

# Selabilidade de juntas tipo dupla-camisa para trocadores de calor em flanges com e sem nubbin

*José Carlos Veiga*  
Teadit Indústria e Comércio Ltda

*Nelson Kavanagh*  
Teadit Juntas Ltda

## Resumo

Devido às suas dimensões, juntas de vedação dupla-camisa, usadas em trocadores de calor<sup>1</sup> tipo casco e tubo, são fabricadas a partir de perfis dupla-camisa, calandrados e unidos por solda de topo<sup>2</sup>.

Este artigo relata os resultados de estudos de selabilidade de juntas de vedação tipo dupla-camisa, fabricadas com solda de união de topo e a sua resistência, quando instaladas em flanges com e sem nubbin<sup>3</sup>, variando a pressão de aperto.

## 1. Introdução

Juntas de vedação dupla-camisa são submetidas a altos esforços, durante a sua instalação e serviço. Estudos foram feitos para investigar o comportamento de juntas de vedação tipo dupla-camisa, incluindo:

- A resistência da solda de topo da junta de vedação, quando submetida a diferentes pressões de aperto;
- A resistência do ponto de solda entre as travessas e a parte circular da junta de vedação;
- O efeito de flanges com nubbin na selabilidade da junta;
- O efeito na selabilidade, instalando-se a junta de vedação fora de centro.

Neste artigo, vários testes são apresentados em duas partes. Na primeira parte, foi verificada a resistência de soldas, na parte circular da junta de vedação, quando submetidas a altas pressões de aperto. Na segunda parte, foram feitos testes de selabilidade em flanges com e sem nubbin, usando quatro níveis de aperto diferentes.

Todos os testes foram feitos em temperatura ambiente.

## 2. Primeira Parte: Resistência das Soldas da Junta de Vedação

O objetivo desta parte era verificar a resistência à pressão de aperto, de corpos de prova com solda de topo em comparação a outros corpos de prova sem solda e a resistência da solda entre a travessa e a parte circular da junta de vedação.

## 2.1 Corpos de Prova

Corpos de prova foram preparados, usando perfis, com 3,2 mm de espessura, de junta tipo dupla-camisa de aço carbono com grafite flexível (CS/FG) e aço inox com grafite flexível (SS/FG).

Para simular juntas de vedação sem travessas, foram preparados corpos de prova retos, com e sem solda de topo, em dois comprimentos, como nas figuras 1 e 5.

Para simular juntas de vedação com travessas, foram preparados corpos de prova em forma de “T”, em dois tamanhos, como nas figuras 2 e 3.

As extremidades dos corpos de prova foram soldadas, para evitar a extrusão do enchimento e melhor simular o comportamento da junta de vedação.

A largura selecionada para os corpos de prova é a mais comum usada na prática e os comprimentos foram em função das capacidades dos equipamentos disponíveis.

## 2.2. Ensaio com Líquido Penetrante

O ensaio com líquido penetrante (LP) é capaz de detectar discontinuidades abertas à superfície, mesmo quando geralmente as discontinuidades não são visíveis a olho nu.

O líquido penetrante é aplicado a superfície da parte, onde permanece por um período e penetra em aberturas (trincas ou poros). Após o período de penetração, o excesso de penetrante da superfície é removido. Então um revelador é aplicado à superfície, absorvendo parte do penetrante que ficou retido previamente nas aberturas. O inspetor olha as indicações apresentadas pelo revelador.

Pelo ASME Boiler & Pressure Vessel Code<sup>4</sup>, Section VIII, Division 1 uma indicação linear é aquela que tem um comprimento maior do que três vezes a largura. Uma indicação arredondada é uma circular ou elíptica com o comprimento igual ou menor do que três vezes a largura.

## 2.3 Teste de Compressão

Os corpos de prova foram comprimidos entre duas placas de aço, com as pressões indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Corpos de prova de compressão

Corpos de prova	Material	Pressão de Compressão MPa (psi)
51 mm reto	CS/FG	417 (60 465)
	SS/FG	
Pequeno “T”	SS/FG	
85 mm reto	CS/FG	250 (36 250)
	SS/FG	
Grande “T”	SS/FG	

Após a compressão, os corpos de prova passaram por inspeção visual e teste de LP. Resultados estão na Tabela 4.

## 2.4 Resultados e Análises

Somente os corpos de prova de aço carbono, com solda de topo e comprimidos a 417 MPa (60 465 psi) romperam extrudando o enchimento de grafite flexível, como mostra a Figura 6 e 7, contudo a ruptura não foi na solda de topo.

Poucos corpos de prova apresentaram indicações de LP, tais como pequenos poros e trincas na solda de topo. Porém estas indicações não alteraram a selabilidade das juntas testadas, conforme mostra a segunda parte deste trabalho.

Os corpos de prova testados, que simularam a solda

entre travessa e anel da junta, não apresentaram indicações de LP, tais como poros e trincas, conforme mostra a Figura 4.

Resultados mostram que uma pressão de compressão de 250 MPa (36 250 psi) é segura para as juntas de vedação dupla-camisa testadas.

## 3. Segunda Parte: Testes de Selabilidade

Esta parte trata da verificação da selabilidade e da resistência da solda, das juntas fabricadas com solda de topo, quando elas são instaladas em flanges com e sem nubbin, usando quatro níveis de aperto diferentes.

Como a maioria dos trocadores de calor tem flanges na posição vertical, é muito difícil ou quase impossível instalar a junta perfeitamente centrada. Para simular esta situação, foram feitos testes com a junta instalada fora de centro.

Um erro de instalação comum é colocar a junta com o fechamento do perfil dupla-camisa contra o nubbin. Esta condição também foi simulada.

### 3.1 Juntas de Teste

Todas as juntas testadas foram feitas em aço inox 304 com enchimento de grafite flexível. As dimensões das juntas foram 453 mm X 427 mm X 3.2 mm. Elas foram feitas a partir de perfil pré-formado dupla-camisa, calandrado e soldado de topo.

Foi feito teste por LP em todas as juntas antes de serem instaladas para teste, para garantir que não tivessem qualquer indicação, tais como poros ou trincas.

### 3.2 Dispositivo de Teste

Foram usados dois dispositivos de teste, sendo um com nubbin e outro sem nubbin. Cada dispositivo foi feito com dois flanges, apertado por vinte parafusos com diâmetro de 1", conforme Figuras 8 e 13.

### 3.3 Procedimento de Teste

O procedimento de teste usado para os dois dispositivos foi conforme a seguir:

- Limpar todos os resíduos dos parafusos, porcas e das faces dos flanges;
- Limpar e lubrificar parafusos e porcas. Todas as porcas devem girar livremente, com a mão. Qualquer conjunto de porca e parafuso que não atendesse este critério era descartado;
- Instalar a junta e apertar, com as mãos, todos os parafusos;
- Apertar os parafusos, usando uma seqüência cruzada e aumentando o torque, conforme a Tabela 2;
- Após atingir o torque especificado, continuar a apertar os outros parafusos até que todos os parafusos parem de girar;
- Aguardar 30 minutos, para acomodação da junta e reaperte os parafusos com o torque especificado;
- Pressurizar com nitrogênio a 40 bar (590 psi) e fechar a válvula de entrada;
- Registrar a queda de pressão por 4 horas. Se o manômetro não apresentar queda de pressão após 4 horas, considerar como "sem vazamento";
- Abrir a válvula de entrada até que não tenha pressão de gás;
- Aumentar o torque até o próximo nível, usando as etapas, conforme Tabela 2;
- Repetir a pressurização e seqüência acima.

Tabela 2 – Torque e etapas de aperto

Torque de aperto (N.m)	Etapas de aperto (N.m)
0 to 40	5
40 to 150	10
150 to 220	20
220 to 300	20
300 to 520	30
520 to 850	30

### 3.4 Testes de Selabilidade

Todas as juntas foram testadas com quatro níveis de aperto, conforme Tabela 3. As pressões de aperto foram selecionadas, maiores do que o mínimo previsto pelo ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section VIII,

Appendix 2 e menores do que o máximo para evitar a ruptura da junta.

Tabela 3 – Pressão de aperto na junta

Pressão de aperto na junta	
MPa	psi
54	7 800
74	10 700
128	18 500
209	30 300

As juntas foram testadas, conforme Tabela 5.

Após o teste de selabilidade, as juntas passaram por inspeção visual e teste com LP.

### 3.5 Resultados e Análises

Os resultados dos testes de selabilidade estão nas Tabelas 5 e 6 e nas Figuras 18 a 22.

Conforme apresentado na Tabela 5, há maiores diferenças entre o máximo e o mínimo vazamento, para juntas instaladas em flanges com nubbin (Figuras 15 e 17) do que juntas instaladas em flanges sem nubbin (Figura 14), que vedaram melhor.

A Tabela 6 mostra os resultados dos ensaios de LP, após o teste de selabilidade e os vazamentos médios das juntas com indicações de LP. Comparando estes valores com os respectivos valores de vazamentos médios da Tabela 5, não há um aumento de vazamento nas juntas com indicações de LP, exceto para a junta com indicação linear de 3 mm, que foi instalada fora de centro e com o fechamento do perfil contra o nubbin. As pequenas indicações de LP não tiveram influência na selabilidade da junta, como mostrado pelos resultados de vazamento das juntas com indicação de LP, que foram inferiores do que a média geral para juntas instaladas em "flanges com nubbin, centrada com o canal e fechamento oposto ao nubbin" (Tabela 5).

Comparando os valores das Figuras 18 a 22, os flanges com nubbin apresentaram vazamentos maiores do que os flanges sem nubbin para os níveis de pressão de aperto menores. Para pressões de aperto maiores, esta diferença é menor exceto para juntas instaladas conforme Figura 15 e resultado da Figura 22. Estes resultados mostram que o nubbin não melhora a selabilidade e que uma instalação incorreta com o fechamento do perfil dupla-camisa contra o nubbin, apresentaram os piores desempenhos.

A instalação fora de centro não apresentou influência significativa na selabilidade em flanges sem nubbin. Contudo, há uma melhor selabilidade para juntas instaladas fora de centro em flanges com nubbin.

Altas pressões de aperto reduzem os problemas associados com a instalação, conforme apresentado nos gráficos para 209 MPa (30 300 psi).

Tabela 4 – Resultado dos testes de compressão

Descrição	Numero de corpos de prova testados	Material	Compressão MPa (psi)	Resultados das inspeções visuais e por LP, após compressão
Grande “T” - Figura 2	3	SS/FG	250 (36250)	Nenhuma indicação, conforme Figura 4.
Pequeno “T”- Figura 3	3	SS/FG	417 (60 465)	Nenhuma indicação.
85 mm reto sem solda de topo	4	SS/FG	250 (36250)	Nenhuma indicação.
85 mm reto com solda de topo	4	SS/FG	250 (36250)	Um corpo com indicação linear de 2 mm; dois corpos com indicações arredondadas de 1 mm e um sem indicações.
85 mm reto sem solda de topo	4	CS/FG	250 (36250)	Nenhuma indicação.
85 mm reto com solda de topo	4	CS/FG	250 (36250)	Um corpo sem indicações; dois corpos com indicações lineares de 2 mm e um corpo com indicação arredondada de 1 mm. Ver Figura 9.
51 mm reto sem solda de topo	4	SS/FG	417 (60 465)	Nenhuma indicação.
51 mm reto com solda de topo	4	SS/FG	417 (60 465)	Dois corpos sem indicações; um corpo com indicação linear de 2 mm e um corpo com indicação linear de 1,5 mm. Ver Figura 10.
51 mm reto sem solda de topo	4	CS/FG	417 (60 465)	Nenhuma indicação.
51 mm reto com solda de topo	7	CS/FG	417 (60 465)	Seis corpos com ruptura da camisa metálica, conforme Figuras 6 e 7; um corpo com indicação linear de 4 mm e indicação arredondada de 2 mm. Ver Figura 11.

**Tabela 5 – Resultados dos testes de selabilidade**

Descrição	Número da Figura	Número de juntas testadas	Pressão de aperto na junta MPa	Vazamento máximo mg/(s.mm)	Vazamento mínimo mg/(s.mm)	Vazamento médio mg/(s.mm)
Flange sem nubbin, junta centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao ressalto macho.	14	5	54	0.0274	0.0174	0.0226
			74	0.0161	0.0074	0.0128
			128	0.0062	0.0017	0.0039
			209	0.0012	0.0000	0.0007
Flange sem nubbin, junta não centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao ressalto macho.	-	5	54	0.0352	0.0164	0.0265
			74	0.0219	0.0092	0.0165
			128	0.0065	0.0020	0.0050
			209	0.0022	0.0000	0.0013
Flange com nubbin, junta centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao nubbin.	17	5	54	0.1354	0.0222	0.0682
			74	0.0459	0.0113	0.0272
			128	0.0096	0.0017	0.0052
			209	0.0010	0.0000	0.0004
Flange com nubbin, junta não centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao nubbin.	16	3	54	0.0280	0.0183	0.0248
			74	0.0154	0.0115	0.0137
			128	0.0031	0.0021	0.0026
			209	0.0075	0.0000	0.0029
Flange com nubbin, junta não centrada com o canal. Fechamento do perfil contra o nubbin.	15	4	54	0.0794	0.0397	0.0604
			74	0.0472	0.0291	0.0371
			128	0.0246	0.0062	0.0151
			209	0.0079	0.0009	0.0031

**Tabela 6 – Resultados de inspeção com LP**

Descrição	Número de juntas testadas	Pressão de aperto na junta MPa	Resultados de inspeção visual e por LP após o teste	Vazamento médio entre as juntas com indicações de LP (mg/(s.mm))
Flange sem nubbin, junta centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao ressalto macho.	5	54	Uma junta com indicação linear de 1,5 mm. Duas juntas com indicações arredondadas de no máximo 1 mm.	0.0229
		74		0.0131
		128		0.0030
		209		0.0004
Flange sem nubbin, junta não centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao ressalto macho.	5	54	Nenhuma indicação.	
		74		
		128		
		209		
Flange com nubbin, junta centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao nubbin.	5	54	Uma junta com indicação linear de 2 mm. Uma junta com indicação arredondada de 1 mm.	0.0272
		74		0.0128
		128		0.0022
		209		0.0000
Flange com nubbin, junta não centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao nubbin.	3	54	Nenhuma indicação.	
		74		
		128		
		209		
Flange com nubbin, junta não centrada com o canal. Fechamento do perfil contra o nubbin.	4	54	Uma junta com indicação linear de 3 mm conforme a Figura 12.	0.0794
		74		0.0472
		128		0.0246
		209		0.0028

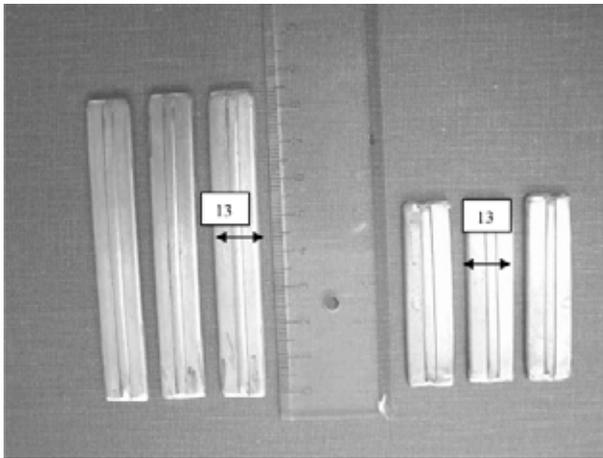


Figura 1 – Corpos de prova retos sem solda de topo

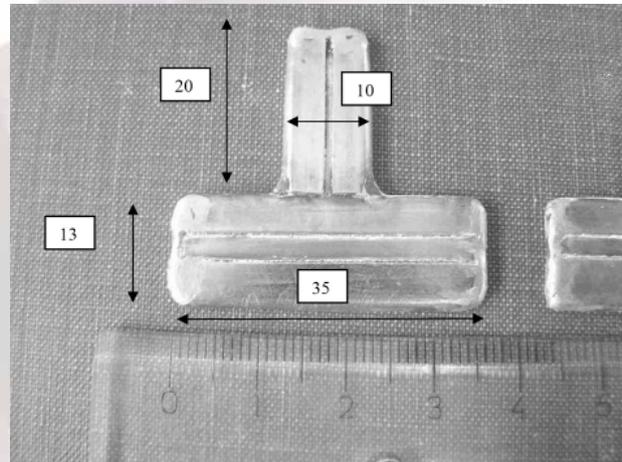


Figura 3 – Corpo de prova pequeno "T"

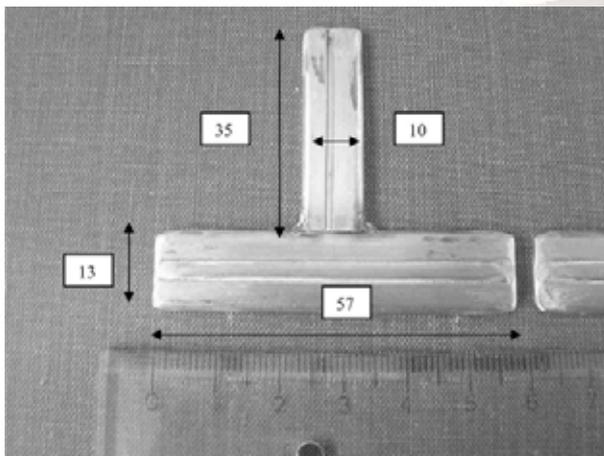


Figura 2 – Corpo de prova grande "T"



Figura 4 – Ensaio com LP após a compressão

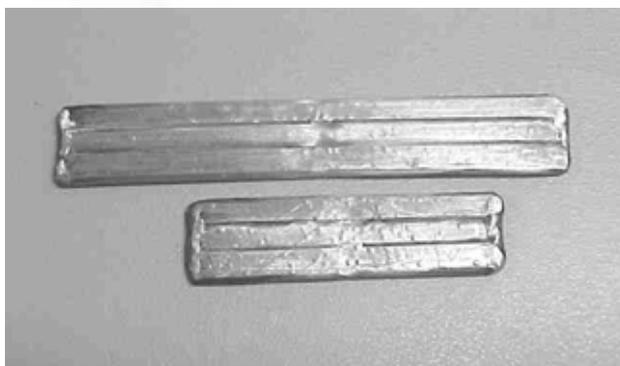


Figura 5 – Corpos de prova reto com solda de topo

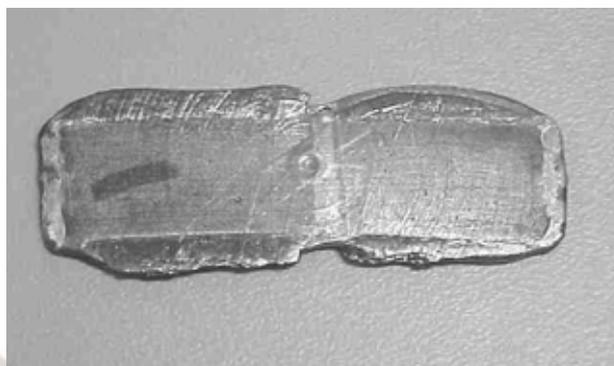


Figura 6 – Ruptura da camisa de aço carbono



Figura 7 – Ruptura da camisa de aço carbono



Figura 8 – Dispositivos de teste de selabilidade

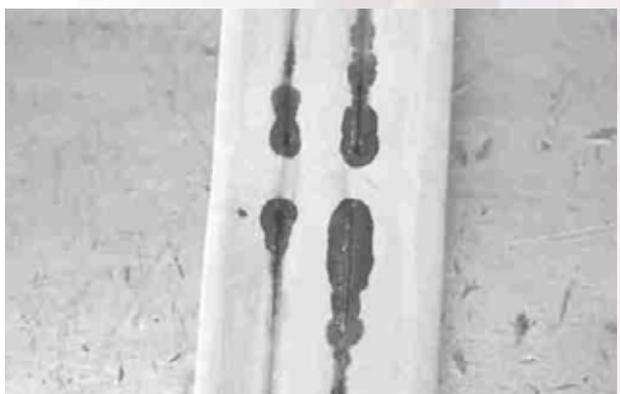


Figura 9 – Indicação arredondada de LP



Figura 10 – Indicação linear de LP



Figura 11 – Indicação arredondada de LP



Figura 12 – Indicação linear de LP

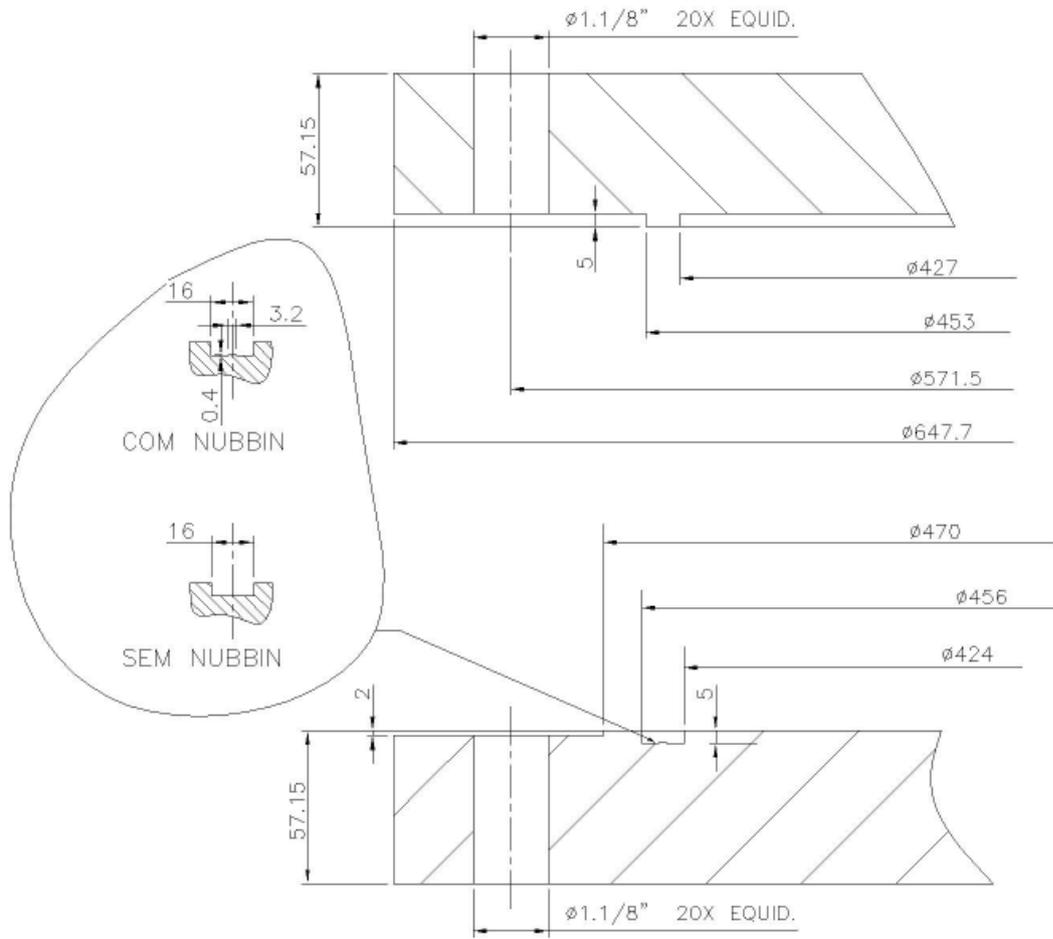


Figura 13 – Flanges de teste com nubbin e sem nubbin

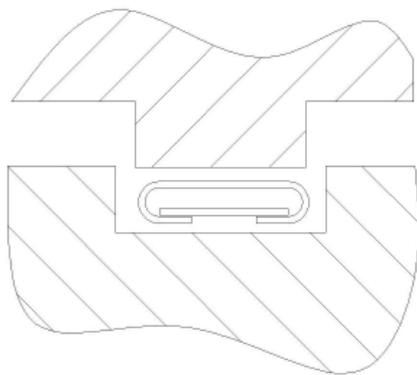


Figura 14 – Flange sem nubbin, junta centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao ressalto macho.

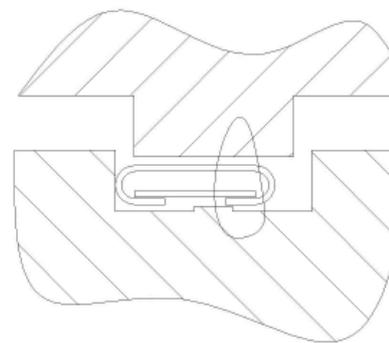


Figura 15 – Flange com nubbin, junta não centrada com o canal. Fechamento do perfil contra o nubbin.

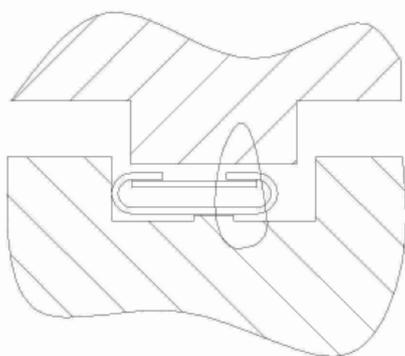


Figura 16 – Flange com nubbin, junta não centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao nubbin.

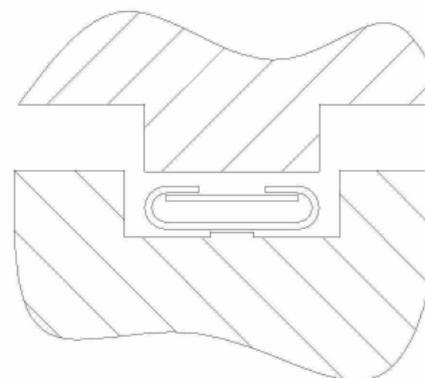


Figura 17 – Flange com nubbin, junta centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao nubbin.

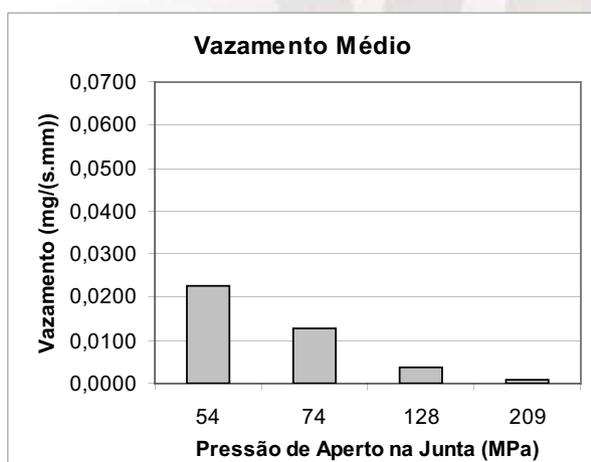


Figura 18 – Flange sem nubbin, junta centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao ressalto macho.

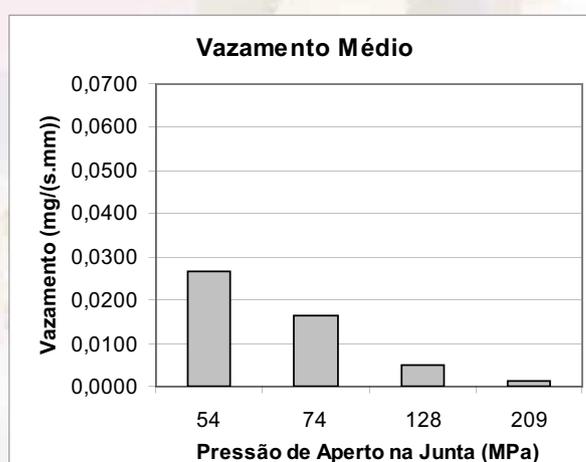


Figura 19 – Flange sem nubbin, junta não centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao ressalto macho.

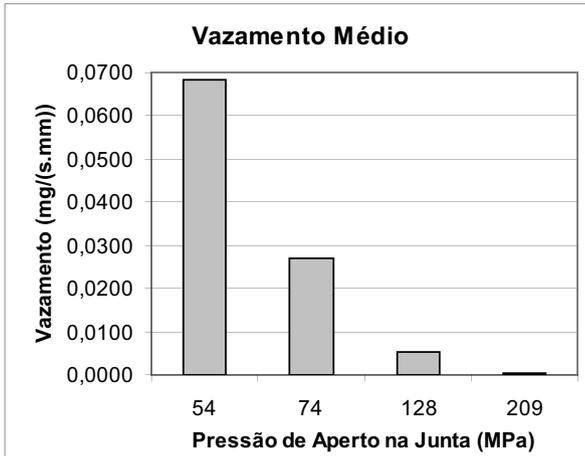


Figura 20 - Flange com nubbin, junta centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao nubbin.

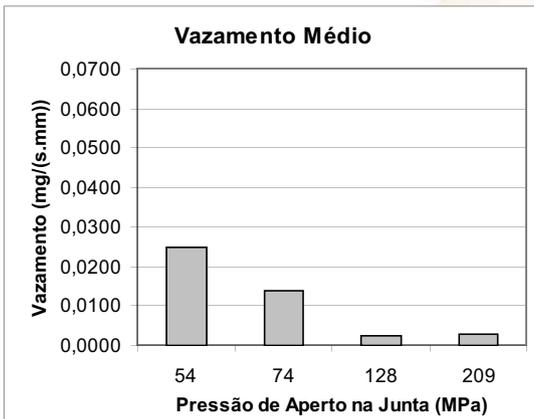


Figura 21 - Flange com nubbin, junta não centrada com o canal. Fechamento do perfil oposto ao nubbin.

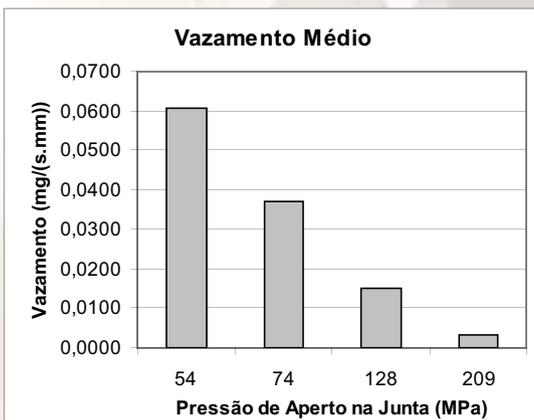


Figura 22 - Flange com nubbin, junta não centrada com o canal. Fechamento do perfil contra o nubbin.

#### 4. Conclusões

Juntas de vedação dupla-camisa fabricadas com solda de topo e travessas unidas ao anel da junta por pontos de solda, podem ser instaladas com pressão de aperto de 250 MPa, (36 250 psi) sem causar rompimento das soldas. Os custos adicionais de usinagem dos flanges com nubbin podem ser eliminados, aumentando a eficiência de vedação.

A instalação de juntas fora de centro, não influencia a selabilidade em flanges sem nubbin.

A solda de topo da parte circular da junta não influencia na selabilidade.

#### 5. Literatura

- Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers Association. Eighth Edition, Tarrytown, NY, USA.
- The Influence of the Gasket Finish on the Sealability of Double Jacketed Gaskets used in Heat Exchangers – J. C. Veiga, N. Kavanagh, PVP Volume 405, Analysis of Bolted Joints 2000, The ASME Pressure and Piping Conference 2000, Seattle, Washington, USA.
- Industrial Gaskets, 3rd Edition, 2003 - José Carlos Veiga – Teadit Ind. Com. Ltda., Rio de Janeiro, Brasil