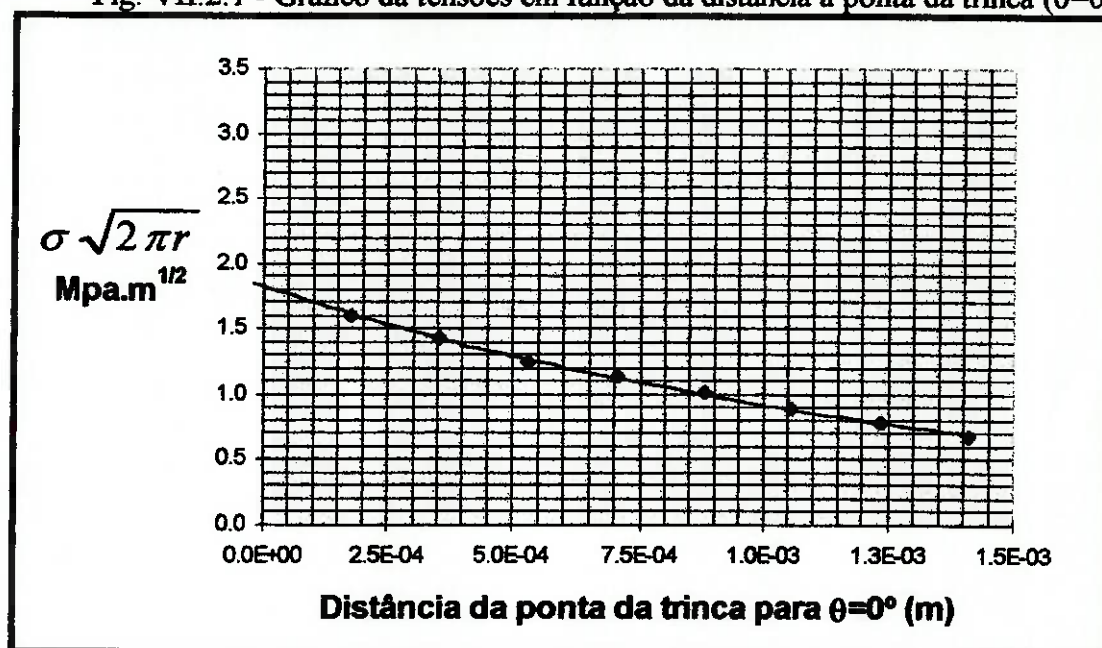


Fig. VII.2.2 - Gráfico $\sigma\sqrt{2\pi r}$ x r para trinca de 1,235 mm

Portanto, o fator K_I para a trinca de 1,235 mm é de cerca de 1,80 MPa.mm^{1/2}

VII.3 - Cálculo de K_I para Trinca de 0,705 mm

Mapeando as tensões para $\theta = 0^\circ$ do modelo com a trinca de 0,705 mm e do modelo sem trinca, obtém-se o seguinte gráfico:

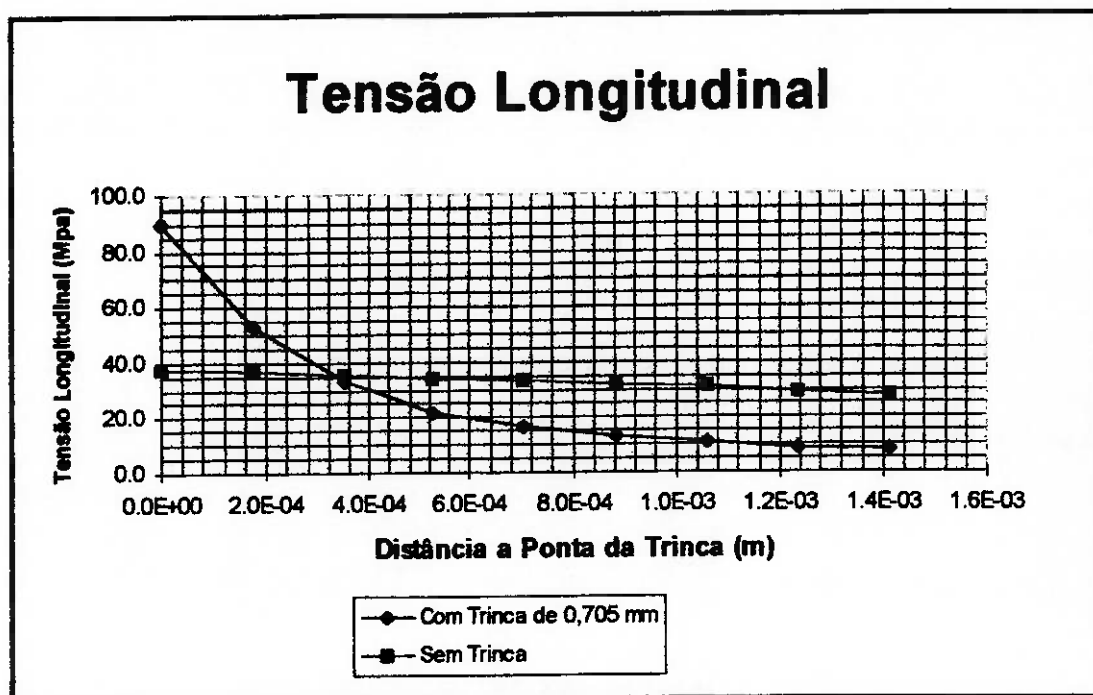


Fig. VII.3.1 - Gráfico da tensões em função da distância a ponta da trinca ($\theta=0^\circ$)

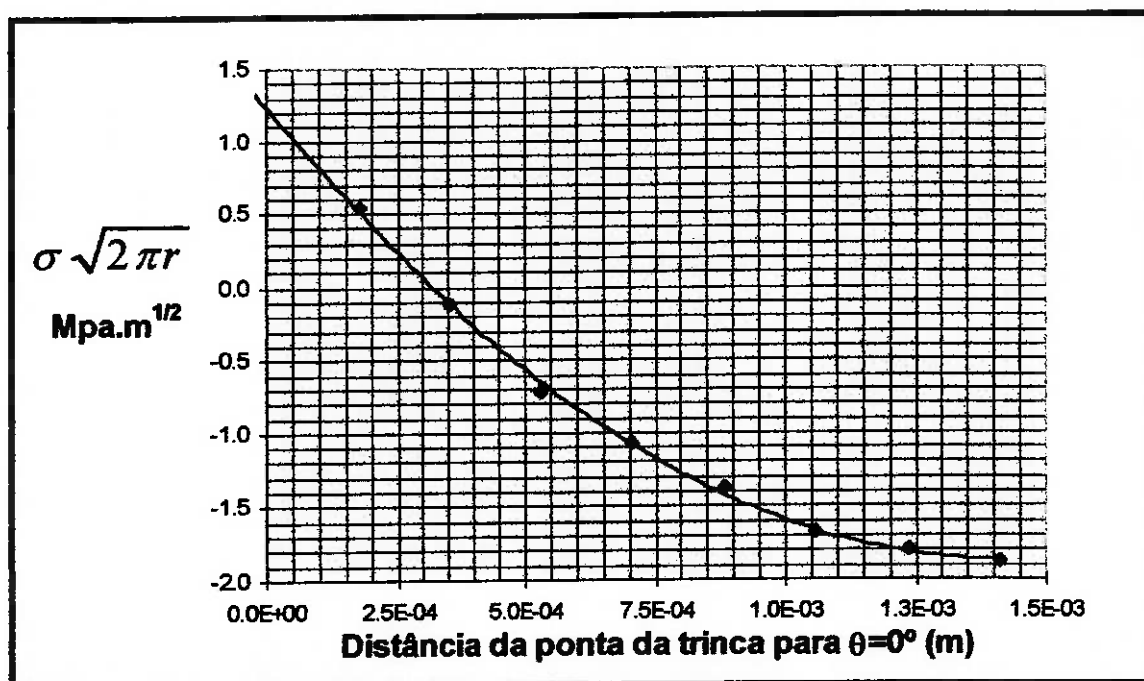


Fig. VII.3.2 - Gráfico $\sigma \sqrt{2\pi r}$ x r para trinca de 0,705 mm

Portanto, o fator K_I para a trinca de 0,705 mm é de cerca de 1,25 MPa.mm^{1/2}

APÊNDICE VIII - RESULTADOS DO M.E.F. PARA O MODELO SEM TRINCA

Nas páginas seguintes, estão a saída gráfica para a tensão longitudinal (S_{zz}) na região de junta circunferencial e a impressão da saída dos valores tensões do elementos próximos da linha da solda. Na figura VIII.1, mostra a região a qual se refere as páginas seguintes. Na figura VIII.2, estão o números dos nós próximo a linha de solda da junta circunferencial.

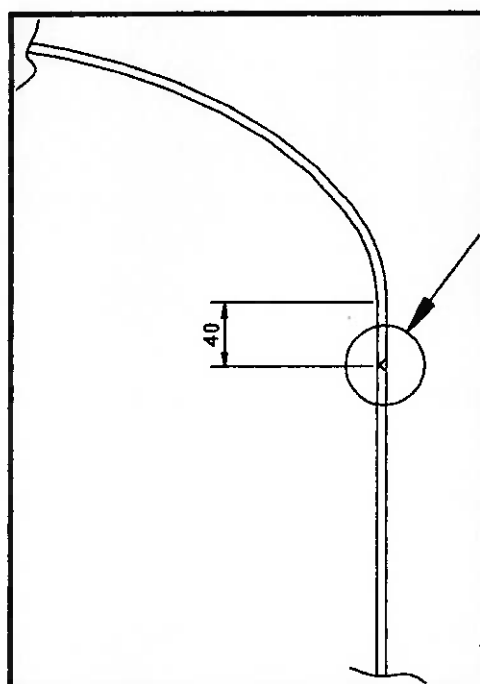


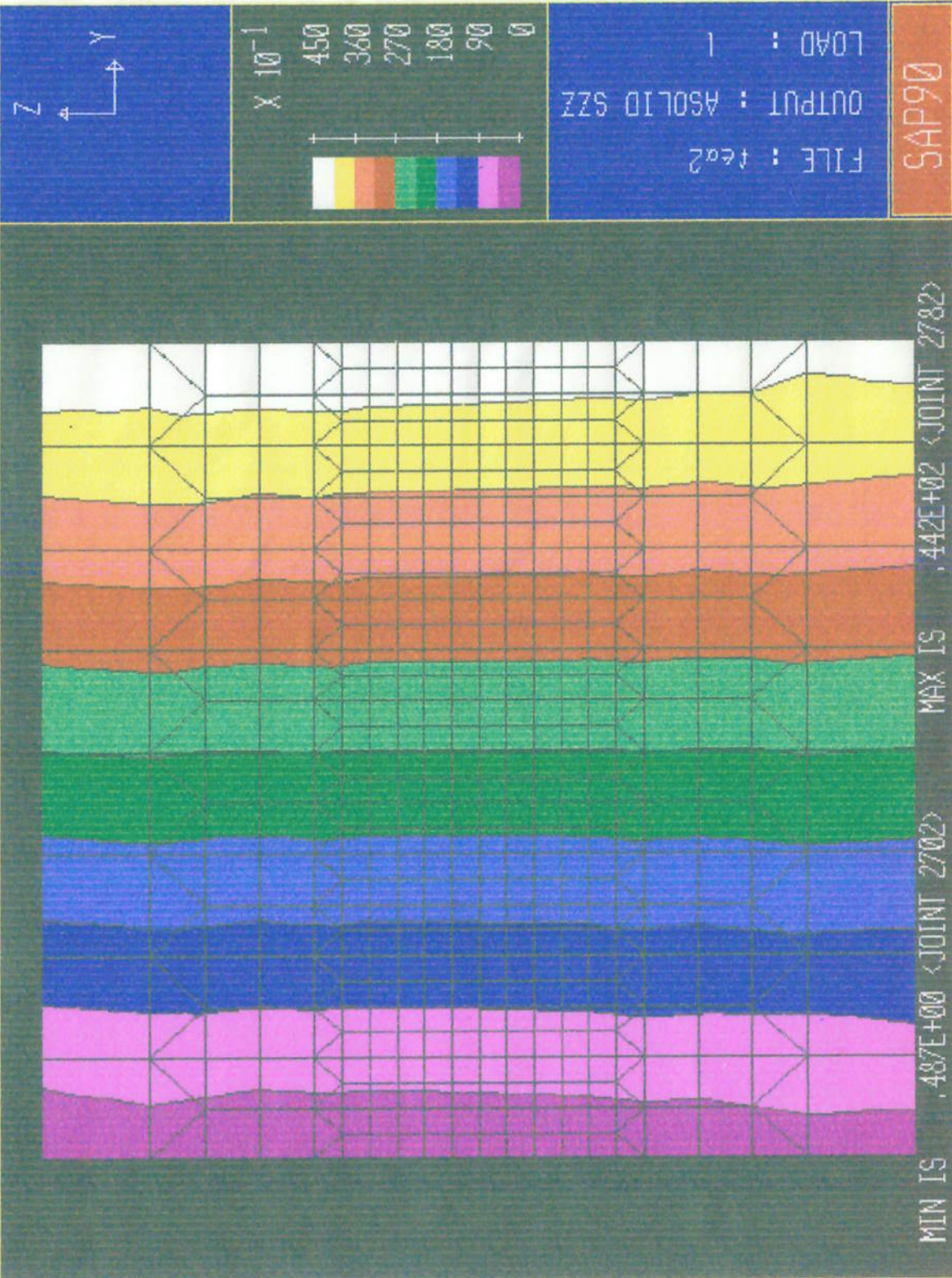
Fig. VIII.1 - Região das saída de dados das páginas que seguem

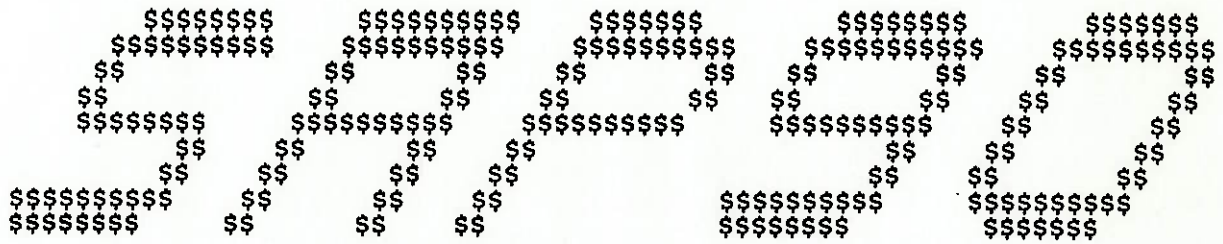
5,7mm = 32@0,1781mm							
1504	1514	1524	1534	1794	1804	1814	1824
2157	2152	2147		2012	2007	2002	
1505	1515	1525	1535	1795	1805	1815	1825
2156	2151	2146		2011	2006	2001	
1506	1516	1526	1536	1796	1806	1816	1826
2001	2011	2021	2031	2291	2301	2311	2321
2360	2355	2350		2215	2210	2205	
2002	2012	2022	2032	2292	2302	2312	2322
2359	2354	2349		2214	2209	2204	
2003	2013	2023	2033	2293	2303	2313	2323

PARA O TAMPO

LINHA DE SOLDA

Fig. VII.2 - Número dos nós e elementos das proximidades da linha de solda da junta circunferencial





STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION 5.04

Copyright (C) 1978-1988
EDWARD L. WILSON
All rights reserved

MODELO SEM TRINCA

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2001 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1826	-.01	43.67	38.60	-.31	43.67	-.01	-89.60
1825	-.01	43.67	38.51	.36	43.68	-.01	89.53
1816	-.01	42.33	38.62	-.31	42.34	-.01	-89.59
1815	-.01	42.33	38.52	.36	42.34	-.01	89.51
ELEMENT ID 2006 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1816	-.02	42.33	38.62	-.26	42.34	-.03	-89.65
1815	-.02	42.33	38.52	.42	42.34	-.03	89.44
1806	-.02	40.99	38.64	-.26	40.99	-.03	-89.64
1805	-.02	40.99	38.54	.42	40.99	-.03	89.42
ELEMENT ID 2011 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1806	-.04	40.99	38.64	-.21	40.99	-.04	-89.71
1805	-.04	40.99	38.54	.46	40.99	-.04	89.35
1796	-.04	39.64	38.66	-.21	39.64	-.04	-89.70
1795	-.04	39.64	38.56	.46	39.65	-.04	89.33
ELEMENT ID 2016 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1796	-.05	39.64	38.66	-.17	39.64	-.05	-89.76
1795	-.05	39.64	38.56	.51	39.65	-.06	89.27
1786	-.05	38.30	38.68	-.17	38.30	-.05	-89.75
1785	-.05	38.30	38.58	.51	38.30	-.06	89.24
ELEMENT ID 2021 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1786	-.07	38.30	38.68	-.13	38.30	-.07	-89.81
1785	-.07	38.30	38.58	.54	38.30	-.08	89.19
1776	-.07	36.96	38.70	-.13	36.96	-.07	-89.81
1775	-.07	36.96	38.60	.54	36.96	-.08	89.16
ELEMENT ID 2026 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1776	-.09	36.96	38.70	-.09	36.96	-.09	-89.86
1775	-.09	36.96	38.60	.58	36.96	-.10	89.10
1766	-.09	35.62	38.72	-.09	35.62	-.09	-89.86
1765	-.09	35.62	38.62	.58	35.63	-.10	89.07
ELEMENT ID 2031 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1766	-.11	35.62	38.72	-.06	35.62	-.11	-89.91
1765	-.11	35.62	38.62	.61	35.63	-.12	89.02
1756	-.11	34.28	38.74	-.06	34.28	-.11	-89.91

MODELO SEM TRINCA

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2031	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1755	-.11	34.28	38.64	.61	34.29	-.12	88.98
ELEMENT ID	2036	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1756	-.14	34.28	38.74	-.02	34.28	-.14	-89.96
1755	-.13	34.28	38.64	.64	34.30	-.15	88.94
1746	-.14	32.95	38.76	-.03	32.95	-.14	-89.96
1745	-.13	32.95	38.66	.64	32.96	-.15	88.89
ELEMENT ID	2041	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1746	-.16	32.95	38.76	.00	32.95	-.16	90.00
1745	-.16	32.95	38.66	.67	32.97	-.17	88.85
1736	-.16	31.62	38.78	.00	31.62	-.16	90.00
1735	-.16	31.62	38.68	.67	31.64	-.17	88.80
ELEMENT ID	2046	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1736	-.19	31.62	38.78	.03	31.62	-.19	89.95
1735	-.19	31.62	38.68	.69	31.64	-.20	88.76
1726	-.19	30.30	38.79	.03	30.30	-.19	89.95
1725	-.19	30.30	38.70	.69	30.31	-.20	88.71
ELEMENT ID	2051	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1726	-.22	30.30	38.79	.05	30.30	-.22	89.91
1725	-.21	30.30	38.70	.71	30.31	-.23	88.67
1716	-.22	28.97	38.81	.05	28.97	-.22	89.91
1715	-.21	28.97	38.72	.71	28.99	-.23	88.61
ELEMENT ID	2056	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1716	-.24	28.97	38.81	.06	28.97	-.24	89.88
1715	-.24	28.97	38.72	.72	28.99	-.26	88.58
1706	-.24	27.65	38.83	.06	27.65	-.24	89.87
1705	-.24	27.65	38.74	.72	27.67	-.26	88.52
ELEMENT ID	2061	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1706	-.27	27.65	38.83	.08	27.65	-.27	89.84
1705	-.27	27.65	38.74	.74	27.67	-.29	88.49
1696	-.27	26.33	38.85	.08	26.33	-.27	89.84
1695	-.27	26.33	38.76	.74	26.35	-.29	88.42

MODELO SEM TRINCA

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2066 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1696	-.30	26.33	38.85	.09	26.33	-.30	89.81
1695	-.30	26.33	38.76	.75	26.35	-.32	88.40
1686	-.30	25.01	38.87	.09	25.01	-.30	89.80
1685	-.30	25.01	38.78	.75	25.03	-.32	88.31
ELEMENT ID 2071 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1686	-.33	25.01	38.87	.09	25.01	-.33	89.79
1685	-.33	25.01	38.78	.75	25.03	-.36	88.30
1676	-.33	23.69	38.89	.09	23.69	-.33	89.78
1675	-.33	23.69	38.80	.75	23.71	-.36	88.21
ELEMENT ID 2076 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1676	-.36	23.69	38.89	.10	23.69	-.36	89.77
1675	-.36	23.69	38.80	.76	23.71	-.39	88.20
1666	-.36	22.37	38.91	.10	22.37	-.36	89.75
1665	-.36	22.37	38.82	.76	22.39	-.39	88.09
ELEMENT ID 2081 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1666	-.39	22.37	38.91	.10	22.37	-.40	89.75
1665	-.39	22.37	38.82	.76	22.39	-.42	88.09
1656	-.39	21.05	38.93	.10	21.05	-.40	89.74
1655	-.39	21.05	38.84	.76	21.08	-.42	87.98
ELEMENT ID 2086 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1656	-.43	21.05	38.93	.10	21.05	-.43	89.74
1655	-.43	21.05	38.84	.76	21.08	-.45	87.98
1646	-.43	19.73	38.95	.10	19.73	-.43	89.73
1645	-.43	19.73	38.86	.76	19.76	-.45	87.85
ELEMENT ID 2091 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1646	-.46	19.73	38.95	.09	19.73	-.46	89.74
1645	-.46	19.73	38.86	.75	19.76	-.48	87.87
1636	-.46	18.41	38.97	.09	18.41	-.46	89.72
1635	-.46	18.41	38.88	.75	18.44	-.49	87.72
ELEMENT ID 2096 -----							
LOAD COND 1 -----							
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1636	-.49	18.41	38.97	.08	18.41	-.49	89.75
1635	-.49	18.41	38.88	.74	18.44	-.52	87.75
1626	-.49	17.08	38.99	.08	17.08	-.49	89.73

MODELO SEM TRINCA

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2096	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1625	-.49	17.08	38.90	.74	17.12	-.52	87.58
ELEMENT ID	2101	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1626	-.52	17.08	38.99	.07	17.08	-.52	89.77
1625	-.52	17.08	38.90	.73	17.11	-.55	87.62
1616	-.52	15.76	39.01	.07	15.76	-.52	89.75
1615	-.52	15.76	38.92	.73	15.79	-.55	87.43
ELEMENT ID	2106	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1616	-.54	15.76	39.01	.05	15.76	-.54	89.81
1615	-.55	15.76	38.92	.72	15.79	-.58	87.48
1606	-.54	14.43	39.03	.06	14.43	-.54	89.79
1605	-.55	14.43	38.94	.72	14.47	-.58	87.26
ELEMENT ID	2111	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1606	-.57	14.43	39.03	.04	14.43	-.57	89.86
1605	-.57	14.43	38.94	.70	14.47	-.61	87.34
1596	-.57	13.10	39.05	.04	13.10	-.57	89.85
1595	-.57	13.10	38.96	.70	13.14	-.61	87.08
ELEMENT ID	2116	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1596	-.60	13.10	39.05	.01	13.10	-.60	89.95
1595	-.60	13.10	38.96	.68	13.14	-.63	87.17
1586	-.60	11.77	39.07	.01	11.77	-.60	89.94
1585	-.60	11.77	38.98	.68	11.81	-.64	86.87
ELEMENT ID	2121	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1586	-.63	11.77	39.07	-.01	11.77	-.63	-89.93
1585	-.63	11.77	38.98	.65	11.81	-.66	86.99
1576	-.63	10.43	39.09	-.01	10.43	-.63	-89.92
1575	-.63	10.43	39.00	.65	10.47	-.67	86.63
ELEMENT ID	2126	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1576	-.65	10.43	39.09	-.05	10.43	-.65	-89.76
1575	-.65	10.43	39.00	.62	10.47	-.69	86.78
1566	-.65	9.09	39.11	-.05	9.09	-.65	-89.73
1565	-.65	9.09	39.02	.62	9.13	-.69	86.35

MODELO SEM TRINCA

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2131	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1566	-.67	9.09	39.11	-.08	9.09	-.67	-89.52	
1565	-.67	9.09	39.02	.59	9.13	-.71	86.54	
1556	-.67	7.74	39.13	-.08	7.74	-.67	-89.44	
1555	-.67	7.74	39.04	.59	7.78	-.71	86.00	
ELEMENT ID	2136	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1556	-.69	7.74	39.13	-.12	7.74	-.69	-89.18	
1555	-.69	7.74	39.04	.56	7.78	-.72	86.24	
1546	-.69	6.39	39.15	-.12	6.39	-.69	-89.02	
1545	-.69	6.39	39.06	.56	6.43	-.73	85.53	
ELEMENT ID	2141	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1546	-.70	6.39	39.15	-.16	6.39	-.71	-88.68	
1545	-.70	6.39	39.06	.52	6.42	-.74	85.85	
1536	-.70	5.02	39.17	-.16	5.03	-.71	-88.36	
1535	-.70	5.02	39.08	.52	5.07	-.75	84.88	
ELEMENT ID	2146	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1536	-.71	5.02	39.17	-.21	5.03	-.72	-87.92	
1535	-.71	5.02	39.08	.47	5.06	-.75	85.31	
1526	-.71	3.66	39.19	-.21	3.67	-.72	-87.27	
1525	-.71	3.66	39.10	.47	3.71	-.76	83.87	
ELEMENT ID	2151	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1526	-.72	3.66	39.19	-.26	3.67	-.73	-86.65	
1525	-.72	3.66	39.10	.42	3.70	-.76	84.51	
1516	-.72	2.29	39.21	-.26	2.32	-.74	-85.17	
1515	-.72	2.29	39.12	.42	2.35	-.78	82.12	
ELEMENT ID	2156	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1516	-.36	2.29	39.21	-.31	2.33	-.40	-83.49	
1515	-.36	2.29	39.12	.37	2.34	-.41	82.29	
1506	-.36	.95	39.23	-.31	1.02	-.43	-77.42	
1505	-.36	.95	39.14	.37	1.04	-.46	75.38	
ELEMENT ID	2205	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2322	-.01	43.62	38.69	-.31	43.62	-.01	-89.60	
2321	-.01	43.62	38.60	.36	43.62	-.01	89.53	
2312	-.01	42.28	38.71	-.31	42.29	-.01	-89.58	

MODELO SEM TRINCA

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2205	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2311	-.01	42.28	38.62	.36	42.29	-.01	89.51	
ELEMENT ID	2210	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2312	-.02	42.28	38.71	-.26	42.29	-.02	-89.65	
2311	-.02	42.28	38.62	.41	42.29	-.03	89.45	
2302	-.02	40.94	38.73	-.26	40.94	-.02	-89.64	
2301	-.02	40.94	38.64	.41	40.95	-.03	89.43	
ELEMENT ID	2215	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2302	-.04	40.94	38.73	-.21	40.94	-.04	-89.70	
2301	-.04	40.94	38.64	.46	40.95	-.04	89.36	
2292	-.04	39.60	38.75	-.21	39.60	-.04	-89.69	
2291	-.04	39.60	38.66	.46	39.60	-.04	89.34	
ELEMENT ID	2220	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2292	-.05	39.60	38.75	-.17	39.60	-.05	-89.76	
2291	-.05	39.60	38.66	.50	39.60	-.06	89.28	
2282	-.05	38.26	38.77	-.17	38.26	-.05	-89.75	
2281	-.05	38.26	38.68	.50	38.26	-.06	89.25	
ELEMENT ID	2225	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2282	-.07	38.26	38.77	-.13	38.26	-.07	-89.81	
2281	-.07	38.26	38.68	.54	38.26	-.08	89.19	
2272	-.07	36.92	38.79	-.13	36.92	-.07	-89.81	
2271	-.07	36.92	38.70	.54	36.93	-.08	89.16	
ELEMENT ID	2230	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2272	-.09	36.92	38.79	-.09	36.92	-.09	-89.87	
2271	-.09	36.92	38.70	.58	36.93	-.10	89.10	
2262	-.09	35.58	38.81	-.09	35.58	-.09	-89.86	
2261	-.09	35.58	38.72	.58	35.59	-.10	89.07	
ELEMENT ID	2235	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2262	-.11	35.58	38.81	-.05	35.58	-.11	-89.92	
2261	-.11	35.58	38.72	.61	35.59	-.12	89.02	
2252	-.11	34.25	38.83	-.05	34.25	-.11	-89.91	
2251	-.11	34.25	38.74	.61	34.26	-.12	88.98	

MODELO SEM TRINCA

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2240	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2252	-.14	34.25	38.83	-.02	34.25	-.14	-89.97	
2251	-.14	34.25	38.74	.64	34.27	-.15	88.93	
2242	-.14	32.93	38.85	-.02	32.93	-.14	-89.97	
2241	-.14	32.93	38.76	.64	32.94	-.15	88.88	
ELEMENT ID	2245	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2242	-.16	32.93	38.85	.01	32.93	-.16	89.98	
2241	-.16	32.93	38.76	.67	32.94	-.17	88.84	
2232	-.16	31.60	38.87	.01	31.60	-.16	89.98	
2231	-.16	31.60	38.78	.67	31.61	-.17	88.79	
ELEMENT ID	2250	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2232	-.19	31.60	38.87	.03	31.60	-.19	89.94	
2231	-.19	31.60	38.78	.69	31.62	-.20	88.75	
2222	-.19	30.28	38.89	.03	30.28	-.19	89.94	
2221	-.19	30.28	38.79	.69	30.29	-.20	88.69	
ELEMENT ID	2255	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2222	-.22	30.28	38.89	.06	30.28	-.22	89.90	
2221	-.22	30.28	38.79	.72	30.29	-.23	88.66	
2212	-.22	28.96	38.91	.05	28.96	-.22	89.89	
2211	-.22	28.96	38.81	.71	28.97	-.23	88.60	
ELEMENT ID	2260	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2212	-.24	28.96	38.91	.07	28.96	-.24	89.86	
2211	-.24	28.96	38.81	.73	28.98	-.26	88.56	
2202	-.24	27.64	38.93	.07	27.64	-.24	89.85	
2201	-.24	27.64	38.83	.73	27.66	-.26	88.50	
ELEMENT ID	2265	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2202	-.27	27.64	38.93	.09	27.64	-.27	89.82	
2201	-.27	27.64	38.83	.75	27.66	-.29	88.47	
2192	-.27	26.32	38.95	.09	26.32	-.27	89.81	
2191	-.27	26.32	38.85	.75	26.34	-.29	88.40	
ELEMENT ID	2270	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2192	-.30	26.32	38.95	.10	26.32	-.30	89.79	
2191	-.30	26.32	38.85	.76	26.34	-.33	88.37	
2182	-.30	25.00	38.97	.10	25.00	-.30	89.78	

MODELO SEM TRINCA

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2270	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2181	-.30	25.00	38.87	.76	25.03	-.33	88.29

ELEMENT ID	2275	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2182	-.33	25.00	38.97	.11	25.00	-.33	89.76
2181	-.33	25.00	38.87	.76	25.03	-.36	88.28
2172	-.33	23.69	38.99	.11	23.69	-.33	89.75
2171	-.33	23.69	38.89	.76	23.71	-.36	88.18

ELEMENT ID	2280	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2172	-.36	23.69	38.99	.11	23.69	-.36	89.74
2171	-.36	23.69	38.89	.77	23.71	-.39	88.17
2162	-.36	22.37	39.01	.11	22.37	-.36	89.72
2161	-.36	22.37	38.91	.77	22.39	-.39	88.07

ELEMENT ID	2285	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2162	-.40	22.37	39.01	.11	22.37	-.40	89.72
2161	-.39	22.37	38.91	.77	22.39	-.42	88.07
2152	-.40	21.05	39.03	.11	21.05	-.40	89.71
2151	-.39	21.05	38.93	.77	21.08	-.42	87.95

ELEMENT ID	2290	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2152	-.42	21.05	39.03	.11	21.05	-.43	89.71
2151	-.43	21.05	38.93	.77	21.08	-.45	87.96
2142	-.42	19.73	39.05	.11	19.73	-.43	89.69
2141	-.43	19.73	38.95	.77	19.76	-.45	87.83

ELEMENT ID	2295	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2142	-.46	19.73	39.05	.10	19.73	-.46	89.71
2141	-.46	19.73	38.95	.76	19.76	-.48	87.84
2132	-.46	18.42	39.07	.10	18.42	-.46	89.69
2131	-.46	18.42	38.97	.76	18.45	-.49	87.69

ELEMENT ID	2300	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2132	-.48	18.42	39.07	.09	18.42	-.49	89.72
2131	-.49	18.42	38.97	.75	18.45	-.52	87.72
2122	-.48	17.10	39.09	.09	17.10	-.49	89.70
2121	-.49	17.10	38.99	.75	17.13	-.52	87.55

MODELO SEM TRINCA

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2305	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2122	-.51	17.10	39.09	.08	17.10	-.51	89.74	
2121	-.52	17.10	38.99	.74	17.13	-.55	87.60	
2112	-.51	15.77	39.11	.08	15.78	-.51	89.72	
2111	-.52	15.77	39.01	.74	15.81	-.55	87.40	
ELEMENT ID	2310	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2112	-.54	15.77	39.11	.06	15.78	-.54	89.77	
2111	-.54	15.77	39.01	.73	15.81	-.58	87.46	
2102	-.54	14.45	39.13	.07	14.45	-.54	89.75	
2101	-.54	14.45	39.03	.73	14.49	-.58	87.23	
ELEMENT ID	2315	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2102	-.57	14.45	39.13	.04	14.45	-.57	89.83	
2101	-.57	14.45	39.03	.71	14.49	-.61	87.31	
2092	-.57	13.13	39.15	.05	13.13	-.57	89.81	
2091	-.57	13.13	39.05	.71	13.16	-.61	87.05	
ELEMENT ID	2320	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2092	-.60	13.13	39.15	.02	13.13	-.60	89.92	
2091	-.60	13.13	39.05	.68	13.16	-.63	87.16	
2082	-.60	11.80	39.17	.02	11.80	-.60	89.90	
2081	-.60	11.80	39.07	.68	11.84	-.64	86.85	
ELEMENT ID	2325	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2082	-.63	11.80	39.17	-.01	11.80	-.63	-89.96	
2081	-.63	11.80	39.07	.66	11.83	-.66	86.98	
2072	-.63	10.47	39.19	-.01	10.47	-.63	-89.96	
2071	-.63	10.47	39.09	.66	10.50	-.67	86.62	
ELEMENT ID	2330	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2072	-.65	10.47	39.19	-.04	10.47	-.65	-89.78	
2071	-.65	10.47	39.09	.63	10.50	-.69	86.79	
2062	-.65	9.13	39.21	-.04	9.13	-.65	-89.75	
2061	-.65	9.13	39.11	.63	9.17	-.69	86.35	
ELEMENT ID	2335	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2062	-.67	9.13	39.21	-.08	9.13	-.67	-89.52	
2061	-.67	9.13	39.11	.59	9.16	-.71	86.56	
2052	-.67	7.78	39.23	-.08	7.78	-.67	-89.44	

MODELO SEM TRINCA

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2335	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2051	-.67	7.78	39.13	.59	7.82	-.71	86.03
ELEMENT ID	2340	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2052	-.69	7.78	39.23	-.13	7.78	-.69	-89.15
2051	-.69	7.78	39.13	.55	7.82	-.72	86.30
2042	-.69	6.43	39.25	-.13	6.43	-.69	-88.99
2041	-.69	6.43	39.15	.55	6.47	-.73	85.61
ELEMENT ID	2345	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2042	-.70	6.43	39.25	-.17	6.43	-.71	-88.62
2041	-.70	6.43	39.15	.51	6.47	-.74	85.95
2032	-.70	5.07	39.27	-.17	5.07	-.71	-88.28
2031	-.70	5.07	39.17	.51	5.11	-.75	85.03
ELEMENT ID	2350	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2032	-.71	5.07	39.27	-.22	5.08	-.72	-87.81
2031	-.71	5.07	39.17	.46	5.11	-.75	85.47
2022	-.71	3.70	39.29	-.22	3.72	-.72	-87.13
2021	-.71	3.70	39.19	.46	3.75	-.76	84.12
ELEMENT ID	2355	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2022	-.72	3.70	39.29	-.27	3.72	-.74	-86.54
2021	-.72	3.70	39.19	.41	3.74	-.76	84.73
2012	-.72	2.34	39.31	-.27	2.37	-.74	-85.01
2011	-.72	2.34	39.21	.41	2.40	-.77	82.50
ELEMENT ID	2360	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2012	-.36	2.34	39.31	-.31	2.38	-.40	-83.51
2011	-.36	2.34	39.21	.36	2.39	-.41	82.56
2002	-.36	1.00	39.33	-.31	1.07	-.43	-77.68
2001	-.36	1.00	39.23	.36	1.09	-.45	76.08

APÊNDICE IX - RESULTADOS DO M.E.F. PARA O MODELO COM TRINCA DE 0,705 MM

Nas páginas seguintes, estão a saída gráfica para a tensão longitudinal (S_{zz}) na região de junta circunferencial e a impressão da saída dos valores tensões dos elementos próximos da linha da solda. Na figura IX.1, mostra a região a qual se refere as páginas seguintes. Na figura IX.2, estão o números dos nós próximo a linha de solda da junta circunferencial.

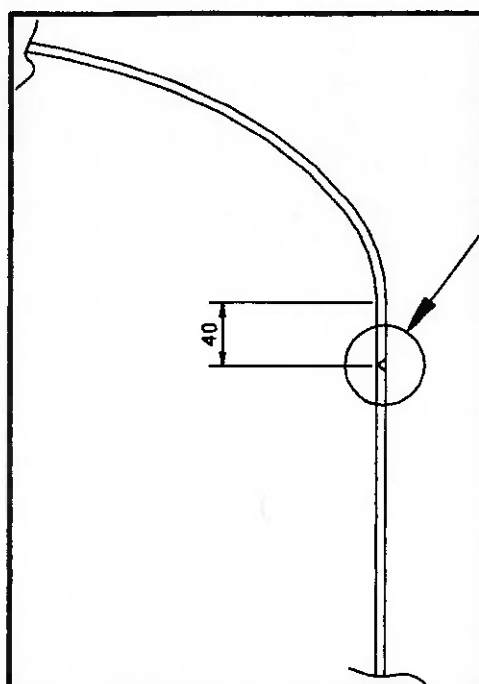


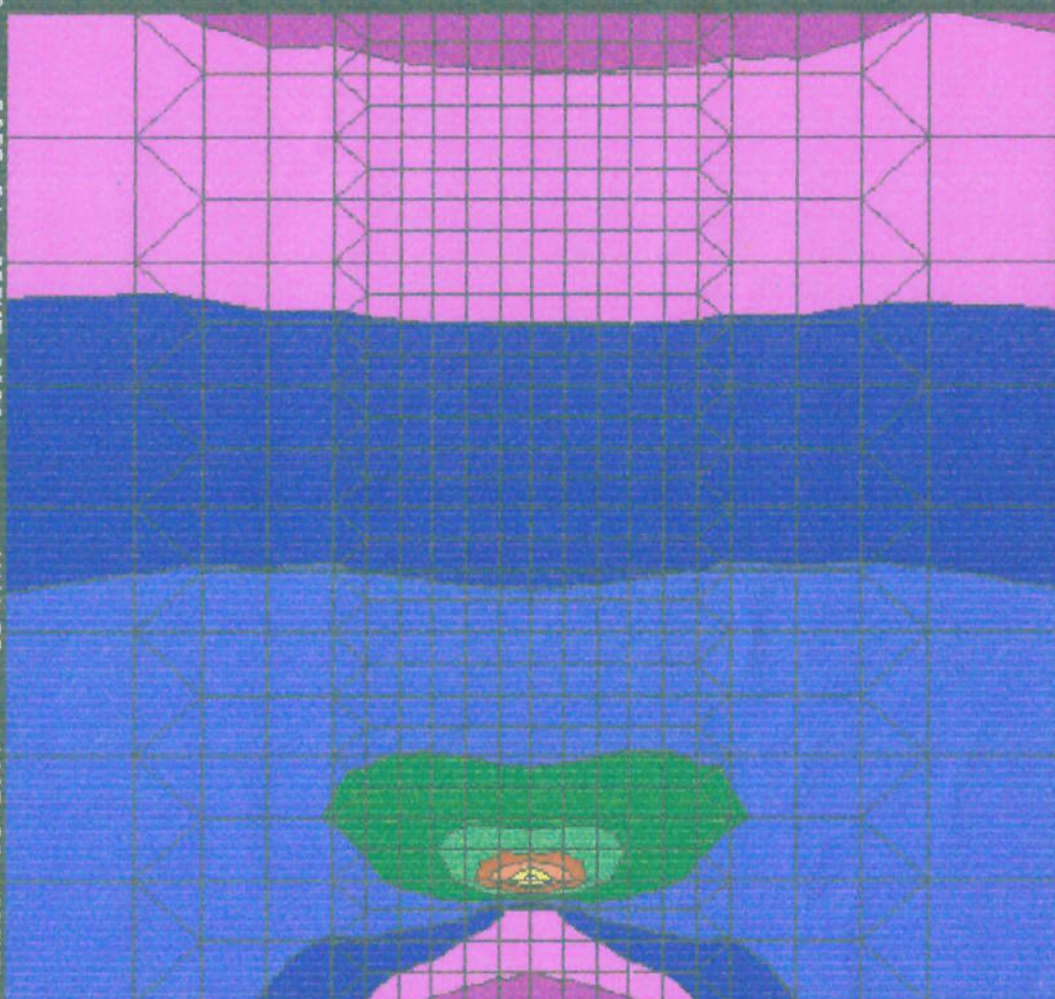
Fig. IX.1 - Região das saída de dados das páginas que seguem

5,7mm = 32@0,1781mm							
1504	1514	1524	1534	1794	1804	1814	1824
2157	2152	2147		2012	2007	2002	
1505	1515	1525	1535	1795	1805	1815	1825
2156	2151	2146		2011	2006	2001	
1506	1516	1526	1536	1796	1806	1816	1826
2001	2011	2021	2031	2291	2301	2311	2321
2360	2355	2350		2215	2210	2205	
2002	2012	2022	2032	2292	2302	2312	2322
2359	2354	2349		2214	2209	2204	
2003	2013	2023	2033	2293	2303	2313	2323

Fig. IX.2 - Número dos nós e elementos das proximidades da linha de solda da junta circunferencial

MIN IS -.530E+01 <JOINT 2323>

MAX IS .118E+03 <JOINT 1786>



SAP90

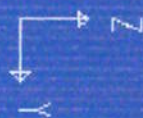
FILE : fea4

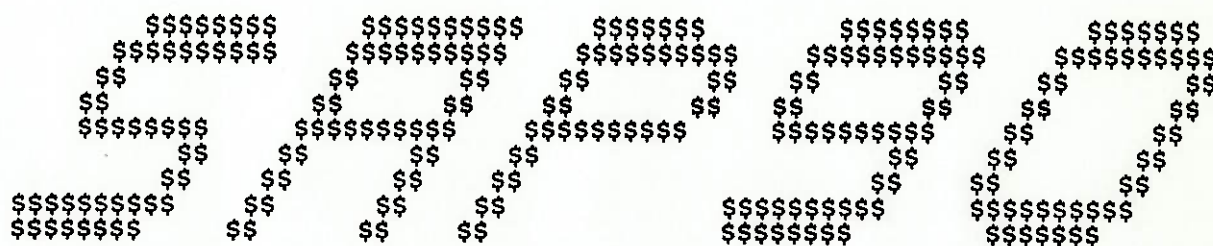
OUTPUT : ASOLID SZZ

LOAD : 1



-14 14 42 70 98 126





STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION 5.04

Copyright (C) 1978-1988
EDWARD L. WILSON
All rights reserved

MODELO COM TRINCA 0,705mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2001 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1826	-2.28	-1.99	39.03	-.28	-1.82	-2.46	-58.56
1825	.74	-1.99	38.90	-1.24	1.22	-2.47	-21.07
1816	-2.28	-.09	39.05	-1.80	.92	-3.29	-60.72
1815	.74	-.09	38.92	-2.75	3.11	-2.45	-40.73

ELEMENT ID 2006 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1816	-7.75	-.09	39.05	2.16	.48	-8.31	75.31
1815	4.72	-.09	38.92	.95	4.90	-.27	10.82
1806	-7.75	2.32	39.07	-4.08	3.77	-9.19	-70.49
1805	4.72	2.32	38.93	-5.29	8.94	-1.90	-38.61

ELEMENT ID 2011 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1806	-11.13	2.32	39.07	9.15	6.95	-15.76	63.16
1805	17.48	2.32	38.93	9.64	22.16	-2.36	25.92
1796	-11.13	1.34	39.10	-5.16	3.20	-12.99	-70.19
1795	17.48	1.34	38.94	-4.67	18.73	.09	-15.04

ELEMENT ID 2016 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1796	40.58	1.34	39.10	55.66	79.98	-38.06	35.29
1795	8.94	1.34	38.94	-2.69	9.79	.49	-17.64
1786	40.58	118.13	39.10	71.50	160.69	-1.98	59.24
1785	8.94	118.13	38.96	13.15	119.69	7.38	83.23

ELEMENT ID 2021 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1786	67.42	118.13	39.10	-43.06	142.74	42.81	-60.25
1785	6.51	118.13	38.96	-15.70	120.29	4.35	-82.15
1776	67.42	63.37	39.08	-12.58	78.14	52.65	-40.42
1775	6.51	63.37	38.98	14.78	66.98	2.90	76.27

ELEMENT ID 2026 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1776	34.82	63.37	39.08	-12.51	68.07	30.11	-69.38
1775	21.21	63.37	38.98	-6.49	64.34	20.24	-81.44
1766	34.82	51.32	39.08	-5.70	53.10	33.04	-72.67
1765	21.21	51.32	38.98	.32	51.32	21.21	89.40

ELEMENT ID 2031 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1766	23.01	51.32	39.08	-5.67	52.41	21.91	-79.09
1765	18.43	51.32	38.98	-2.36	51.49	18.26	-85.92
1756	23.01	44.70	39.09	-3.38	45.22	22.49	-81.36

MODELO COM TRINCA 0,705mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2031	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1755	18.43	44.70	38.99	-.07	44.70	18.43	-89.85
ELEMENT ID	2036	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1756	17.21	44.70	39.09	-3.34	45.10	16.81	-83.17
1755	14.93	44.70	38.99	-1.24	44.75	14.88	-87.62
1746	17.21	40.49	39.10	-2.20	40.70	17.00	-84.64
1745	14.93	40.49	39.01	-.10	40.49	14.93	-89.78
ELEMENT ID	2041	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1746	13.48	40.49	39.10	-2.18	40.66	13.31	-85.42
1745	12.21	40.49	39.01	-.60	40.50	12.19	-88.78
1736	13.48	37.34	39.12	-1.54	37.44	13.38	-86.33
1735	12.21	37.34	39.02	.03	37.34	12.21	89.93
ELEMENT ID	2046	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1736	10.88	37.34	39.12	-1.51	37.43	10.80	-86.74
1735	10.10	37.34	39.02	-.23	37.35	10.09	-89.51
1726	10.88	34.78	39.13	-1.12	34.83	10.83	-87.32
1725	10.10	34.78	39.03	.16	34.78	10.09	89.63
ELEMENT ID	2051	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1726	8.95	34.78	39.13	-1.10	34.83	8.91	-87.57
1725	8.44	34.78	39.03	.01	34.78	8.44	89.98
1716	8.95	32.56	39.15	-.84	32.59	8.92	-87.96
1715	8.44	32.56	39.05	.27	32.56	8.43	89.36
ELEMENT ID	2056	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1716	7.46	32.56	39.15	-.82	32.58	7.44	-88.12
1715	7.10	32.56	39.05	.18	32.56	7.10	89.59
1706	7.46	30.55	39.16	-.64	30.57	7.44	-88.40
1705	7.10	30.55	39.07	.36	30.55	7.10	89.12
ELEMENT ID	2061	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1706	6.27	30.55	39.16	-.63	30.56	6.26	-88.52
1705	6.01	30.55	39.07	.30	30.55	6.01	89.29
1696	6.27	28.68	39.18	-.50	28.69	6.26	-88.72
1695	6.01	28.68	39.08	.43	28.69	6.01	88.91

MODELO COM TRINCA 0,705mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2066	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1696	5.30	28.68	39.18	-.49	28.69	5.29	-88.80
1695	5.11	28.68	39.08	.40	28.69	5.10	89.04
1686	5.30	26.91	39.20	-.40	26.91	5.29	-88.95
1685	5.11	26.91	39.10	.49	26.92	5.10	88.71
ELEMENT ID	2071	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1686	4.48	26.91	39.20	-.39	26.91	4.48	-89.01
1685	4.34	26.91	39.10	.46	26.92	4.33	88.82
1676	4.48	25.20	39.21	-.32	25.20	4.48	-89.12
1675	4.34	25.20	39.12	.54	25.21	4.33	88.53
ELEMENT ID	2076	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1676	3.79	25.20	39.21	-.31	25.20	3.79	-89.16
1675	3.68	25.20	39.12	.52	25.21	3.67	88.62
1666	3.79	23.53	39.23	-.26	23.54	3.79	-89.25
1665	3.68	23.53	39.14	.57	23.55	3.67	88.35
ELEMENT ID	2081	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1666	3.19	23.53	39.23	-.26	23.54	3.19	-89.27
1665	3.11	23.53	39.14	.56	23.55	3.09	88.44
1656	3.19	21.90	39.25	-.22	21.91	3.19	-89.34
1655	3.11	21.90	39.15	.60	21.92	3.09	88.17
ELEMENT ID	2086	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1656	2.67	21.90	39.25	-.22	21.91	2.67	-89.35
1655	2.61	21.90	39.15	.59	21.92	2.59	88.26
1646	2.67	20.29	39.27	-.18	20.29	2.67	-89.40
1645	2.61	20.29	39.17	.62	20.31	2.58	87.99
ELEMENT ID	2091	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1646	2.21	20.29	39.27	-.19	20.29	2.21	-89.40
1645	2.16	20.29	39.17	.61	20.31	2.14	88.08
1636	2.21	18.69	39.29	-.16	18.70	2.21	-89.43
1635	2.16	18.69	39.19	.63	18.72	2.13	87.80
ELEMENT ID	2096	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1636	1.80	18.69	39.29	-.17	18.70	1.80	-89.41
1635	1.76	18.69	39.19	.62	18.72	1.73	87.90
1626	1.80	17.10	39.31	-.15	17.10	1.80	-89.43

MODELO COM TRINCA 0,705mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2096 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1625 1.76 17.10 39.21 .64

S(MAX) S(MIN) ANGLE
17.13 1.73 87.60

ELEMENT ID 2101 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1626 1.43 17.10 39.31 -.16
1625 1.40 17.10 39.21 .63
1616 1.43 15.51 39.32 -.15
1615 1.40 15.51 39.23 .65

S(MAX) S(MIN) ANGLE
17.10 1.43 -89.40
17.13 1.37 87.70
15.51 1.43 -89.40
15.54 1.37 87.38

ELEMENT ID 2106 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1616 1.09 15.51 39.32 -.16
1615 1.07 15.51 39.23 .63
1606 1.09 13.91 39.34 -.15
1605 1.07 13.91 39.25 .65

S(MAX) S(MIN) ANGLE
15.51 1.09 -89.35
15.54 1.04 87.49
13.91 1.09 -89.33
13.94 1.04 87.12

ELEMENT ID 2111 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1606 .79 13.91 39.34 -.17
1605 .77 13.91 39.25 .63
1596 .79 12.30 39.36 -.16
1595 .77 12.30 39.27 .64

S(MAX) S(MIN) ANGLE
13.91 .79 -89.26
13.94 .74 87.25
12.31 .79 -89.21
12.34 .73 86.81

ELEMENT ID 2116 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1596 .52 12.30 39.36 -.18
1595 .50 12.30 39.27 .63
1586 .52 10.68 39.38 -.17
1585 .50 10.68 39.29 .64

S(MAX) S(MIN) ANGLE
12.31 .51 -89.11
12.34 .47 86.96
10.68 .51 -89.02
10.72 .46 86.43

ELEMENT ID 2121 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1586 .27 10.68 39.38 -.20
1585 .25 10.68 39.29 .62
1576 .27 9.03 39.40 -.20
1575 .25 9.03 39.31 .63

S(MAX) S(MIN) ANGLE
10.68 .26 -88.89
10.72 .22 86.61
9.04 .26 -88.72
9.08 .21 85.94

ELEMENT ID 2126 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1576 .04 9.03 39.40 -.23
1575 .03 9.03 39.31 .61
1566 .04 7.36 39.42 -.22
1565 .03 7.36 39.33 .61

S(MAX) S(MIN) ANGLE
9.04 .03 -88.55
9.08 -.01 86.15
7.37 .03 -88.26
7.41 -.02 85.25

MODELO COM TRINCA 0,705mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2131 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1566	-.16	7.36	39.42	-.26	7.37	-.17	-88.03
1565	-.17	7.36	39.33	.59	7.41	-.21	85.51
1556	-.16	5.65	39.44	-.26	5.66	-.17	-87.49
1555	-.17	5.65	39.35	.60	5.71	-.23	84.19

ELEMENT ID 2136 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1556	-.33	5.65	39.44	-.29	5.67	-.35	-87.19
1555	-.34	5.65	39.35	.58	5.71	-.39	84.52
1546	-.33	3.90	39.46	-.29	3.92	-.35	-86.06
1545	-.34	3.90	39.37	.58	3.98	-.41	82.32

ELEMENT ID 2141 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1546	-.48	3.90	39.46	-.34	3.93	-.50	-85.65
1545	-.48	3.90	39.37	.56	3.97	-.55	82.77
1536	-.48	2.10	39.48	-.33	2.14	-.52	-82.74
1535	-.48	2.10	39.39	.57	2.22	-.60	78.15

ELEMENT ID 2146 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1536	-.59	2.10	39.48	-.38	2.15	-.64	-82.14
1535	-.59	2.10	39.39	.55	2.21	-.70	78.89
1526	-.59	.24	39.50	-.38	.39	-.73	-68.89
1525	-.59	.24	39.41	.55	.52	-.86	63.57

ELEMENT ID 2151 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1526	-.67	.24	39.50	-.42	.41	-.83	-68.52
1525	-.67	.24	39.41	.53	.49	-.91	65.34
1516	-.67	-1.67	39.52	-.42	-.51	-1.83	-20.10
1515	-.67	-1.67	39.43	.53	-.44	-1.90	23.41

ELEMENT ID 2156 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1516	-.35	-1.67	39.52	-.47	-.20	-1.82	-17.83
1515	-.35	-1.67	39.43	.51	-.18	-1.84	18.87
1506	-.35	-3.64	39.54	-.47	-.28	-3.71	-8.03
1505	-.35	-3.64	39.45	.51	-.27	-3.72	8.63

ELEMENT ID 2205 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2322	.72	-1.99	39.08	1.24	1.20	-2.47	21.24
2321	-2.28	-1.99	39.03	.30	-1.80	-2.47	57.92
2312	.72	-.11	39.10	2.74	3.07	-2.47	40.69

MODELO COM TRINCA 0,705mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2205 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2311	-2.28	-.11	39.05	1.80	.91	-3.30	60.52	
ELEMENT ID 2210 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2312	4.62	-.11	39.10	-.89	4.79	-.27	-10.32	
2311	-7.79	-.11	39.05	-2.09	.42	-8.32	-75.73	
2302	4.62	2.28	39.12	5.32	8.90	-1.99	38.79	
2301	-7.79	2.28	39.07	4.12	3.75	-9.26	70.34	
ELEMENT ID 2215 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2302	17.29	2.28	39.12	-9.53	21.92	-2.34	-25.89	
2301	-11.41	2.28	39.07	-9.01	6.75	-15.88	-63.61	
2292	17.29	1.24	39.13	4.83	18.63	-.10	15.52	
2291	-11.41	1.24	39.10	5.35	3.20	-13.36	69.88	
ELEMENT ID 2220 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2292	8.81	1.24	39.13	2.82	9.75	.30	18.35	
2291	39.64	1.24	39.10	-55.54	79.20	-38.33	-35.47	
2282	8.81	118.04	39.15	-12.60	119.48	7.38	-83.50	
2281	39.64	118.04	39.10	-70.96	159.91	-2.23	-59.46	
ELEMENT ID 2225 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2282	6.32	118.04	39.15	16.25	120.36	4.01	81.89	
2281	67.42	118.04	39.10	43.58	143.13	42.34	60.07	
2272	6.32	63.35	39.16	-14.32	66.74	2.93	-76.67	
2271	67.42	63.35	39.08	13.01	78.55	52.22	40.55	
ELEMENT ID 2230 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2272	21.13	63.35	39.16	7.05	64.50	19.98	80.76	
2271	34.82	63.35	39.08	13.08	68.44	29.73	68.75	
2262	21.13	51.29	39.17	.21	51.29	21.13	89.61	
2261	34.82	51.29	39.08	6.23	53.38	32.73	71.45	
ELEMENT ID 2235 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2262	18.39	51.29	39.17	2.96	51.56	18.13	84.89	
2261	23.01	51.29	39.08	6.27	52.62	21.68	78.05	
2252	18.39	44.68	39.18	.65	44.69	18.38	88.57	
2251	23.01	44.68	39.09	3.96	45.38	22.31	79.96	

MODELO COM TRINCA 0,705mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

```

ELEMENT ID  2240 -----
LOAD COND   1 -----
JOINT      S11      S22      S33      S12      S(MAX)      S(MIN)      ANGLE
2252      14.91      44.68      39.18      1.89      44.80      14.79      86.39
2251      17.21      44.68      39.09      3.99      45.25      16.64      81.90
2242      14.91      40.47      39.20      .74      40.49      14.89      88.35
2241      17.21      40.47      39.10      2.84      40.81      16.87      83.13
  
```

```

ELEMENT ID  2245 -----
LOAD COND   1 -----
JOINT      S11      S22      S33      S12      S(MAX)      S(MIN)      ANGLE
2242      12.19      40.47      39.20      1.30      40.52      12.13      87.37
2241      13.48      40.47      39.10      2.87      40.77      13.18      84.00
2232      12.19      37.32      39.21      .66      37.34      12.18      88.51
2231      13.48      37.32      39.12      2.23      37.53      13.27      84.71
  
```

```

ELEMENT ID  2250 -----
LOAD COND   1 -----
JOINT      S11      S22      S33      S12      S(MAX)      S(MIN)      ANGLE
2232      10.09      37.32      39.21      .97      37.36      10.05      87.96
2231      10.88      37.32      39.12      2.25      37.51      10.69      85.17
2222      10.09      34.76      39.22      .57      34.77      10.07      88.67
2221      10.88      34.76      39.13      1.85      34.90      10.74      85.59
  
```

```

ELEMENT ID  2255 -----
LOAD COND   1 -----
JOINT      S11      S22      S33      S12      S(MAX)      S(MIN)      ANGLE
2222      8.43      34.76      39.22      .76      34.78      8.41      88.34
2221      8.95      34.76      39.13      1.87      34.90      8.82      85.87
2212      8.43      32.54      39.24      .50      32.55      8.42      88.81
2211      8.95      32.54      39.15      1.61      32.65      8.84      86.11
  
```

```

ELEMENT ID  2260 -----
LOAD COND   1 -----
JOINT      S11      S22      S33      S12      S(MAX)      S(MIN)      ANGLE
2212      7.10      32.54      39.24      .63      32.56      7.08      88.59
2211      7.46      32.54      39.15      1.63      32.65      7.36      86.30
2202      7.10      30.53      39.26      .44      30.54      7.09      88.91
2201      7.46      30.53      39.16      1.45      30.62      7.37      86.43
  
```

```

ELEMENT ID  2265 -----
LOAD COND   1 -----
JOINT      S11      S22      S33      S12      S(MAX)      S(MIN)      ANGLE
2202      6.01      30.53      39.26      .53      30.55      6.00      88.77
2201      6.27      30.53      39.16      1.46      30.62      6.18      86.57
2192      6.01      28.67      39.27      .40      28.68      6.00      88.99
2191      6.27      28.67      39.18      1.33      28.75      6.19      86.61
  
```

```

ELEMENT ID  2270 -----
LOAD COND   1 -----
JOINT      S11      S22      S33      S12      S(MAX)      S(MIN)      ANGLE
2192      5.11      28.67      39.27      .46      28.68      5.10      88.89
2191      5.30      28.67      39.18      1.34      28.75      5.22      86.73
2182      5.11      26.90      39.29      .36      26.91      5.10      89.05
  
```

MODELO COM TRINCA 0,705mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2270	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2181	5.30	26.90	39.20	1.25	26.97	5.23	86.71
ELEMENT ID	2275	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2182	4.34	26.90	39.29	.40	26.91	4.33	88.98
2181	4.48	26.90	39.20	1.25	26.97	4.41	86.81
2172	4.34	25.19	39.31	.33	25.20	4.33	89.10
2171	4.48	25.19	39.21	1.18	25.26	4.42	86.75
ELEMENT ID	2280	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2172	3.68	25.19	39.31	.36	25.20	3.67	89.05
2171	3.79	25.19	39.21	1.18	25.26	3.73	86.84
2162	3.68	23.53	39.32	.30	23.54	3.68	89.13
2161	3.79	23.53	39.23	1.13	23.60	3.73	86.74
ELEMENT ID	2285	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2162	3.11	23.53	39.32	.32	23.54	3.10	89.11
2161	3.19	23.53	39.23	1.13	23.60	3.13	86.83
2152	3.11	21.91	39.34	.27	21.91	3.10	89.17
2151	3.19	21.91	39.25	1.09	21.97	3.13	86.69
ELEMENT ID	2290	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2152	2.61	21.91	39.34	.28	21.91	2.60	89.16
2151	2.67	21.91	39.25	1.08	21.97	2.61	86.78
2142	2.61	20.30	39.36	.25	20.30	2.60	89.20
2141	2.67	20.30	39.27	1.05	20.36	2.61	86.60
ELEMENT ID	2295	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2142	2.16	20.30	39.36	.25	20.30	2.15	89.21
2141	2.21	20.30	39.27	1.05	20.36	2.15	86.70
2132	2.16	18.70	39.38	.22	18.71	2.16	89.23
2131	2.21	18.70	39.29	1.02	18.77	2.15	86.48
ELEMENT ID	2300	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2132	1.76	18.70	39.38	.22	18.71	1.76	89.27
2131	1.80	18.70	39.29	1.01	18.76	1.74	86.59
2122	1.76	17.11	39.40	.20	17.12	1.76	89.27
2121	1.80	17.11	39.31	.99	17.18	1.74	86.32

MODELO COM TRINCA 0,705mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2305 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2122	1.40	17.11	39.40	.18	17.12	1.39	89.33
2121	1.43	17.11	39.31	.98	17.17	1.37	86.45
2112	1.40	15.53	39.42	.17	15.53	1.40	89.33
2111	1.43	15.53	39.32	.96	15.59	1.36	86.12

ELEMENT ID 2310 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2112	1.07	15.53	39.42	.15	15.53	1.07	89.41
2111	1.09	15.53	39.32	.94	15.59	1.03	86.27
2102	1.07	13.93	39.44	.14	13.93	1.07	89.40
2101	1.09	13.93	39.34	.93	14.00	1.03	85.87

ELEMENT ID 2315 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2102	.77	13.93	39.44	.11	13.93	.77	89.52
2101	.79	13.93	39.34	.91	13.99	.73	86.05
2092	.77	12.33	39.46	.10	12.33	.77	89.50
2091	.79	12.33	39.36	.90	12.40	.72	85.56

ELEMENT ID 2320 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2092	.50	12.33	39.46	.07	12.33	.50	89.67
2091	.52	12.33	39.36	.88	12.39	.45	85.78
2082	.50	10.71	39.48	.06	10.71	.50	89.66
2081	.52	10.71	39.38	.87	10.78	.44	85.16

ELEMENT ID 2325 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2082	.25	10.71	39.48	.02	10.71	.25	89.88
2081	.27	10.71	39.38	.84	10.78	.20	85.42
2072	.25	9.07	39.50	.02	9.07	.25	89.90
2071	.27	9.07	39.40	.84	9.15	.19	84.63

ELEMENT ID 2330 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2072	.03	9.07	39.50	-.03	9.07	.03	-89.81
2071	.04	9.07	39.40	.80	9.14	-.03	84.95
2062	.03	7.40	39.52	-.04	7.40	.03	-89.73
2061	.04	7.40	39.42	.80	7.48	-.05	83.87

ELEMENT ID 2335 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2062	-.17	7.40	39.52	-.09	7.40	-.17	-89.33
2061	-.16	7.40	39.42	.76	7.47	-.24	84.29
2052	-.17	5.69	39.54	-.09	5.69	-.17	-89.09

MODELO COM TRINCA 0,705mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2335	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2051	-.16	5.69	39.44	.76	5.79	-.26	82.73
ELEMENT ID	2340	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2052	-.34	5.69	39.54	-.15	5.70	-.34	-88.54
2051	-.33	5.69	39.44	.72	5.78	-.42	83.28
2042	-.34	3.94	39.56	-.16	3.95	-.34	-87.91
2041	-.33	3.94	39.46	.72	4.06	-.45	80.74
ELEMENT ID	2345	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2042	-.48	3.94	39.56	-.22	3.96	-.49	-87.11
2041	-.48	3.94	39.46	.67	4.05	-.58	81.52
2032	-.48	2.15	39.58	-.23	2.17	-.50	-85.09
2031	-.48	2.15	39.48	.67	2.31	-.64	76.45
ELEMENT ID	2350	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2032	-.59	2.15	39.58	-.30	2.18	-.62	-83.81
2031	-.59	2.15	39.48	.63	2.28	-.72	77.70
2022	-.59	.29	39.60	-.30	.39	-.69	-72.79
2021	-.59	.29	39.50	.62	.62	-.91	62.59
ELEMENT ID	2355	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2022	-.67	.29	39.60	-.38	.42	-.80	-70.89
2021	-.67	.29	39.50	.58	.56	-.94	64.89
2012	-.67	-1.62	39.62	-.38	-.54	-1.75	-19.36
2011	-.67	-1.62	39.52	.57	-.40	-1.89	25.18
ELEMENT ID	2360	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2012	-.35	-1.62	39.62	-.46	-.20	-1.77	-17.91
2011	-.35	-1.62	39.52	.52	-.16	-1.81	19.79
2002	-.35	-3.59	39.64	-.46	-.29	-3.65	-7.91
2001	-.35	-3.59	39.54	.52	-.27	-3.67	8.98

APÊNDICE X - RESULTADOS DO M.E.F. PARA O MODELO COM TRINCA DE 1,235 MM

Nas páginas seguintes, estão a saída gráfica para a tensão longitudinal (S_{zz}) na região de junta circunferencial e a impressão da saída dos valores tensões dos elementos próximos da linha da solda. Na figura X.1, mostra a região a qual se refere as páginas seguintes. Na figura X.2, estão o números dos nós próximo a linha de solda da junta circunferencial.

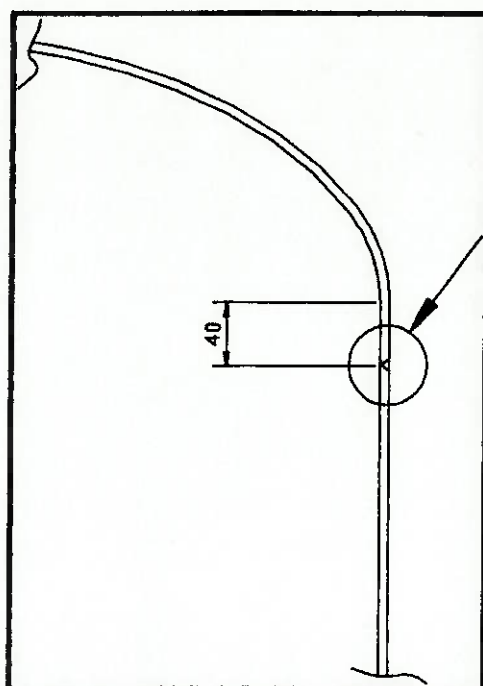


Fig. X.1 - Região das saída de dados das páginas que seguem

5,7mm = 32@0,1781mm							
1504	1514	1524	1534	1794	1804	1814	1824
2157	2152	2147		2012	2007	2002	
1505	1515	1525	1535	1795	1805	1815	1825
2156	2151	2146		2011	2006	2001	
1506	1516	1526	1536	1796	1806	1816	1826
2001	2011	2021	2031	2291	2301	2311	2321
2360	2355	2350		2215	2210	2205	
2002	2012	2022	2032	2292	2302	2312	2322
2359	2354	2349		2214	2209	2204	
2003	2013	2023	2033	2293	2303	2313	2323

PARA O TAMPO

LINHA DE SOLDA

Fig. X.2 - Número dos nós e elementos das proximidades da linha de solda da junta circunferencial

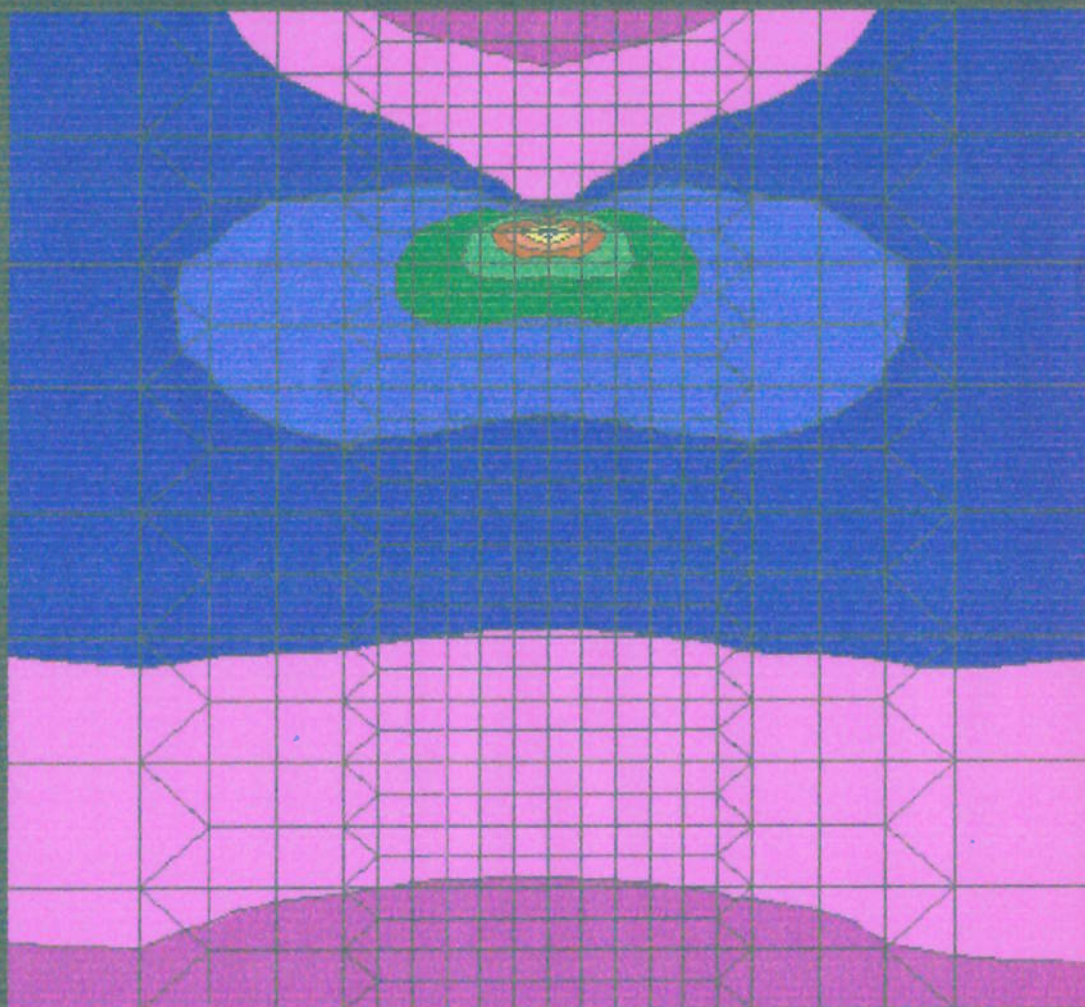
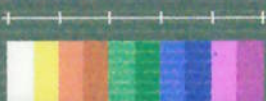
SAP90

FILE : fea7

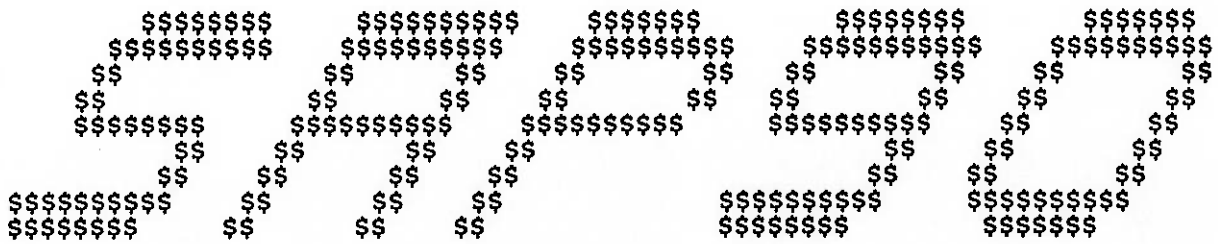
OUTPUT : ASOLIO SZZ

LOAD : 1

171
133
95
57
19
-19



MIN IS -.130E+02 <JOINT 1506> MAX IS .166E+03 <JOINT 1756>



STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION 5.04

Copyright (C) 1978-1988
EDWARD L. WILSON
All rights reserved

MODELO COM TRINCA DE 1,235mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2001 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1826	-.82	-.78	39.79	-.43	-.36	-1.23	-46.40
1825	-.28	-.78	39.65	-.64	.16	-1.22	-34.36
1816	-.82	-.36	39.81	-.71	.15	-1.33	-54.02
1815	-.28	-.36	39.67	-.91	.60	-1.24	-43.69

ELEMENT ID 2006 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1816	-3.51	-.36	39.81	-.54	-.27	-3.60	-80.56
1815	-.55	-.36	39.67	-.76	.31	-1.22	-48.56
1806	-3.51	.08	39.83	-2.02	.99	-4.42	-65.84
1805	-.55	.08	39.69	-2.24	2.03	-2.50	-49.03

ELEMENT ID 2011 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1806	-7.31	.08	39.83	.64	.14	-7.36	85.12
1805	.09	.08	39.69	.52	.60	-.43	44.97
1796	-7.31	.32	39.85	-3.07	1.40	-8.39	-70.62
1795	.09	.32	39.71	-3.18	3.39	-2.98	-46.08

ELEMENT ID 2016 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1796	-10.83	.32	39.85	2.74	.96	-11.47	76.91
1795	2.77	.32	39.71	2.72	4.53	-1.43	32.88
1786	-10.83	.38	39.88	-4.06	1.70	-12.15	-72.03
1785	2.77	.38	39.73	-4.09	5.83	-2.69	-36.85

ELEMENT ID 2021 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1786	-13.27	.38	39.88	7.17	3.45	-16.34	66.79
1785	10.08	.38	39.73	5.91	12.88	-2.42	25.31
1776	-13.27	2.90	39.91	-4.51	4.07	-14.44	-75.41
1775	10.08	2.90	39.75	-5.77	13.29	-.31	-29.04

ELEMENT ID 2026 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1776	-11.45	2.90	39.91	15.35	12.66	-21.22	57.52
1775	29.37	2.90	39.75	16.08	36.96	-4.69	25.27
1766	-11.45	1.43	39.93	-5.08	3.19	-13.21	-70.87
1765	29.37	1.43	39.75	-4.35	30.03	.77	-8.64

ELEMENT ID 2031 -----

LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1766	66.12	1.43	39.93	78.88	119.03	-51.47	33.85
1765	18.12	1.43	39.75	-3.19	18.71	.84	-10.47
1756	66.12	165.69	39.92	102.89	230.20	1.60	57.91

MODELO COM TRINCA DE 1,235mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2031		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1755	18.12	165.69	39.76	20.82	168.57	15.24	82.12

ELEMENT ID 2036		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1756	104.06	165.69	39.92	-63.05	205.05	64.70	-58.02
1755	15.60	165.69	39.76	-22.14	168.88	12.40	-81.78
1746	104.06	83.82	39.89	-18.79	115.28	72.60	-30.84
1745	15.60	83.82	39.77	22.12	90.36	9.06	73.52

ELEMENT ID 2041		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1746	56.61	83.82	39.89	-18.67	93.32	47.11	-63.04
1745	36.80	83.82	39.77	-9.09	85.51	35.11	-79.43
1736	56.61	64.63	39.88	-8.76	70.26	50.98	-57.29
1735	36.80	64.63	39.78	.82	64.65	36.78	88.31

ELEMENT ID 2046		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1736	39.20	64.63	39.88	-8.72	67.33	36.50	-72.77
1735	32.47	64.63	39.78	-3.33	64.97	32.13	-84.15
1726	39.20	53.83	39.88	-5.36	55.58	37.45	-71.89
1725	32.47	53.83	39.78	.04	53.83	32.47	89.90

ELEMENT ID 2051		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1726	30.42	53.83	39.88	-5.33	54.98	29.26	-77.76
1725	27.02	53.83	39.78	-1.85	53.95	26.90	-86.07
1716	30.42	46.86	39.88	-3.63	47.63	29.65	-78.08
1715	27.02	46.86	39.79	-.15	46.86	27.02	-89.56

ELEMENT ID 2056		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1716	24.59	46.86	39.88	-3.61	47.43	24.02	-81.02
1715	22.66	46.86	39.79	-1.03	46.91	22.62	-87.56
1706	24.59	41.70	39.89	-2.65	42.11	24.19	-81.41
1705	22.66	41.70	39.79	-.07	41.71	22.66	-89.79

ELEMENT ID 2061		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1706	20.39	41.70	39.89	-2.63	42.02	20.07	-83.07
1705	19.17	41.70	39.79	-.57	41.72	19.16	-88.56
1696	20.39	37.57	39.90	-2.02	37.81	20.15	-83.37
1695	19.17	37.57	39.80	.04	37.57	19.17	89.87

MODELO COM TRINCA DE 1,235mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2066 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1696 17.16 37.57 39.90 -2.01 37.77 16.96 -84.43
1695 16.34 37.57 39.80 -.26 37.58 16.34 -89.29
1686 17.16 34.07 39.91 -1.60 34.23 17.00 -84.63
1685 16.34 34.07 39.82 .14 34.08 16.34 89.54

ELEMENT ID 2071 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1686 14.57 34.07 39.91 -1.60 34.20 14.44 -85.35
1685 13.99 34.07 39.82 -.05 34.07 13.99 -89.85
1676 14.57 30.99 39.93 -1.31 31.09 14.46 -85.47
1675 13.99 30.99 39.83 .23 30.99 13.99 89.21

ELEMENT ID 2076 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1676 12.43 30.99 39.93 -1.30 31.08 12.34 -86.00
1675 12.01 30.99 39.83 .10 30.99 12.01 89.70
1666 12.43 28.18 39.94 -1.09 28.26 12.36 -86.04
1665 12.01 28.18 39.84 .31 28.19 12.01 88.91

ELEMENT ID 2081 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1666 10.63 28.18 39.94 -1.09 28.25 10.56 -86.45
1665 10.31 28.18 39.84 .21 28.18 10.31 89.32
1656 10.63 25.57 39.95 -.94 25.62 10.57 -86.43
1655 10.31 25.57 39.86 .37 25.58 10.31 88.61

ELEMENT ID 2086 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1656 9.08 25.57 39.95 -.94 25.62 9.02 -86.75
1655 8.84 25.57 39.86 .30 25.57 8.83 88.97
1646 9.08 23.08 39.97 -.82 23.13 9.03 -86.66
1645 8.84 23.08 39.87 .42 23.10 8.82 88.31

ELEMENT ID 2091 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1646 7.72 23.08 39.97 -.83 23.13 7.68 -86.93
1645 7.53 23.08 39.87 .37 23.09 7.53 88.64
1636 7.72 20.69 39.99 -.73 20.73 7.68 -86.78
1635 7.53 20.69 39.89 .46 20.71 7.52 87.99

ELEMENT ID 2096 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1636 6.52 20.69 39.99 -.74 20.73 6.48 -87.01
1635 6.38 20.69 39.89 .42 20.70 6.37 88.31
1626 6.52 18.36 40.00 -.67 18.39 6.49 -86.77

MODELO COM TRINCA DE 1,235mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2096	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1625	6.38	18.36	39.91	.50	18.38	6.36	87.63
ELEMENT ID	2101	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1626	5.45	18.36	40.00	-.68	18.39	5.42	-86.98
1625	5.34	18.36	39.91	.47	18.37	5.32	87.95
1616	5.45	16.05	40.02	-.63	16.09	5.42	-86.64
1615	5.34	16.05	39.92	.53	16.08	5.31	87.20
ELEMENT ID	2106	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1616	4.49	16.05	40.02	-.64	16.09	4.46	-86.83
1615	4.40	16.05	39.92	.50	16.08	4.38	87.54
1606	4.49	13.76	40.04	-.60	13.80	4.45	-86.33
1605	4.40	13.76	39.94	.55	13.79	4.37	86.66
ELEMENT ID	2111	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1606	3.62	13.76	40.04	-.62	13.80	3.59	-86.52
1605	3.55	13.76	39.94	.53	13.79	3.52	87.03
1596	3.62	11.46	40.06	-.58	11.50	3.58	-85.77
1595	3.55	11.46	39.96	.57	11.50	3.51	85.92
ELEMENT ID	2116	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1596	2.84	11.46	40.06	-.61	11.50	2.79	-85.99
1595	2.78	11.46	39.96	.56	11.50	2.75	86.35
1586	2.84	9.13	40.08	-.58	9.19	2.78	-84.78
1585	2.78	9.13	39.98	.58	9.19	2.73	84.79
ELEMENT ID	2121	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1586	2.12	9.13	40.08	-.61	9.18	2.07	-85.07
1585	2.08	9.13	39.98	.58	9.18	2.04	85.35
1576	2.12	6.76	40.10	-.59	6.83	2.05	-82.88
1575	2.08	6.76	40.00	.60	6.83	2.01	82.82
ELEMENT ID	2126	-----					
LOAD COND	1	-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1576	1.48	6.76	40.10	-.62	6.83	1.41	-83.37
1575	1.45	6.76	40.00	.60	6.82	1.39	83.64
1566	1.48	4.32	40.12	-.61	4.44	1.36	-78.42
1565	1.45	4.32	40.02	.61	4.44	1.33	78.39

MODELO COM TRINCA DE 1,235mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2131		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1566	.91	4.32	40.12	-.64	4.43	.80	-79.65	
1565	.89	4.32	40.02	.62	4.42	.78	80.03	
1556	.91	1.79	40.13	-.63	2.12	.58	-62.33	
1555	.89	1.79	40.04	.63	2.11	.57	62.65	

ELEMENT ID 2136		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1556	.42	1.79	40.13	-.67	2.06	.14	-67.79	
1555	.40	1.79	40.04	.65	2.04	.15	68.45	
1546	.42	-.85	40.16	-.66	.70	-1.14	-23.13	
1545	.40	-.85	40.06	.65	.68	-1.13	23.11	

ELEMENT ID 2141		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1546	.00	-.85	40.16	-.71	.40	-1.25	-29.43	
1545	-.01	-.85	40.06	.68	.37	-1.23	29.12	
1536	.00	-3.63	40.18	-.70	.13	-3.76	-10.56	
1535	-.01	-3.63	40.08	.69	.12	-3.75	10.38	

ELEMENT ID 2146		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1536	-.33	-3.63	40.18	-.75	-.17	-3.79	-12.16	
1535	-.34	-3.63	40.08	.72	-.18	-3.78	11.84	
1526	-.33	-6.56	40.20	-.74	-.24	-6.65	-6.69	
1525	-.34	-6.56	40.10	.73	-.25	-6.65	6.56	

ELEMENT ID 2151		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1526	-.56	-6.56	40.20	-.79	-.46	-6.67	-7.37	
1525	-.57	-6.56	40.10	.77	-.47	-6.66	7.21	
1516	-.56	-9.69	40.22	-.79	-.50	-9.75	-4.89	
1515	-.57	-9.69	40.12	.77	-.50	-9.75	4.81	

ELEMENT ID 2156		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1516	-.33	-9.69	40.22	-.84	-.25	-9.76	-5.06	
1515	-.33	-9.69	40.12	.83	-.26	-9.76	5.02	
1506	-.33	-13.02	40.24	-.84	-.27	-13.07	-3.75	
1505	-.33	-13.02	40.14	.83	-.28	-13.07	3.72	

ELEMENT ID 2205		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2322	-.29	-.77	39.84	.64	.15	-1.21	34.71	
2321	-.81	-.77	39.79	.44	-.35	-1.23	46.38	
2312	-.29	-.37	39.86	.90	.57	-1.23	43.68	

MODELO COM TRINCA DE 1,235mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2205		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2311	-.81	-.37	39.81	.70	.14	-1.32	53.68	

ELEMENT ID 2210		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2312	-.60	-.37	39.86	.79	.31	-1.28	49.14	
2311	-3.49	-.37	39.81	.57	-.27	-3.59	80.00	
2302	-.60	.07	39.88	2.24	1.99	-2.53	49.25	
2301	-3.49	.07	39.83	2.02	.98	-4.40	65.73	

ELEMENT ID 2215		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2302	-.04	.07	39.88	-.45	.46	-.44	-48.43	
2301	-7.34	.07	39.83	-.57	.11	-7.38	-85.66	
2292	-.04	.30	39.90	3.20	3.34	-3.08	46.54	
2291	-7.34	.30	39.85	3.09	1.39	-8.43	70.54	

ELEMENT ID 2220		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2292	2.52	.30	39.90	-2.61	4.25	-1.42	-33.49	
2291	-11.00	.30	39.85	-2.63	.89	-11.58	-77.51	
2282	2.52	.35	39.92	4.15	5.73	-2.86	37.67	
2281	-11.00	.35	39.88	4.13	1.69	-12.34	71.96	

ELEMENT ID 2225		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2282	9.65	.35	39.92	-5.76	12.41	-2.41	-25.54	
2281	-13.70	.35	39.88	-7.01	3.24	-16.59	-67.53	
2272	9.65	2.83	39.93	5.92	13.07	-.59	30.03	
2271	-13.70	2.83	39.91	4.68	4.07	-14.93	75.25	

ELEMENT ID 2230		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2272	28.76	2.83	39.93	-15.90	36.32	-4.72	-25.40	
2271	-12.43	2.83	39.91	-15.11	12.12	-21.73	-58.41	
2262	28.76	1.24	39.94	4.71	29.55	.46	9.45	
2261	-12.43	1.24	39.93	5.51	3.19	-14.38	70.58	

ELEMENT ID 2235		-----						
LOAD COND 1		-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2262	17.69	1.24	39.94	3.38	18.36	.58	11.16	
2261	63.82	1.24	39.93	-78.73	117.25	-52.18	-34.16	
2252	17.69	165.56	39.95	-19.71	168.14	15.11	-82.54	
2251	63.82	165.56	39.92	-101.81	228.50	.88	-58.27	

MODELO COM TRINCA DE 1,235mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2240 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
2252 15.07 165.56 39.95 23.17 169.05 11.58 81.44
2251 104.06 165.56 39.92 64.00 205.82 63.80 57.83
2242 15.07 83.84 39.96 -21.35 89.93 8.98 -74.08
2241 104.06 83.84 39.89 19.48 115.90 72.01 31.29

ELEMENT ID 2245 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
2242 36.56 83.84 39.96 9.99 85.87 34.54 78.54
2241 56.61 83.84 39.89 19.59 94.09 46.37 62.40
2232 36.56 64.63 39.96 -.04 64.63 36.56 -89.92
2231 56.61 64.63 39.88 9.56 70.99 50.25 56.37

ELEMENT ID 2250 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
2232 32.35 64.63 39.96 4.20 65.17 31.81 82.70
2231 39.20 64.63 39.88 9.60 67.85 35.98 71.47
2222 32.35 53.82 39.97 .78 53.85 32.32 87.93
2221 39.20 53.82 39.88 6.18 56.08 36.94 69.91

ELEMENT ID 2255 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
2222 26.95 53.82 39.97 2.72 54.10 26.68 84.27
2221 30.42 53.82 39.88 6.20 55.37 28.87 76.04
2212 26.95 46.86 39.97 .99 46.91 26.90 87.16
2211 30.42 46.86 39.88 4.47 47.99 29.28 75.73

ELEMENT ID 2260 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
2212 22.62 46.86 39.97 1.92 47.01 22.47 85.51
2211 24.59 46.86 39.88 4.49 47.73 23.72 79.01
2202 22.62 41.70 39.98 .93 41.74 22.57 87.22
2201 24.59 41.70 39.89 3.51 42.39 23.90 78.86

ELEMENT ID 2265 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
2202 19.14 41.70 39.98 1.46 41.79 19.05 86.32
2201 20.39 41.70 39.89 3.52 42.27 19.82 80.86
2192 19.14 37.57 39.99 .83 37.61 19.10 87.41
2191 20.39 37.57 39.90 2.90 38.04 19.91 80.68

ELEMENT ID 2270 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
2192 16.32 37.57 39.99 1.16 37.63 16.25 86.88
2191 17.16 37.57 39.90 2.91 37.98 16.75 82.04
2182 16.32 34.07 40.01 .74 34.10 16.29 87.60

MODELO COM TRINCA DE 1,235mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2270		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2181	17.16	34.07	39.91	2.49	34.43	16.80	81.79

ELEMENT ID 2275		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2182	13.98	34.07	40.01	.96	34.12	13.93	87.27
2181	14.57	34.07	39.91	2.50	34.39	14.25	82.81
2172	13.98	30.99	40.02	.66	31.01	13.95	87.77
2171	14.57	30.99	39.93	2.20	31.28	14.28	82.48

ELEMENT ID 2280		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2172	12.00	30.99	40.02	.81	31.02	11.97	87.57
2171	12.43	30.99	39.93	2.21	31.25	12.17	83.30
2162	12.00	28.18	40.03	.59	28.20	11.98	87.91
2161	12.43	28.18	39.94	1.99	28.43	12.18	82.90

ELEMENT ID 2285		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2162	10.31	28.18	40.03	.69	28.21	10.28	87.79
2161	10.63	28.18	39.94	1.99	28.41	10.40	83.60
2152	10.31	25.57	40.05	.53	25.59	10.29	88.02
2151	10.63	25.57	39.95	1.83	25.79	10.41	83.11

ELEMENT ID 2290		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2152	8.83	25.57	40.05	.59	25.59	8.81	87.98
2151	9.08	25.57	39.95	1.83	25.77	8.88	83.74
2142	8.83	23.09	40.06	.47	23.11	8.82	88.12
2141	9.08	23.09	39.97	1.71	23.30	8.87	83.15

ELEMENT ID 2295		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2142	7.53	23.09	40.06	.51	23.11	7.52	88.13
2141	7.72	23.09	39.97	1.70	23.28	7.54	83.76
2132	7.53	20.70	40.08	.41	20.71	7.52	88.20
2131	7.72	20.70	39.99	1.61	20.90	7.53	83.05

ELEMENT ID 2300		-----					
LOAD COND 1		-----					
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2132	6.38	20.70	40.08	.43	20.71	6.36	88.27
2131	6.52	20.70	39.99	1.60	20.88	6.35	83.65
2122	6.38	18.37	40.10	.36	18.38	6.37	88.29
2121	6.52	18.37	40.00	1.52	18.56	6.33	82.79

MODELO COM TRINCA DE 1,235mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2305	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2122	5.34	18.37	40.10	.36	18.38	5.33	88.41	
2121	5.45	18.37	40.00	1.51	18.54	5.28	83.42	
2112	5.34	16.07	40.11	.30	16.08	5.33	88.38	
2111	5.45	16.07	40.02	1.45	16.27	5.26	82.35	
ELEMENT ID	2310	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2112	4.40	16.07	40.11	.29	16.08	4.40	88.57	
2111	4.49	16.07	40.02	1.43	16.25	4.32	83.04	
2102	4.40	13.78	40.13	.25	13.79	4.40	88.50	
2101	4.49	13.78	40.04	1.39	13.99	4.29	81.67	
ELEMENT ID	2315	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2102	3.55	13.78	40.13	.22	13.79	3.55	88.76	
2101	3.62	13.78	40.04	1.37	13.96	3.44	82.46	
2092	3.55	11.49	40.15	.19	11.49	3.55	88.66	
2091	3.62	11.49	40.06	1.33	11.71	3.40	80.64	
ELEMENT ID	2320	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2092	2.78	11.49	40.15	.15	11.49	2.78	89.04	
2091	2.84	11.49	40.06	1.31	11.68	2.64	81.59	
2082	2.78	9.16	40.17	.12	9.16	2.78	88.93	
2081	2.84	9.16	40.08	1.28	9.41	2.59	78.98	
ELEMENT ID	2325	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2082	2.08	9.16	40.17	.07	9.16	2.08	89.46	
2081	2.12	9.16	40.08	1.25	9.38	1.91	80.21	
2072	2.08	6.79	40.19	.04	6.79	2.08	89.46	
2071	2.12	6.79	40.10	1.23	7.09	1.82	76.10	
ELEMENT ID	2330	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2072	1.45	6.79	40.19	-.02	6.79	1.45	-89.77	
2071	1.48	6.79	40.10	1.20	7.05	1.23	77.86	
2062	1.45	4.35	40.21	-.04	4.35	1.45	-89.26	
2061	1.48	4.35	40.12	1.18	4.78	1.06	70.28	
ELEMENT ID	2335	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2062	.89	4.35	40.21	-.12	4.36	.89	-88.05	
2061	.91	4.35	40.12	1.14	4.70	.57	73.18	
2052	.89	1.83	40.23	-.13	1.85	.87	-82.24	

MODELO COM TRINCA DE 1,235mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID	2335	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2051	.91	1.83	40.13	1.13	2.59	.15	56.00	
ELEMENT ID	2340	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2052	.40	1.83	40.23	-.23	1.86	.37	-81.22	
2051	.42	1.83	40.13	1.09	2.42	-.18	61.43	
2042	.40	-.81	40.25	-.23	.44	-.85	-10.62	
2041	.42	-.81	40.16	1.08	1.05	-1.44	30.23	
ELEMENT ID	2345	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2042	-.01	-.81	40.25	-.35	.12	-.94	-20.49	
2041	.00	-.81	40.16	1.04	.71	-1.52	34.36	
2032	-.01	-3.58	40.27	-.35	.02	-3.62	-5.59	
2031	.00	-3.58	40.18	1.03	.28	-3.86	14.98	
ELEMENT ID	2350	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2032	-.34	-3.58	40.27	-.48	-.27	-3.65	-8.22	
2031	-.33	-3.58	40.18	.99	-.05	-3.86	15.64	
2022	-.34	-6.52	40.29	-.48	-.30	-6.56	-4.44	
2021	-.33	-6.52	40.20	.98	-.18	-6.67	8.82	
ELEMENT ID	2355	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2022	-.57	-6.52	40.29	-.62	-.50	-6.58	-5.91	
2021	-.56	-6.52	40.20	.94	-.42	-6.66	8.74	
2012	-.57	-9.64	40.31	-.62	-.53	-9.68	-3.92	
2011	-.56	-9.64	40.22	.93	-.47	-9.73	5.82	
ELEMENT ID	2360	-----						
LOAD COND	1	-----						
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2012	-.33	-9.64	40.31	-.78	-.26	-9.70	-4.74	
2011	-.33	-9.64	40.22	.89	-.24	-9.72	5.39	
2002	-.33	-12.97	40.33	-.78	-.28	-13.01	-3.51	
2001	-.33	-12.97	40.24	.89	-.27	-13.03	3.99	

APÊNDICE XI - RESULTADOS DO M.E.F. PARA O MODELO COM TRINCA DE 1,588 MM

Nas páginas seguintes, estão a saída gráfica para a tensão longitudinal (S_{zz}) na região de junta circunferencial e a impressão da saída dos valores tensões dos elementos próximos da linha da solda. Na figura XI.1, mostra a região a qual se refere as páginas seguintes. Na figura XI.2, estão o números dos nós próximo a linha de solda da junta circunferencial.

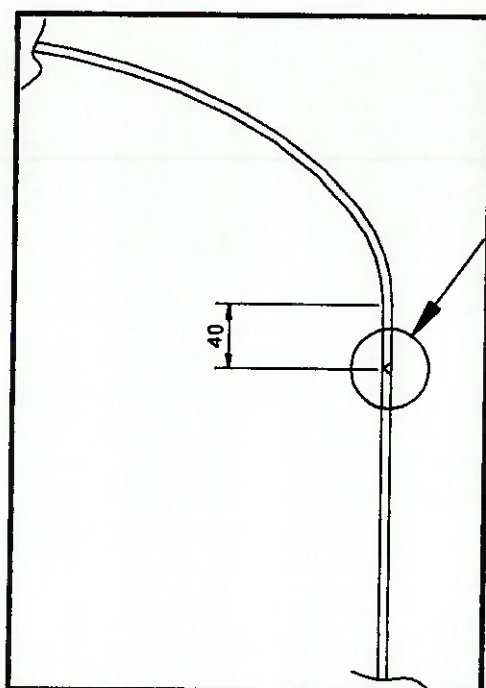


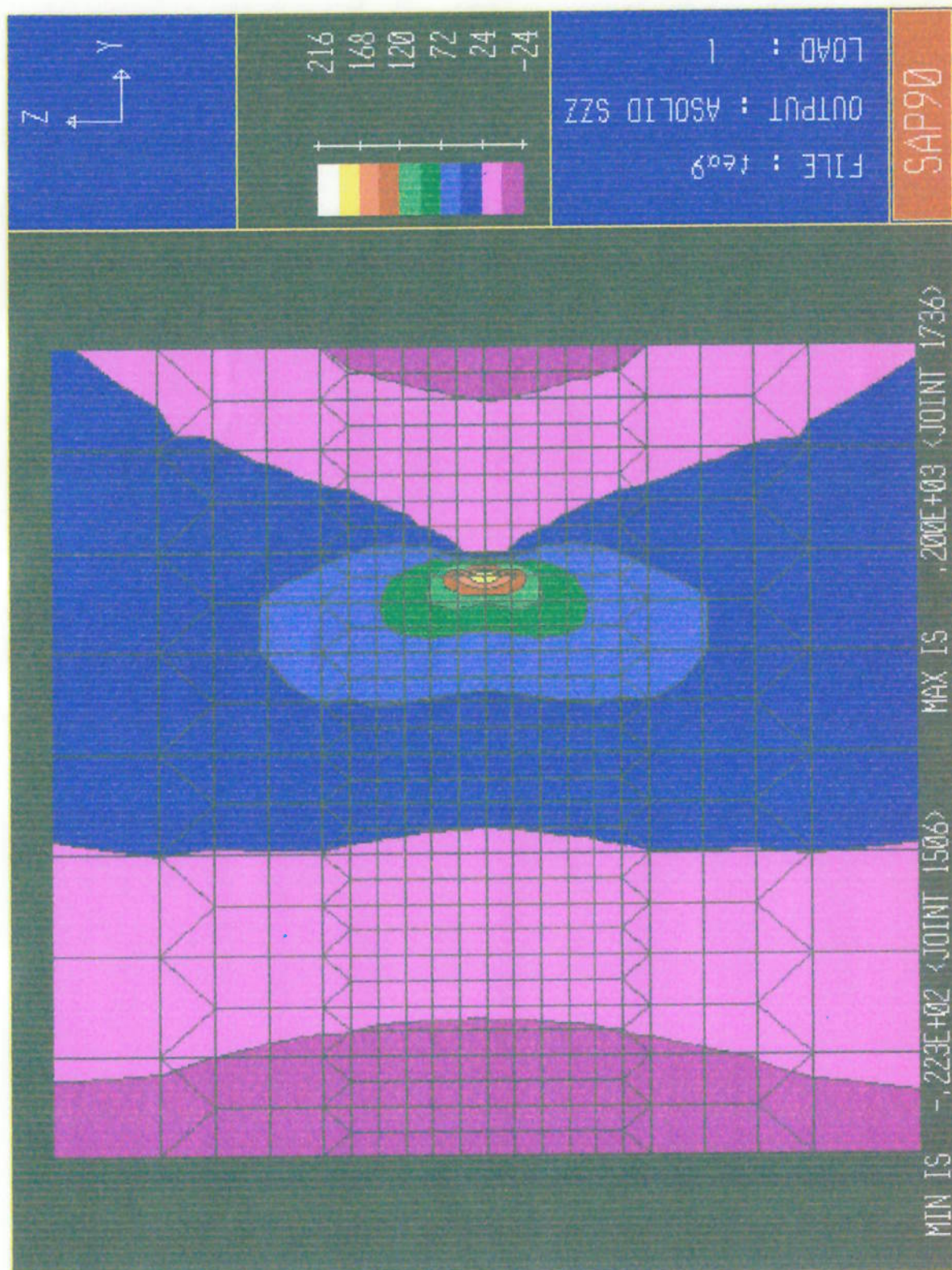
Fig. XI.1 - Região das saída de dados das páginas que seguem

5,7mm = 320,1781mm							
1504	1514	1524	1534	1794	1804	1814	1824
2157	2152	2147		2012	2007	2002	
1505	1515	1525	1535	1795	1805	1815	1825
2156	2151	2146		2011	2006	2001	
1506	1516	1526	1536	1796	1806	1816	1826
2001	2011	2021	2031	2291	2301	2311	2321
2360	2355	2350		2215	2210	2205	
2002	2012	2022	2032	2292	2302	2312	2322
2359	2354	2349		2214	2209	2204	
2003	2013	2023	2033	2293	2303	2313	2323

PARA O TAMPO

LINHA DE SOLDA

Fig. XI.2 - Número dos nós e elementos das proximidades da linha de solda da junta circunferencial





STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAMS

VERSION 5.04

Copyright (C) 1978-1988
EDWARD L. WILSON
All rights reserved

MODELO COM TRINCA DE 1,588mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2001 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1826	-.48	-.46	40.56	-.35	-.12	-.83	-45.86
1825	-.31	-.46	40.41	-.42	.04	-.81	-39.85
1816	-.48	-.33	40.58	-.44	.04	-.86	-49.92
1815	-.31	-.33	40.43	-.51	.19	-.83	-44.41

ELEMENT ID 2006 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1816	-2.29	-.33	40.58	-.63	-.15	-2.47	-73.73
1815	-.90	-.33	40.43	-.78	.21	-1.44	-55.02
1806	-2.29	-.02	40.60	-1.32	.58	-2.90	-65.31
1805	-.90	-.02	40.45	-1.47	1.08	-2.00	-53.27

ELEMENT ID 2011 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1806	-5.12	-.02	40.60	-.14	-.02	-5.13	-88.46
1805	-1.26	-.02	40.45	-.21	.01	-1.29	-80.68
1796	-5.12	.12	40.62	-2.07	.84	-5.84	-70.83
1795	-1.26	.12	40.48	-2.14	1.68	-2.82	-53.88

ELEMENT ID 2016 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1796	-8.00	.12	40.62	.85	.21	-8.09	84.09
1795	-.98	.12	40.48	.81	.55	-1.41	62.01
1786	-8.00	.19	40.65	-2.66	.98	-8.79	-73.49
1785	-.98	.19	40.50	-2.70	2.36	-3.16	-51.13

ELEMENT ID 2021 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1786	-10.48	.19	40.65	2.27	.65	-10.95	78.46
1785	.58	.19	40.50	2.20	2.59	-1.83	42.49
1776	-10.48	.33	40.67	-3.26	1.24	-11.39	-74.46
1775	.58	.33	40.52	-3.33	3.78	-2.88	-43.94

ELEMENT ID 2026 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1776	-12.46	.33	40.67	4.41	1.70	-13.83	72.71
1775	4.72	.33	40.52	4.39	7.43	-2.39	31.73
1766	-12.46	.36	40.70	-4.19	1.61	-13.71	-73.43
1765	4.72	.36	40.53	-4.20	7.27	-2.20	-31.31

ELEMENT ID 2031 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
1766	-13.48	.36	40.70	9.30	5.04	-18.15	63.32
1765	14.38	.36	40.53	7.79	17.85	-3.11	24.00
1756	-13.48	3.40	40.73	-4.63	4.59	-14.66	-75.61

MODELO COM TRINCA DE 1,588mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2031 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1755 14.38 3.40 40.55 -6.15

S(MAX) S(MIN) ANGLE
17.14 .64 -24.13

ELEMENT ID 2036 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1756 -9.78 3.40 40.73 18.75
1755 38.25 3.40 40.55 19.63
1746 -9.78 1.62 40.75 -5.28
1745 38.25 1.62 40.55 -4.40

S(MAX) S(MIN) ANGLE
16.68 -23.06 54.68
47.07 -5.43 24.21
3.70 -11.85 -68.59
38.77 1.10 -6.75

ELEMENT ID 2041 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1746 84.83 1.62 40.75 94.86
1745 24.87 1.62 40.55 -4.03
1736 84.83 199.55 40.73 124.86
1735 24.87 199.55 40.56 25.97

S(MAX) S(MIN) ANGLE
146.81 -60.36 33.16
25.55 .95 -9.56
279.59 4.78 57.34
203.33 21.09 81.72

ELEMENT ID 2046 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1736 130.03 199.55 40.73 -77.28
1735 22.04 199.55 40.56 -26.91
1726 130.03 98.74 40.68 -23.25
1725 22.04 98.74 40.57 27.12

S(MAX) S(MIN) ANGLE
249.52 80.05 -57.11
203.54 18.05 -81.57
142.40 86.36 -28.03
107.36 13.42 72.36

ELEMENT ID 2051 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1726 71.87 98.74 40.68 -23.09
1725 47.65 98.74 40.57 -11.02
1716 71.87 74.58 40.67 -10.98
1715 47.65 74.58 40.56 1.10

S(MAX) S(MIN) ANGLE
112.02 58.59 -60.09
101.02 45.38 -78.33
84.28 62.16 -48.51
74.62 47.61 87.67

ELEMENT ID 2056 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1716 50.39 74.58 40.67 -10.93
1715 42.14 74.58 40.56 -4.05
1706 50.39 60.81 40.66 -6.81
1705 42.14 60.81 40.56 .07

S(MAX) S(MIN) ANGLE
78.79 46.18 -68.94
75.08 41.64 -82.98
64.17 47.03 -63.71
60.81 42.14 89.78

ELEMENT ID 2061 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12
1706 39.43 60.81 40.66 -6.78
1705 35.26 60.81 40.56 -2.29
1696 39.43 51.83 40.66 -4.70
1695 35.26 51.83 40.56 -.21

S(MAX) S(MIN) ANGLE
62.78 37.46 -73.80
61.01 35.06 -84.91
53.40 37.85 -71.43
51.83 35.26 -89.28

MODELO COM TRINCA DE 1,588mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2066 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1696 32.08 51.83 40.66 -4.68 52.88 31.03 -77.32
1695 29.70 51.83 40.56 -1.33 51.91 29.62 -86.56
1686 32.08 45.13 40.67 -3.49 46.01 31.20 -75.93
1685 29.70 45.13 40.57 -1.14 45.13 29.70 -89.46

ELEMENT ID 2071 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1686 26.71 45.13 40.67 -3.48 45.77 26.07 -79.66
1685 25.21 45.13 40.57 -.79 45.16 25.17 -87.73
1676 26.71 39.75 40.67 -2.73 40.30 26.16 -78.65
1675 25.21 39.75 40.58 -.04 39.75 25.21 -89.85

ELEMENT ID 2076 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1676 22.52 39.75 40.67 -2.72 40.17 22.10 -81.23
1675 21.51 39.75 40.58 -.44 39.76 21.50 -88.62
1666 22.52 35.18 40.68 -2.22 35.56 22.14 -80.35
1665 21.51 35.18 40.59 .07 35.18 21.51 89.73

ELEMENT ID 2081 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1666 19.12 35.18 40.68 -2.21 35.48 18.83 -82.29
1665 18.41 35.18 40.59 -.20 35.18 18.41 -89.32
1656 19.12 31.15 40.69 -1.86 31.43 18.84 -81.42
1655 18.41 31.15 40.60 .16 31.15 18.41 89.29

ELEMENT ID 2086 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1656 16.28 31.15 40.69 -1.86 31.38 16.05 -82.98
1655 15.76 31.15 40.60 -.02 31.15 15.76 -89.91
1646 16.28 27.48 40.71 -1.60 27.70 16.06 -82.03
1645 15.76 27.48 40.61 .24 27.48 15.76 88.84

ELEMENT ID 2091 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1646 13.85 27.48 40.71 -1.60 27.66 13.67 -83.37
1645 13.46 27.48 40.61 .11 27.48 13.46 89.56
1636 13.85 24.05 40.72 -1.41 24.24 13.66 -82.28
1635 13.46 24.05 40.62 .30 24.06 13.45 88.35

ELEMENT ID 2096 -----
LOAD COND 1 -----
JOINT S11 S22 S33 S12 S(MAX) S(MIN) ANGLE
1636 11.74 24.05 40.72 -1.42 24.21 11.58 -83.51
1635 11.44 24.05 40.62 .21 24.05 11.44 89.03
1626 11.74 20.78 40.74 -1.27 20.96 11.56 -82.16

MODELO COM TRINCA DE 1,588mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2096 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1625	11.44	20.78	40.64	.36	20.80	11.43	87.78	
ELEMENT ID 2101 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1626	9.87	20.78	40.74	-1.28	20.93	9.72	-83.38	
1625	9.64	20.78	40.64	.30	20.79	9.63	88.47	
1616	9.87	17.62	40.75	-1.17	17.79	9.70	-81.61	
1615	9.64	17.62	40.65	.41	17.64	9.62	87.04	
ELEMENT ID 2106 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1616	8.21	17.62	40.75	-1.19	17.77	8.06	-82.93	
1615	8.03	17.62	40.65	.37	17.63	8.02	87.80	
1606	8.21	14.51	40.77	-1.10	14.69	8.02	-80.40	
1605	8.03	14.51	40.67	.46	14.54	8.00	85.98	
ELEMENT ID 2111 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1606	6.71	14.51	40.77	-1.12	14.66	6.56	-81.99	
1605	6.57	14.51	40.67	.43	14.53	6.55	86.91	
1596	6.71	11.41	40.78	-1.05	11.63	6.49	-77.95	
1595	6.57	11.41	40.69	.50	11.46	6.52	84.16	
ELEMENT ID 2116 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1596	5.37	11.41	40.78	-1.08	11.59	5.18	-80.20	
1595	5.26	11.41	40.69	.49	11.44	5.22	85.51	
1586	5.37	8.28	40.80	-1.02	8.60	5.04	-72.47	
1585	5.26	8.28	40.71	.54	8.37	5.17	80.19	
ELEMENT ID 2121 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1586	4.15	8.28	40.80	-1.05	8.53	3.90	-76.49	
1585	4.07	8.28	40.71	.54	8.35	4.00	82.83	
1576	4.15	5.10	40.82	-1.01	5.74	3.51	-57.51	
1575	4.07	5.10	40.72	.58	5.36	3.81	65.77	
ELEMENT ID 2126 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1576	3.06	5.10	40.82	-1.05	5.54	2.62	-67.11	
1575	3.00	5.10	40.72	.59	5.25	2.84	75.24	
1566	3.06	1.81	40.84	-1.02	3.63	1.24	-29.27	
1565	3.00	1.81	40.74	.62	3.27	1.55	23.20	

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2131 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1566	2.09	1.81	40.84	-1.06	3.01	.89	-41.30	
1565	2.04	1.81	40.74	.65	2.59	1.27	39.98	
1556	2.09	-1.61	40.86	-1.03	2.36	-1.87	-14.63	
1555	2.04	-1.61	40.76	.67	2.16	-1.73	10.14	
ELEMENT ID 2136 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1556	1.24	-1.61	40.86	-1.07	1.60	-1.97	-18.54	
1555	1.21	-1.61	40.76	.72	1.38	-1.78	13.57	
1546	1.24	-5.20	40.88	-1.06	1.41	-5.37	-9.11	
1545	1.21	-5.20	40.78	.74	1.29	-5.28	6.47	
ELEMENT ID 2141 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1546	.52	-5.20	40.88	-1.10	.73	-5.41	-10.54	
1545	.50	-5.20	40.78	.80	.62	-5.31	7.88	
1536	.52	-9.02	40.90	-1.09	.65	-9.14	-6.45	
1535	.50	-9.02	40.80	.81	.57	-9.09	4.85	
ELEMENT ID 2146 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1536	-.04	-9.02	40.90	-1.14	.10	-9.16	-7.12	
1535	-.05	-9.02	40.80	.91	.04	-9.11	5.71	
1526	-.04	-13.11	40.92	-1.13	.05	-13.21	-4.92	
1525	-.05	-13.11	40.82	.91	.01	-13.18	3.98	
ELEMENT ID 2151 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1526	-.45	-13.11	40.92	-1.18	-.34	-13.22	-5.27	
1525	-.45	-13.11	40.82	1.03	-.37	-13.19	4.60	
1516	-.45	-17.53	40.94	-1.18	-.37	-17.61	-3.92	
1515	-.45	-17.53	40.85	1.03	-.39	-17.59	3.44	
ELEMENT ID 2156 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
1516	-.30	-17.53	40.94	-1.22	-.22	-17.61	-4.05	
1515	-.30	-17.53	40.85	1.17	-.23	-17.60	3.86	
1506	-.30	-22.31	40.96	-1.22	-.24	-22.38	-3.17	
1505	-.30	-22.31	40.87	1.17	-.24	-22.37	3.03	
ELEMENT ID 2205 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2322	-.32	-.45	40.60	.41	.03	-.80	40.35	
2321	-.47	-.45	40.55	.36	-.11	-.82	45.86	
2312	-.32	-.34	40.62	.49	.16	-.82	44.40	

MODELO COM TRINCA DE 1,588mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2205 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2311	-.47	-.34	40.57	.43	.03	-.84	49.45	
ELEMENT ID 2210 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2312	-.93	-.34	40.62	.79	.21	-1.48	55.25	
2311	-2.26	-.34	40.57	.64	-.14	-2.46	73.14	
2302	-.93	-.04	40.64	1.46	1.04	-2.01	53.52	
2301	-2.26	-.04	40.60	1.31	.57	-2.87	65.19	
ELEMENT ID 2215 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2302	-1.34	-.04	40.64	.26	.01	-1.39	79.31	
2301	-5.11	-.04	40.60	.19	-.03	-5.12	87.91	
2292	-1.34	.10	40.66	2.14	1.64	-2.88	54.30	
2291	-5.11	.10	40.62	2.07	.83	-5.84	70.76	
ELEMENT ID 2220 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2292	-1.15	.10	40.66	-.74	.44	-1.49	-65.25	
2291	-8.06	.10	40.62	-.77	.18	-8.13	-84.66	
2282	-1.15	.17	40.68	2.72	2.31	-3.29	51.84	
2281	-8.06	.17	40.64	2.69	.97	-8.86	73.44	
ELEMENT ID 2225 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2282	.27	.17	40.68	-2.09	2.32	-1.87	-44.32	
2281	-10.69	.17	40.64	-2.16	.59	-11.10	-79.15	
2272	.27	.31	40.70	3.39	3.68	-3.10	45.15	
2271	-10.69	.31	40.67	3.32	1.23	-11.62	74.42	
ELEMENT ID 2230 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2272	4.22	.31	40.70	-4.25	6.95	-2.41	-32.63	
2271	-12.90	.31	40.67	-4.26	1.56	-14.15	-73.59	
2262	4.22	.32	40.72	4.32	7.01	-2.47	32.85	
2261	-12.90	.32	40.70	4.31	1.60	-14.18	73.45	
ELEMENT ID 2235 -----								
LOAD COND 1 -----								
JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE	
2262	13.64	.32	40.72	-7.60	17.09	-3.12	-24.39	
2261	-14.29	.32	40.70	-9.10	4.69	-18.66	-64.38	
2252	13.64	3.32	40.73	6.37	16.68	.28	25.50	
2251	-14.29	3.32	40.72	4.88	4.58	-15.55	75.51	

MODELO COM TRINCA DE 1,588mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2240 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2252	37.28	3.32	40.73	-19.42	46.10	-5.50	-24.42
2251	-11.34	3.32	40.72	-18.45	15.84	-23.87	-55.84
2242	37.28	1.37	40.74	4.91	37.94	.72	7.64
2241	-11.34	1.37	40.75	5.88	3.67	-13.64	68.62

ELEMENT ID 2245 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2242	24.18	1.37	40.74	4.24	24.94	.61	10.19
2241	81.52	1.37	40.75	-94.71	144.28	-61.39	-33.53
2232	24.18	199.40	40.74	-24.45	202.75	20.83	-82.20
2231	81.52	199.40	40.73	-123.40	277.21	3.71	-57.77

ELEMENT ID 2250 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2232	21.24	199.40	40.74	28.27	203.78	16.86	81.20
2231	130.03	199.40	40.73	78.54	250.57	78.86	56.91
2222	21.24	98.80	40.75	-26.16	106.80	13.24	-73.00
2221	130.03	98.80	40.68	24.10	143.13	85.69	28.53

ELEMENT ID 2255 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2222	47.29	98.80	40.75	12.16	101.52	44.56	77.36
2221	71.87	98.80	40.68	24.25	113.07	57.60	59.52
2212	47.29	74.60	40.75	-.14	74.60	47.28	-89.70
2211	71.87	74.60	40.67	11.95	85.26	61.21	48.25

ELEMENT ID 2260 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2212	41.95	74.60	40.75	5.11	75.38	41.17	81.31
2211	50.39	74.60	40.67	11.99	79.53	45.45	67.63
2202	41.95	60.82	40.75	.89	60.86	41.91	87.31
2201	50.39	60.82	40.66	7.77	64.96	46.24	61.93

ELEMENT ID 2265 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2202	35.15	60.82	40.75	3.31	61.24	34.73	82.77
2201	39.43	60.82	40.66	7.80	63.36	36.89	71.95
2192	35.15	51.83	40.75	1.17	51.91	35.06	86.02
2191	39.43	51.83	40.66	5.66	54.02	37.24	68.82

ELEMENT ID 2270 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2192	29.63	51.83	40.75	2.33	52.07	29.39	84.08
2191	32.08	51.83	40.66	5.67	53.35	30.57	75.06
2182	29.63	45.13	40.76	1.10	45.21	29.55	85.96

MODELO COM TRINCA DE 1,588mm

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2270 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2181	32.08	45.13	40.67	4.45	46.51	30.71	72.87

ELEMENT ID 2275 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2182	25.15	45.13	40.76	1.77	45.29	25.00	84.98
2181	26.71	45.13	40.67	4.46	46.16	25.68	77.09
2172	25.15	39.75	40.77	.99	39.82	25.09	86.13
2171	26.71	39.75	40.67	3.68	40.72	25.74	75.28

ELEMENT ID 2280 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2172	21.47	39.75	40.77	1.41	39.86	21.37	85.62
2171	22.52	39.75	40.67	3.69	40.51	21.76	78.41
2162	21.47	35.19	40.78	.88	35.24	21.42	86.33
2161	22.52	35.19	40.68	3.16	35.93	21.77	76.72

ELEMENT ID 2285 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2162	18.38	35.19	40.78	1.15	35.27	18.31	86.09
2161	19.12	35.19	40.68	3.17	35.79	18.52	79.24
2152	18.38	31.16	40.79	.78	31.21	18.34	86.51
2151	19.12	31.16	40.69	2.80	31.78	18.51	77.54

ELEMENT ID 2290 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2152	15.74	31.16	40.79	.96	31.22	15.68	86.45
2151	16.28	31.16	40.69	2.79	31.66	15.78	79.70
2142	15.74	27.49	40.80	.69	27.53	15.70	86.65
2141	16.28	27.49	40.71	2.52	28.03	15.74	77.87

ELEMENT ID 2295 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2142	13.45	27.49	40.80	.81	27.53	13.40	86.72
2141	13.85	27.49	40.71	2.52	27.94	13.40	79.86
2132	13.45	24.06	40.81	.60	24.10	13.41	86.75
2131	13.85	24.06	40.72	2.32	24.56	13.35	77.80

ELEMENT ID 2300 -----
LOAD COND 1 -----

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2132	11.43	24.06	40.81	.68	24.10	11.40	86.95
2131	11.74	24.06	40.72	2.31	24.48	11.32	79.74
2122	11.43	20.80	40.83	.52	20.83	11.40	86.82
2121	11.74	20.80	40.74	2.15	21.28	11.25	77.30

A S O L I D E L E M E N T S T R E S S E S

ELEMENT ID 2305
LOAD COND 1

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2122	9.63	20.80	40.83	.56	20.83	9.61	87.14
2121	9.87	20.80	40.74	2.14	21.20	9.47	79.31
2112	9.63	17.64	40.84	.44	17.66	9.61	86.86
2111	9.87	17.64	40.75	2.02	18.13	9.38	76.26

ELEMENT ID 2310
LOAD COND 1

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2112	8.02	17.64	40.84	.45	17.66	8.00	87.33
2111	8.21	17.64	40.75	2.00	18.04	7.80	78.50
2102	8.02	14.53	40.86	.36	14.55	8.01	86.86
2101	8.21	14.53	40.77	1.91	15.06	7.67	74.43

ELEMENT ID 2315
LOAD COND 1

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2102	6.57	14.53	40.86	.34	14.54	6.56	87.55
2101	6.71	14.53	40.77	1.89	14.96	6.28	77.11
2092	6.57	11.43	40.88	.27	11.45	6.56	86.83
2091	6.71	11.43	40.78	1.82	12.05	6.09	71.20

ELEMENT ID 2320
LOAD COND 1

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2092	5.26	11.43	40.88	.23	11.44	5.25	87.86
2091	5.37	11.43	40.78	1.79	11.92	4.88	74.72
2082	5.26	8.31	40.90	.18	8.32	5.25	86.69
2081	5.37	8.31	40.80	1.74	9.12	4.56	65.16

ELEMENT ID 2325
LOAD COND 1

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2082	4.07	8.31	40.90	.12	8.32	4.06	88.43
2081	4.15	8.31	40.80	1.71	8.92	3.54	70.33
2072	4.07	5.13	40.92	.07	5.14	4.06	86.02
2071	4.15	5.13	40.82	1.66	6.38	2.91	53.21

ELEMENT ID 2330
LOAD COND 1

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2072	2.99	5.13	40.92	-.01	5.13	2.99	-89.78
2071	3.06	5.13	40.82	1.63	6.03	2.16	61.23
2062	2.99	1.85	40.93	-.04	3.00	1.85	-1.98
2061	3.06	1.85	40.84	1.60	4.16	.75	34.67

ELEMENT ID 2335
LOAD COND 1

JOINT	S11	S22	S33	S12	S(MAX)	S(MIN)	ANGLE
2062	2.04	1.85	40.93	-.15	2.12	1.77	-28.54
2061	2.09	1.85	40.84	1.56	3.53	.40	42.85
2052	2.04	-1.56	40.95	-.17	2.05	-1.57	-2.67