

ANAIS



7º SIMPÓSIO BRASILEIRO  
SOBRE TUBULAÇÕES E VASOS DE PRESSÃO

7<sup>TH</sup> BRAZILIAN SYMPOSIUM ON PIPING AND PRESSURE VESSELS

FLORIANÓPOLIS, 07 - 09 DE OUTUBRO DE 1992

TRABALHO Nº

PROCEEDINGS



PP.

**AVALIAÇÃO DE TENSÕES EM BOCAIS DE CASCAS ESFÉRICAS**

**Miguel Mattar Neto**

**Julio Ricardo Barreto Cruz**

**Carlos Alexandre de J. Miranda**

COPESP/IPEN-CNEN/SP

Travessa R, 400 - CEP: 05508-900

Cidade Universitária - São Paulo - SP

SUMÁRIO

Descreve-se a análise estrutural de um bocal cilíndrico radial em uma casca esférica, submetido a carregamentos de pressão interna e forças e momentos devidos a tubulação. São consideradas 3 metodologias de análise: método Bijlaard (Boletim WRC nº 107), modelos de elementos finitos axissimétricos harmônicos de casca e de elementos sólidos. A partir dos resultados discute-se classificação, linearização e separação de tensões, de acordo com a norma ASME VIII, Division 2.

SUMMARY

The structural analysis of a radial cylindrical nozzle in a spherical shell is presented. The loads are internal pressure, forces and moments due to the piping connected to the nozzle. Three analysis methodologies are considered: the Bijlaard method (WRC 107) and two shell and solid finite element harmonic models. The stress classification, linearization and separation are discussed from the obtained results according to the ASME VIII, Division 2, code.

## 1. Introdução

Neste trabalho serão apresentados e discutidos alguns pontos relacionados com a análise estrutural e com a análise de tensões de bocais cilíndricos radiais em cascas esféricas, conforme a norma ASME BPV Code Section VIII, Division 2 [1].

O carregamento é formado pela pressão interna e por forças e momentos transmitidos pela tubulação conectada ao bocal, de origem térmica e mecânica.

São utilizados e discutidos os métodos de análise estrutural dados pelos procedimentos do Boletim WRC 107 [3], método Bijlaard, e o método dos elementos finitos com modelos axissimétricos harmônicos sólidos de 4 e 3 nós com 3 graus de liberdade (GdL) por nó e de elementos de casca axissimétrica harmônica com 2 nós e 4 GdL. Nas análises com modelos de elementos finitos o carregamento é aplicado em vários load-steps para permitir a sua definição, quando necessário, em série de Fourier (com 1 harmônico) e para posterior combinação dos resultados em várias posições angulares. Utiliza-se o programa ANSYS [2].

Juntamente com os resultados a que se chegou são apresentadas discussões sobre a interpretação e aplicação do item 4.138 "Nozzle-Piping Transition" do ASME BPV Code section VIII, Div. 2 [1].

O escopo do trabalho se restringiu a bocais cilíndricos radiais em cascas esféricas porque, com esta geometria, há maior facilidade de desenvolvimento de modelos finitos e a geometria modelada é muito próxima daquela real. No entanto os assuntos discutidos são, também, aplicáveis a outros tipos de bocais como, por exemplo, bocal cilíndrico radial em casca cilíndrica.

## 2. Geometria, Modelos e Condições de Contorno

Foi analisada a geometria apresentada na figura 1. Observa-se que a casca apresenta um reforço na região em torno do bocal.

Os modelos de elementos finitos harmônicos com elementos de casca e com elementos sólidos são apresentados nas figuras 2 e 3, processados com o programa ANSYS [2].

Como condição de contorno válida em todos os carregamentos foram impedidos os deslocamentos radiais dos nós situados na extremidade da casca oposta ao bocal. Esta referida extremidade encontra-se a mais de  $2\sqrt{Rt}$ , onde R é o raio médio da casca esférica e t a sua espessura. Com este procedimento se evita a interferência das condições de contorno na região de interesse maior (transição bocal-casca).

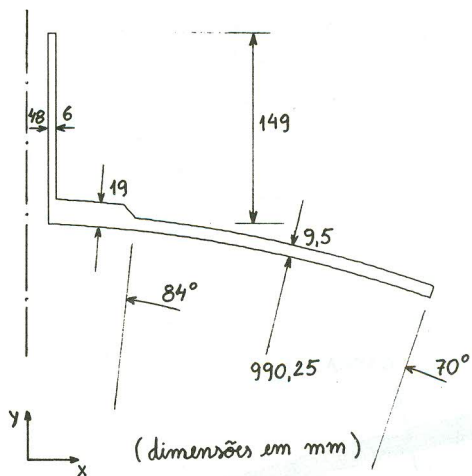


Figura 1: Geometria Modelada

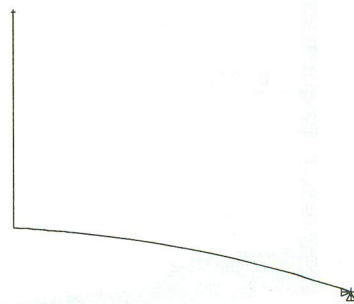


Figura 2: Modelo de Casca Axi-simétrico Harmônico com elem. de 2 nós e 4 GdL/nó

Foram definidos adicionalmente, principalmente devido ao modelo/carregamento harmônico, as seguintes condições de contorno (na extremidade da casca esférica oposta ao bocal):

- devido a Pressão .....: Força Y na extremidade do bocal
- " a Força Axial .....:  $U_Z = 0$
- " ao Momento de Torção ..:  $U_Z \neq 0$

### 3. Carregamentos

Os carregamentos utilizados nas análises, aplicados ao bocal, além da pressão interna de 0.981 MPa, são indicados na tabela 1. As direções são indicadas na figura 1.

### 4. Resultados

Considerando somente as cargas no bocal os resultados são apresentados em termos de intensidade de tensões (S.I.), conforme o ASME VIII, Division 2, nas Tabelas 2 e 3, respectivamente para os modelos com elementos finitos de casca e sólidos e com o método Bijlaard, para 4 posições angulares típicas:  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $270^\circ$ , e em 3 seções também típicas: na casca esférica, na transição casca-bocal e no bocal. Na tabela 4 são apresentados os resultados, em termos de SI, obtidos com os modelos com elementos finitos de casca e sólidos, para os carregamentos da tabela 1 mais a pressão interna.

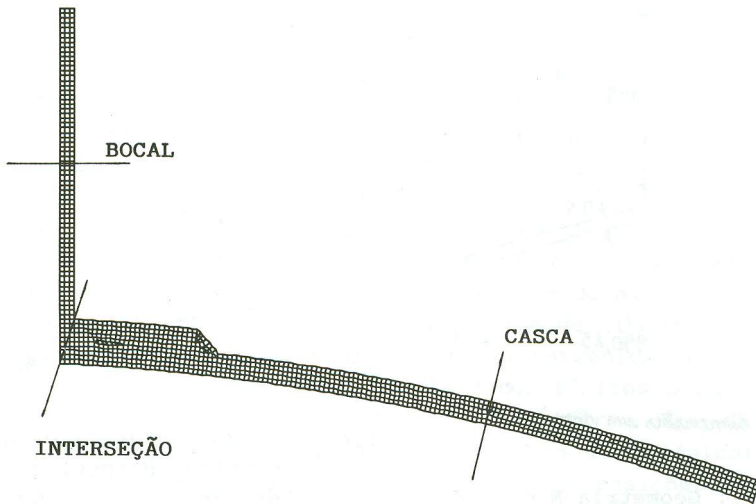


Figura 3: Modelo Sólido Axissimétrico Harmônico com Elementos de 4 nós e 3 GdL/nó

Tabela 1: Forças e Momentos aplicados

Forças	axial (Y) = 206.8N	Momentos	torção (Y) = -104. Nm
	transv. (X) = 674.4N		transv. (X) = 421. Nm
	transv. (Z) = 332.7N		transv. (Z) = -655. Nm

Os resultados apresentados nas tabelas 2 e 4 foram obtidos com os pós-processadores do ANSYS que combinam as tensões para cada posição angular indicada, a partir dos vários casos de carregamento. No caso do modelo com elementos de casca os valores de SI de membrana e membrana+flexão foram obtidos diretamente dos valores de SI fornecidos ao longo das espessuras dos elementos. Para o modelo com elementos sólidos os valores de membrana e de membrana+flexão foram obtidos por meio do procedimento de linearização de tensões do ANSYS com a opção que despreza a contribuição de flexão da componente na direção da espessura (SX). Este procedimento foi adotado por ser mais próximo da realidade física já que esta componente SX realmente não produz flexão na seção.

Tabela 2: Resultados das Análises com Elementos Finitos  
(sem pressão) - S.I. máx. em MPa

posição angular	no BOCAL		na INTERSEÇÃO		na CASCA		
	memb	memb+ flexão	memb	memb+ flexão	memb	memb+ flexão	
0°	7.03	7.63	2.31	50.49	2.33	17.24	C A S C A
90°	13.94	15.36	5.10	38.38	5.27	21.51	
180°	16.81	7.40	1.92	49.18	2.23	16.80	
270°	14.16	15.22	5.49	39.98	5.37	21.92	
0°	8.56	8.75	14.32	19.50	9.15	11.55	S Ó L I D O
90°	13.57	13.85	8.71	23.26	7.68	14.08	
180°	8.33	8.52	14.32	19.24	9.16	11.15	
270°	12.87	16.19	8.71	13.81	7.63	14.51	

Tabela 3: Resultados das Análises Método Bijlaard (em MPa)  
(na interseção Bocal-Casca) sem pressão

posição angular	Meridional		Circunferencial		S.I. máx.	
	memb	memb+ flexão	memb	memb+ flexão	memb	memb+ flexão
0°	-1.30	-6.0 3.4	-5.3	-29.0 18.4	4.0	23.0
90°	0.80	3.9 -2.3	3.2	18.5 -12.1	2.4	14.6
180°	1.30	6.0 -3.4	5.3	29.0 -18.4	4.0	23.0
270°	0.80	-3.9 2.3	-3.6	-18.9 11.7	2.8	15.0

Como exemplo do procedimento de linearização de tensões do ANSYS a figura 4 mostra os valores de SI para as 4 posições angulares da interseção bocal-casca do modelo com elementos sólidos, para os carregamentos da tabela 1, sem pressão interna.

Tabela 4: Resultados das Análises com Elementos Finitos  
(com pressão) - S.I. máx. em MPa

posição angular	BOCAL		INTERSEÇÃO		CASCA		
	memb	memb+ flexão	memb	memb+ flexão	memb	memb+ flexão	
0°	11.69	12.44	64.76	76.90	56.37	68.19	C A S C A
90°	17.68	18.12	57.35	92.41	49.95	63.96	
180°	10.36	10.94	60.53	88.98	52.77	62.09	
270°	18.82	20.01	67.94	99.22	59.20	75.13	
0°	12.56	13.41	53.40	75.67	61.72	80.04	S Ó L I D O
90°	17.41	18.22	51.65	107.00	52.27	59.60	
180°	12.16	13.05	52.87	98.87	55.71	65.65	
270°	17.52	18.39	52.51	71.75	62.91	84.15	

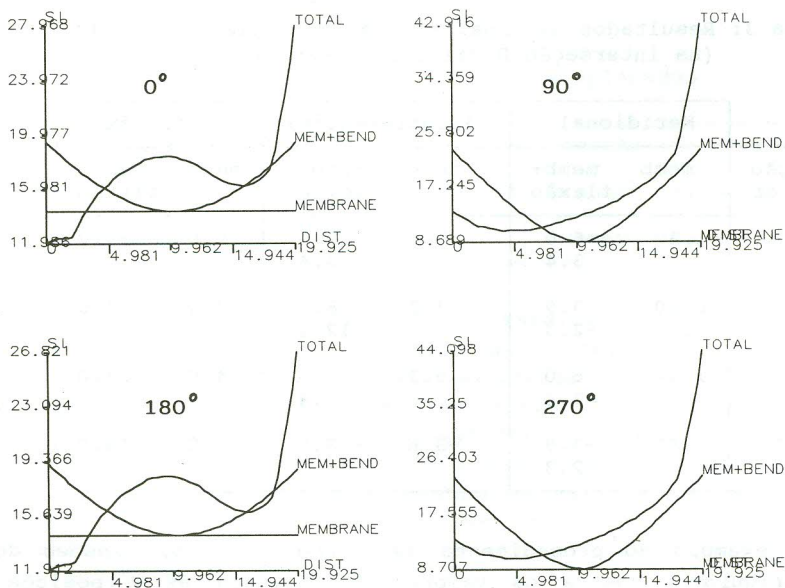


Figura 4: Tensões S.I. Linearizadas a 0°, 90°, 180° e 270°.

## 5. Comentários

Para a casca esférica, longe do bocal, os resultados da tabela 2 (sem pressão) mostram tensões baixas e com valores não muito próximos. O modelo com elementos de casca tem tensões de membrana menores e de flexão maiores em relação ao modelo com elementos sólidos. Com a inclusão da pressão interna os resultados da tabela 4 mostram valores bem próximos nos dois modelos.

Para o bocal, longe da interseção, tanto a tabela 2 quanto a tabela 4 mostram resultados bem próximos. Para a interseção bocal-casca as tabelas 2 e 3 (sem pressão interna) mostram que os resultados, nestes casos, apresentam valores da mesma ordem de grandeza, sendo mais próximos nos casos das análises com elementos sólidos e com o método Bijlaard.

Com estes resultados a primeira questão que se coloca é: como superpor o efeito da pressão interna aos valores obtidos com o método de Bijlaard? Os procedimentos usuais indicam que as parcelas  $\sigma_{\text{circunf.}} = \sigma_{\text{meridion.}} = (P.R)/(2.t)$ , onde P é a pressão interna, R é o raio médio da casca na região da interseção (no caso, com o reforço) e t é a espessura na região da interseção (com reforço), devem ser somadas diretamente ou multiplicadas por fatores de intensificação de tensões às parcelas de tensões de membrana. No presente caso, onde  $\sigma_{\text{circunf.}} = \sigma_{\text{meridion.}} = 25.81 \text{ MPa}$ , chega-se aos resultados indicados na tabela 5 (sem fatores de intensificação de tensões).

Comparando os resultados das tabelas 4 e 5 pode-se notar que seriam necessários fatores de intensificação de tensões de membrana e de flexão, da ordem de 2 para que, levando em consideração a descontinuidade, os valores do método Bijlaard ficassem próximos aos obtidos com as análises de elementos finitos.

De acordo com [1] a seguinte prescrição especial deve ser atendida na interseção bocal-casca: a classificação  $P_m$  é aplicável à tensão de membrana generalizada devido a pressão mais a tensão de membrana devido aos carregamentos no bocal (sejam eles de origem mecânica ou térmica); a classificação  $P_l$  é aplicável à soma da tensão de membrana localizada devido a pressão (considerando, portanto, a descontinuidade) mais a tensão de membrana + flexão devido aos carregamentos no bocal (sejam eles de origem mecânica ou térmica); a classificação  $P_l + P_b + Q$  é aplicável às tensões de membrana+flexão resultantes da pressão interna, dos carregamentos no bocal (de origem mecânica ou térmica) e da temperatura.

Para aplicar o exposto no parágrafo acima à interseção bocal-casca, há as seguintes possibilidades, para as tensões primárias:

a. Com o método Bijlaard é possível obter a intensidade de tensão  $P_m$  superpondo a parcela da tensão de membrana generalizada da casca  $(P.R)/(2.t)$  com a tensão de membrana resultante dos carregamentos externos, sem a aplicação de fatores de intensificação originados pela descontinuidade. Para obtermos  $P_l$  é necessário considerar o efeito da descontinuidade na tensão de membrana devido a pressão por meio dos fatores mencionados e somar a esta parcela as tensões de membrana+flexão causadas pelos carregamentos externos.

b. Com o método dos elementos finitos não é possível obter a intensidade de tensão  $P_m$  diretamente, porque na região da interseção o método captura, sempre, os efeitos da descontinuidade. Seguindo o especificado na norma [1], para obter  $P_l$ , é necessária uma separação na análise dos casos de pressão interna e dos carregamentos no bocal. Para o primeiro caso (pressão) deve-se calcular o tensor médio para obter a parcela de membrana e superpô-lo aos tensores de membrana+flexão do segundo caso (cargas no bocal) e, só então, obter  $P_l$ .

Tabela 5: Resultados das Análises Método Bijlaard (em MPa)  
(na interseção Bocal-Casca) - com pressão

posição angular	Meridional		circunferencial		S.I. máx.	
	memb	memb+ flexão	memb	memb+ flexão	memb	memb+ flexão
0°	24.51	19.81 29.21	20.51	-3.19 44.21	25.01	44.71
90°	26.61	29.71 23.51	29.01	44.31 13.71	26.51	44.81
180°	27.11	31.81 22.41	31.11	54.81 7.41	27.61	55.31
270°	25.01	21.91 28.11	22.21	6.91 37.51	25.51	38.01

Na tabela 4 não se seguiu este procedimento. Das tensões resultantes da superposição da pressão interna com os carregamentos no bocal foi feita a linearização. Assim na tensão



de membrana+flexão obtida há uma parcela de flexão, causada pela pressão interna, que é tensão secundária.

#### 6. Conclusão

Como conclusão pode-se dizer que os procedimentos de dimensionamento/verificação de bocais utilizando a superposição das tensões de membrana generalizadas (devidas a pressão) com as tensões de membrana e flexão (provocadas por carregamentos externos no bocal), calculadas com o método de Bijlaard, não verificam todos os limites indicados em [1] (no caso,  $P_m < S_m$  e  $P_l < 1.5 S_m$ ) e podem levar a resultados contra a segurança se fatores de intensificação de tensões não forem aplicados corretamente. Na região do reforço, caso seja utilizado o método dos elementos finitos, devem ser tomados cuidados para fazer a correta superposição dos casos de carregamento. Deve-se ressaltar que, pelo indicado em [1], no reforço os carregamentos nos bocais de origem térmica causam tensões primárias.

#### REFERÊNCIAS

- [1] ASME Boiling and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 2, 1989 edition.
- [2] ANSYS Revision 4.4A - "User's Manual", 1989. Swanson Analysis System, Inc. Houston, PA (USA).
- [3] K.R.Wichman, A.G.Hopper, J.L.Mershon - "Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells Due to External Loadings", Boletim n<sup>o</sup> 107 do Welding Research Committee, 3rd Revised printing, April 1972.