

ANÁLISE DE TENSÕES NO ACOPLAMENTO DA MÁQUINA DE TROCA
DOS ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS À VÁLVULA DA BLINDAGEM
ROTATIVA DO VASO DE PRESSÃO DE UM REATOR PWR

LEVI BARCELOS DE ALBUQUERQUE
CARLOS ALEXANDRE DE JESUS MIRANDA

COPESP - Coordenadoria para Projetos Especiais
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 CEP - 05508-900
Cid. Universitária - S. Paulo - SP
Tel.: (011) 210-1877 r. 2185/2187
Fax: (011) 8144695

SUMÁRIO

Nesta análise obtém-se as tensões na válvula da Blindagem Rotativa (BR) acoplada à Máquina de Troca de Elementos Combustíveis (MTC) submetida ao carregamento oriundo do sismo OBE. A MTC foi anteriormente submetida a uma análise sísmica usando o método do espectro de resposta e as reações máximas obtidas nesta análise foram aplicadas à estrutura da válvula como carregamento estático. Foi desenvolvido um modelo 3-D para a válvula e parte da BR em elementos finitos de casca fina com o programa ANSYS versão 4.4A. Verifica-se, além do nível de tensões, se os deslocamentos provocados por este carregamento impedirão ou não o funcionamento da parte móvel da válvula durante o sismo.

SUMMARY

A FE static analysis was performed with the valve of the Rotating Shield (BR) which is coupled with the Fuel Element Loading-Unloading Machine (MTC) under OBE earthquake. The applied loads were obtained from a previous seismic analysis with the response spectrum method of the MTC under OBE load. A 3-D model with shell elements was developed for the valve body and for a part of the BR. The ANSYS program, version 4.4A, was used. The two main scopes of this work were to verify the valve stresses and the functionality of its moving parts during the earthquake.

1.0. INTRODUÇÃO

A válvula é uma estrutura a ser parafusada ao flange do vaso de pressão de um reator tipo PWR de pesquisa através da qual é feita a troca dos elementos combustíveis: a MTC pousa e se fixa sobre a válvula, que se abre permitindo, assim, que se realize essa troca.

Trata-se de uma estrutura composta por chapas com as seguintes partes principais: a base, que se liga ao corpo da válvula (carcaça) através de parafusos; a carcaça (o corpo da válvula), composta por chapas soldadas; e a base intermediária (sobre a qual se assenta a MTC) soldada à carcaça. Esta base intermediária, basicamente, é uma chapa quadrada com um furo central também quadrado. Em cada um dos seus quatro cantos existe um suporte ao qual a MTC se prende, para a troca dos elementos combustíveis, através de pinos pneumáticos, e é parafusado à base intermediária.

Todo esse conjunto, da válvula, é parafusado ao anel superior da BR. Estas chapas possuem entalhes, encaixes, derivando em chapas de espessura variada. Adotou-se no modelo, em cada uma das partes da válvula, a menor dessas espessuras. Os detalhes tais como cantos curvos, de modelagem mais complicada, foram considerados como retos, assumindo-se que tal aproximação não provoca erros consideráveis nos resultados.

Para efeito dos cálculos efetuados a estrutura foi considerada como de categoria sísmica sendo o carregamento principal definido pelas reações de apoio máximas oriundas de uma prévia análise sísmica, usando o método do espectro de resposta (sismo OBE) na MTC.

As análises da válvula apresentadas são análises estáticas. Combinando-se o sismo com o peso próprio obtiveram-se dois casos de carregamentos analisados (carregamentos B e C, conforme explicados na seção 2.0). Foi também analisado o caso de carregamento correspondente ao peso próprio da válvula + peso próprio da MTC (carregamento A, seção 2.0).

Salienta-se que como a massa da estrutura da válvula é bem menor que a massa da MTC, desprezou-se o efeito do sismo sobre a própria válvula.

Foi considerado que a MTC se apoia sobre a base intermediária, sendo que todo o carregamento vertical, obtido da análise sísmica espectral se distribui como pressão uniforme nesta base; o carregamento devido ao sismo horizontal: força horizontal e momento derivado deste carregamento (a reação horizontal está sendo, em parte, resistida pelo atrito entre as superfícies em contato) foi concentrado nos suportes. Assim, esse carregamento se transmite à válvula e depois ao anel da BR através dos parafusos que ligam estas estruturas.

O anel superior da BR se liga ao anel intermediário através de um conjunto circular de rolamentos, que impedem, além do deslocamento vertical, também o deslocamento radial dos nós situados neste círculo.

Salienta-se que as verificações apresentadas são apenas ilustrativas observando-se os limites da Norma ASME NB [2] tendo em vista que a classificação final deste equipamento não foi ainda estabelecida.

2.0. MODELO

Para a modelagem da estrutura da válvula foi usado o programa ANSYS versão 4.4A [1]. O modelo foi desenvolvido com elementos de casca (STIF63 da biblioteca de elementos do ANSYS). Foi usado o recurso de geração automática da malha de elementos, separando-os pelas diferentes espessuras, através da definição de KEYPOINTS, linhas e áreas. Nas ligações entre a carcaça e a base da válvula e desta ao anel da BR, ambas parafusadas, foi utilizado o acoplamento dos graus de liberdade de deslocamentos (UX, UY e UZ) nos pontos correspondentes ou que se aproximam da posição dos parafusos e, dependendo do carregamento, de alguns pontos no entorno destes parafusos (na região em que há compressão entre as duas superfícies em contato), como será explicado a seguir.

Geometria modelada. A figura 1 mostra o modelo da válvula onde são identificadas as suas partes principais já descritas. Foram adotadas as seguintes espessuras médias: base, 50 mm; carcaça, 30 mm; base intermediária, 50 mm; anel superior da BR, 70 mm. As figuras 2 e 3 mostram a carcaça da válvula.

Condições de contorno. Os nós que simulam os rolamentos do anel da BR foram restringidos em UZ (vertical) e UX (radial, sistema cilíndrico local); para evitar singularidades na matriz de rigidez foram restringidos dois nós em UY (tangencial, sistema cilíndrico local).

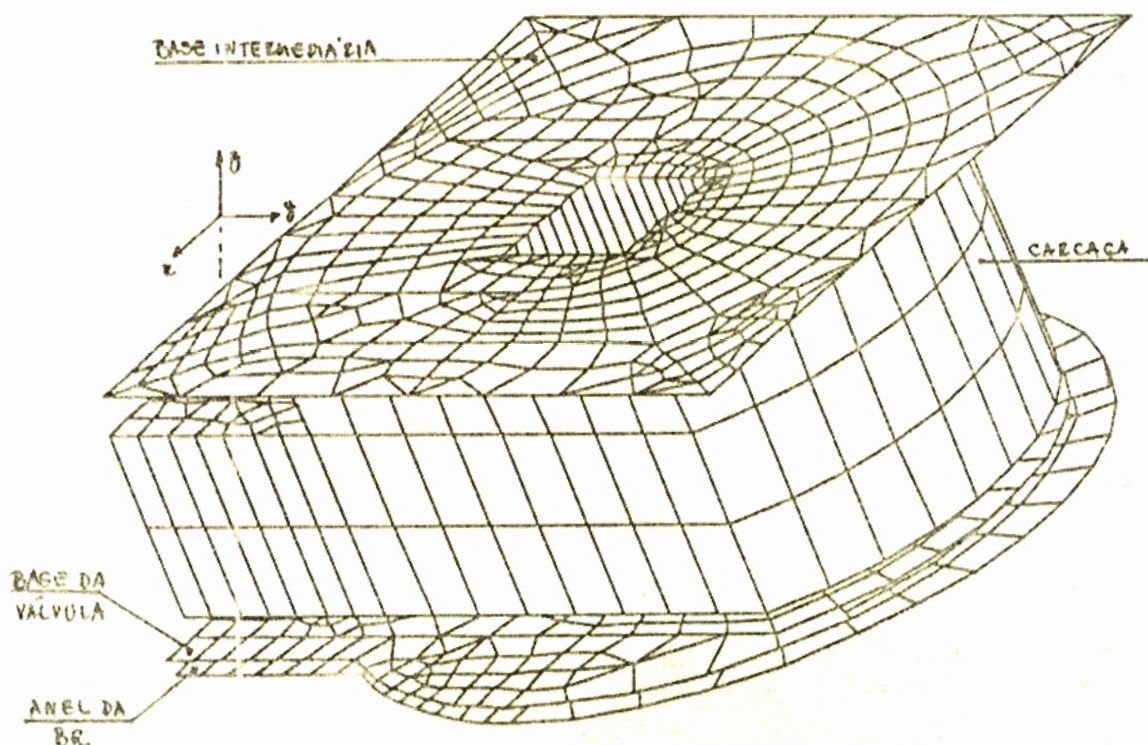


figura 1 - Detalhe do Modelo da Válvula

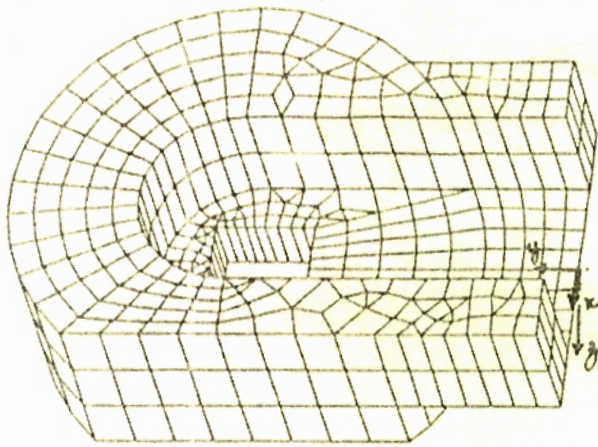


fig.2 - Detalhe da carcaça

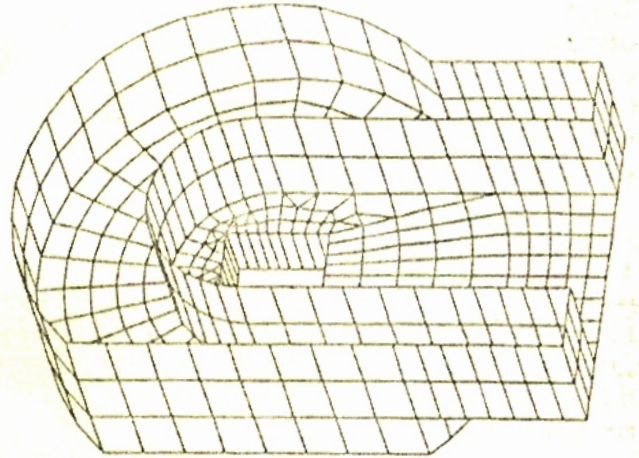


fig.3 - Nervuras da carcaça

Os nós que estão na posição dos parafusos tiveram os deslocamentos (UX, UY e UZ) acoplados entre a carcaça e a base da válvula e entre a base e o anel da BR para o caso de carregamento A (peso próprio + peso MTC). Outros nós também poderiam ter sido acoplados, pelo fato de, neste caso, haver sempre "compressão" entre as duas superfícies em contato, no entanto, não ter sido feito esse acoplamento é conservador.

Para os casos de carregamentos B e C (que correspondem às combinações de peso próprio + peso da MTC + sismo OBE) acoplaram-se, também, alguns nós no entorno dos parafusos na região onde há "compressão" entre as duas superfícies em contato. Na verdade esse acoplamento adicional foi feito apenas entre a carcaça e a base da válvula, o que é conservador, pois poderia também ser feito entre a base da válvula e o anel da BR.

Salienta-se também que aqueles nós que estão mais próximos dos parafusos, nas áreas sob compressão, foram acoplados em UX, UY e UZ, enquanto isso aqueles que estão mais distantes foram acoplados apenas em UZ. O acoplamento dos deslocamentos na horizontal (UX e UY) foi feito partindo da suposição de que a força horizontal resultante dessa hipótese será absorvida pelo atrito entre as duas superfícies que aparece devido à pretensão a ser aplicada aos parafusos (definida na seção 4.0).

Carregamentos aplicados. Como a conexão válvula/MTC é feita através dos suportes da MTC que se ligam à válvula por parafusos, toda carga que chega nos suportes transfere-se localmente para a estrutura da válvula. Assim as cargas resultantes da análise sísmica na MTC [3] derivam em cargas aplicadas nos pontos correspondentes às posições dos suportes (forças e momentos para as componentes horizontais do sismo) como também em pressões uniformemente distribuídas sobre a base intermediária (força de reação devido a componente vertical do sismo).

Pelo fato da componente horizontal do sismo sobre a MTC poder ocorrer em qualquer direção foram escolhidas duas direções que se admitiram como críticas gerando-se duas

análises diferentes para definir as combinações com o sismo. Também considerou-se que parte das reações horizontais do sismo são resistidas pelo atrito (adotando-se coeficiente de atrito igual a 0.2) entre as duas superfícies em contato (base da MTC e base intermediária da válvula) e o restante foi considerado carregando os suportes e, evidentemente, pontualmente a válvula.

Da ref. [3], decorrente do peso próprio da MTC e da combinação deste com os resultados do sismo vertical (na MTC) obteve-se um carregamento vertical que foi uniformemente distribuído sobre a base intermediária. Salienta-se que há uma blindagem de chumbo no interior da carcaça que também foi considerado como pressão equivalente distribuída sobre a parte inferior desta carcaça. Desta forma foram analisadas as seguintes condições de carregamento:

Caso de carregamento A: Peso próprio + peso da MTC. O carregamento aqui chamado de peso próprio compreende o peso da válvula e anel da BR, com a blindagem de chumbo (pressão uniforme na parte inferior da carcaça de valor 0.033 MPa) e o peso da MTC, aplicado como uma pressão sobre a base intermediária de valor 0.213 MPa.

Caso de carregamento B: Combinação do peso próprio com peso e sismo na MTC na DIREÇÃO 1 (direção do eixo Y, ver figura 4). Compreende a combinação do peso próprio da válvula e do anel da BR com os seguintes carregamentos: peso da MTC + reação vertical do sismo, distribuídos na base intermediária (0.243 MPa); peso do enchimento com chumbo, distribuído na base da carcaça (0.033 MPa) e; reações da análise do sismo horizontal na direção 1 [3], como discutido anteriormente, que foram aplicadas como cargas nodais. Os nós carregados e as respectivas cargas são mostrados na tabela 1.

TABELA 1 - Forças nodais: Carregamentos B e C

NO	CARREGAMENTO B		CARREGAMENTO C		
	FX (N)	FY (N)	FX (N)	FY (N)	FZ (N)
662	50435	-51948	35663	35663	
682	50435	-51948	35663	35663	-73465
713		51948			
739		51948			73465

Caso de carregamento C: Combinação do peso próprio com peso e sismo na MTC na DIREÇÃO 2 (direção diagonal à placa intermediária passando pelos nós 739 e 682, ver figura 4). Compreende a combinação do peso próprio da válvula e do anel da BR com: peso da MTC + reação do sismo vertical, distribuídos na base intermediária (0.243 MPa); peso da blindagem de chumbo, distribuído na base da carcaça (0.033 MPa) e; reações da

análise do sismo horizontal na direção 2, como discutido anteriormente, que foram aplicadas como cargas nodais. Os nós carregados e as respectivas cargas são mostrados na tabela 1.

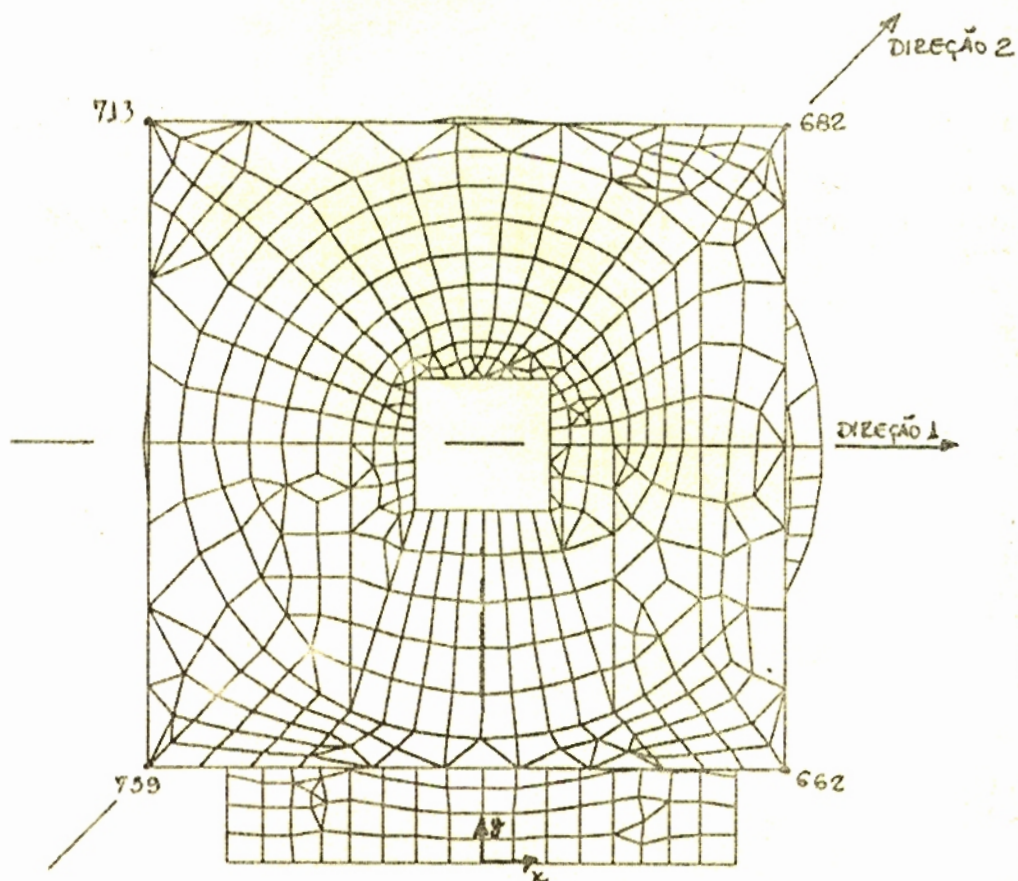


figura 4 - Direções 1 e 2 do sismo horizontal

3.0. RESULTADOS OBTIDOS

Na estrutura da válvula: Para o caso de carregamento A as tensões máximas, SI, pontuais, encontradas foram:

de membrana, 23.65 MPa;

de membrana + flexão, 305.70 MPa (encontrada na parte inferior da carcaça).

Mostra-se em seguida, nas figuras 5 a 10, o procedimento seguido na determinação das tensões nas diversas partes da válvula, apresentando-se as plotagens das tensões de membrana + flexão.

Como o valor pontual da tensão de membrana é bastante inferior ao admissível pela norma [2], apenas a tensão de membrana + flexão foi linearizada adotando-se, no caso da tensão de membrana, o seu valor pontual, ou seja:

tensão de membrana $P_m = 23.65 \text{ MPa} < S_m = 131.0 \text{ MPa}$

tensão de membrana local + flexão linearizada na seção crítica (figuras 11 e 12) $P_l + P_b = 175 \text{ MPa} < 1.5 * S_m = 196.5 \text{ MPa}$.

Nos demais casos de carregamento procedeu-se de maneira semelhante para obtenção das tensões com o uso de figuras similares que não serão, por esta razão, apresentadas.

Para o caso de carregamento B as tensões máximas, SI, pontuais, encontradas foram:

de membrana, $P_m = 60.35 \text{ MPa} < S_m = 131.0 \text{ MPa}$;

de membrana + flexão, $P_l + P_b = 140.42 \text{ MPa} < 1.5 \cdot S_m = 196.5 \text{ MPa}$.

Como os valores pontuais são inferiores aos limites da Norma, adotaram-se estes valores para proceder-se às verificações no lugar dos valores linearizados, como seria o mais correto.

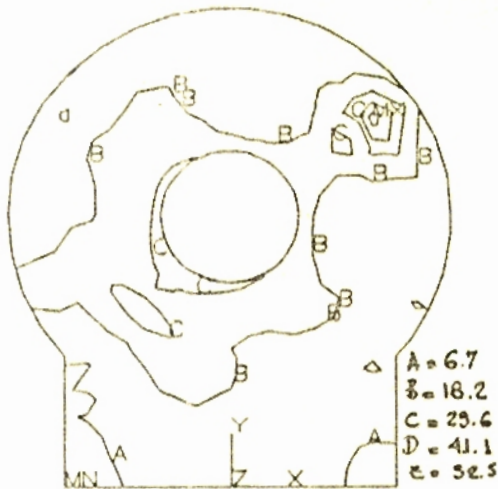


fig. 5 - Tensões (SI) no anel da BR: carregamento A

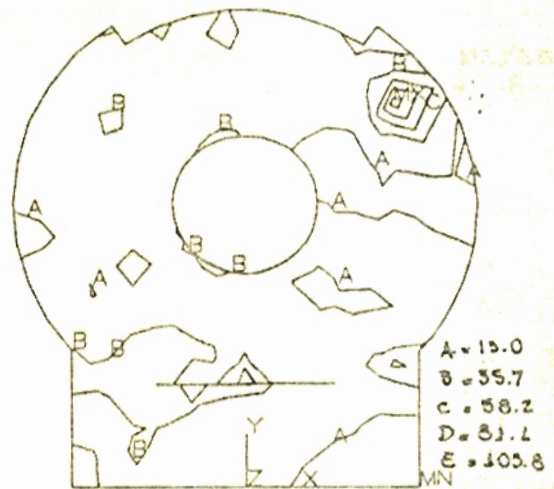


fig. 6 - Tensões (SI) na base da válvula: carregamento A

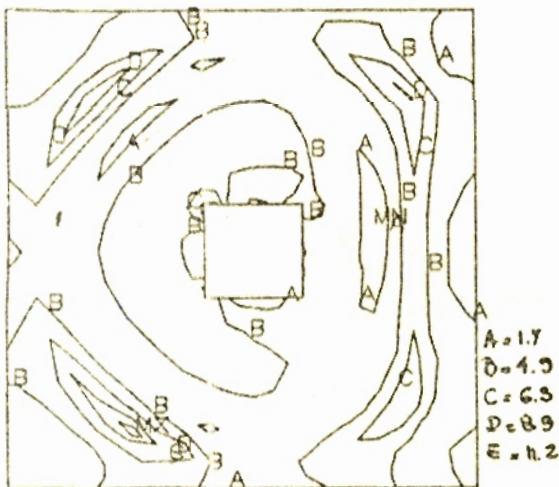


fig. 7 - Tensões (SI) na base intermediária: carregamento A

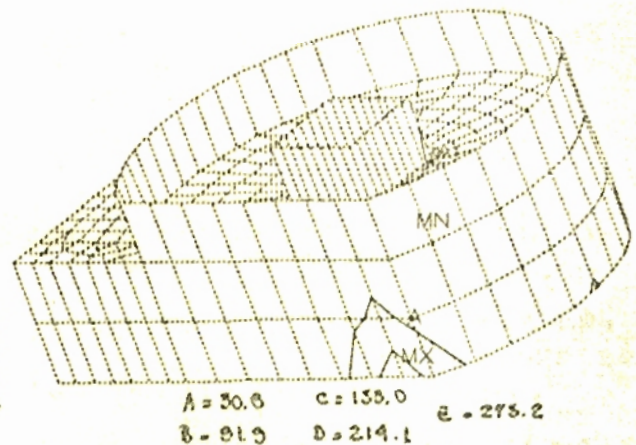


fig. 8 - Tensões (SI) na carcaça: carregamento A

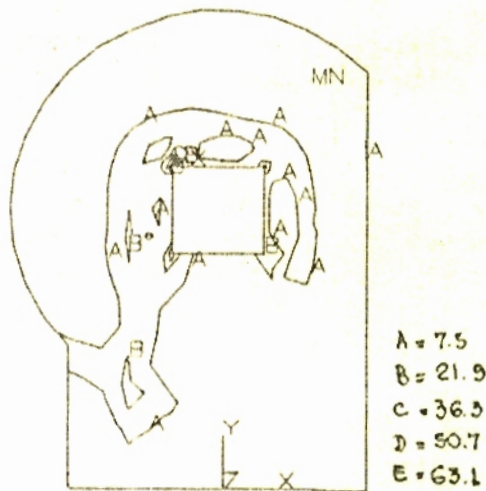


fig.9 - Tensões (SI) parte superior carcaça: carreg. A

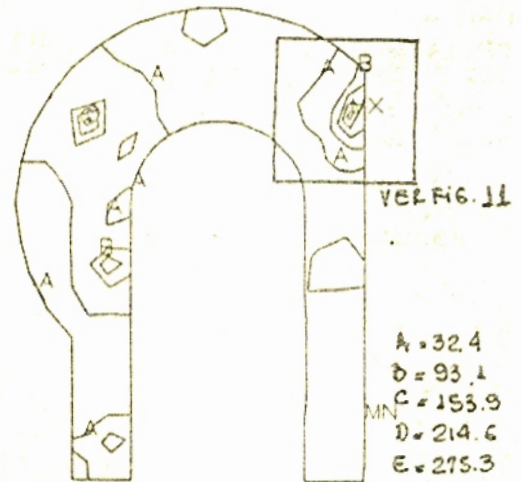


fig.10 - Tensões (SI) na parte inferior carcaça: carregam. A

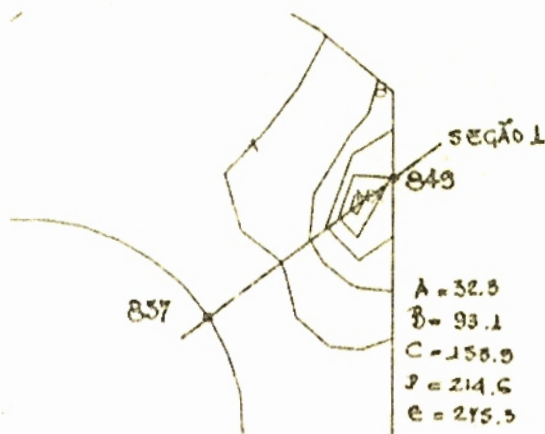


fig.11 - Tensões (SI) máximas na carcaça: Carregamento A

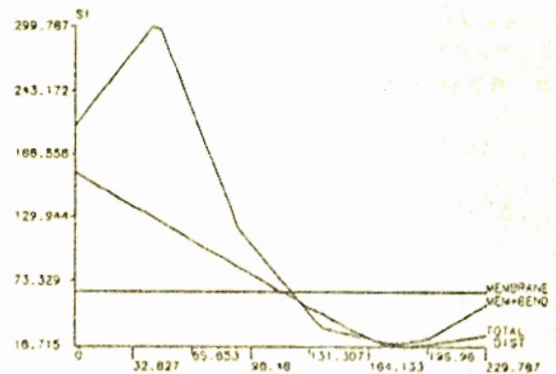


fig.12 - Linearização tensões (SI) na seção 1

Para o caso de carregamento C as tensões máximas, SI, pontuais, encontradas foram:

de membrana, $P_m = 68.61 \text{ MPa} < 131.0 \text{ MPa}$;

de memb + flexão $P_m + P_b = 146.4 \text{ MPa} < 1.5 \cdot S_m = 196.5 \text{ MPa}$.

(Vale aqui a obs. feita para o carregamento B quanto a não se ter procedido à linearização de tensões)

Tensões e forças de pré-aperto nos parafusos da válvula:

Como mencionado anteriormente os nós que simulam os parafusos tiveram seus deslocamentos acoplados em UX, UY e UZ. O acoplamento dos deslocamentos horizontais (UX e UY) implicam na

necessidade de se estabelecer forças de pré-tensão nos parafusos a fim de absorver, por atrito, os esforços horizontais obtidos pelo programa já que estes parafusos não têm resistência ao cisalhamento. (Estes parafusos são de material de alta resistência e têm diâmetro de 16 mm).

Conservadoramente, considerou-se a ação conjunta, num mesmo parafuso, da força de tração máxima e a sua correspondente força horizontal, ou, a força horizontal máxima com a sua correspondente força de tração, obtendo-se a força de pré-aperto ($f_{pré}$) em cada um dos dois casos e assumindo-se o maior destes valores. Apenas os resultados finais são apresentados.

Ressalta-se que este procedimento é conservador pois poderia ter sido calculada uma força horizontal média nos parafusos, já que a definição do pré-aperto em todos provocará uma redistribuição de esforços.

Como o caso de carregamento A só possui forças verticais com o mesmo sentido do peso próprio (provocando sempre "compressão" entre as superfícies em contato) as conexões parafusadas não são solicitadas aos esforços de tração e horizontais, não sendo, portanto, calculadas forças de pré-aperto neste caso de carregamento.

Parafusos entre a carcaça e a base da válvula:

Para estes parafusos o caso de carregamento mais crítico é o caso B para o qual encontrou-se (adotando-se coeficiente de atrito = 0.2): força horizontal, $f_h = 14606$ N e força de tração, $T = 16997$ N.

Assim a força de pré-aperto ($f_{pré}$) deve ser no máximo:

$$f_{pré} = f_h/0.2 + T = 90027 \text{ N}$$

A tensão de membrana, $P_m = 447.8$ MPa $< 2 \cdot S_m = 873.4$ MPa.

Parafusos entre a base da válvula e o anel da BR:

Para estes parafusos o caso de carregamento mais crítico é o caso C para o qual encontrou-se: $f_h = 11397$ N e $T = 25852$ N.

Assim a força de pré-aperto ($f_{pré}$) deve ser no máximo:

$$f_{pré} = f_h/0.2 + T = 82837 \text{ N}$$

A tensão de membrana, $P_m = 412.0$ MPa $< 2 \cdot S_m = 873.4$ MPa.

4.0. CONCLUSÕES

Apresenta-se na tabela 2 um resumo dos valores máximos de tensões encontrados nos diversos itens descritos nestes trabalho, sob a ação dos carregamentos que foram considerados atuar nestes itens.

A força de pré-aperto nos parafusos foi determinada em 90027 N.

Os deslocamentos máximos encontrados na válvula são menores que as folgas existentes entre suas partes móveis, portanto, o seu funcionamento está garantido mesmo durante a ocorrência do sismo OBE.

Dessa forma, ainda que sendo usados procedimentos conservadores para as verificações realizadas, foram encontrados valores de tensões compatíveis com os limites

admissíveis e deslocamentos compatíveis com um bom funcionamento da válvula.

TABELA 2 - Tensões na válvula e anel da BR

CHAPAS E PLACAS			PARAFUSOS Pm (MPa)	
CARREGAMENTO	Pm (MPa)	P1+Pb (MPa)	CARCAÇA/ VALVULA	VÁLVULA/ ANEL BR
A	23.65	175.00		
B	60.35	140.42		
C	68.61	146.40	447.3	412.0

5.0. REFERÊNCIAS

- [1] - ANSYS - "User's Manual"; rev. 4.4A, Swanson Analysis System, Inc., 1989 edition
- [2] - ASME - Division 1, Section III, Subsection NB, 1989 edition
- [3] - Marcelino, Sérgio - Relatório Interno da Copesp; "Memorial de Cálculo da Estrutura e Sistema Ponte (MTC)"; 1989.