

ANÁLISE TÉRMICA DO TANQUE DE MISTURA DE SÓDIO E TUBULAÇÃO A SUA JUSANTE, DO CIRCUITO SS-050, DURANTE UM CHOQUE TÉRMICO



CARLOS ALEXANDRE DE J. MIRANDA
ANTIBAL N. GEBRIM

Departamento de Reatores - IEN/CNEN

RESUMO

Neste trabalho desenvolve-se um procedimento para a obtenção da evolução das temperaturas do sódio entre o tanque de mistura, com volume constante, e o tanque de drenagem do circuito de testes de sódio SS-050, para um choque térmico de -200°C/s . Este circuito a sódio será instalado em breve na área do IEN/RJ. A partir das curvas com a evolução das temperaturas do sódio durante o transiente, obtém-se a evolução/distribuição das temperaturas nas paredes da tubulação e bocais.

INTRODUÇÃO

Descrição do Circuito. O circuito a sódio SS-050 foi projetado para a realização de provas termomecânicas e de pequenos componentes em sódio e é um instrumento capaz de permitir o desenvolvimento de competência na área. Em particular são possíveis estudos de materiais e equipamentos projetados para funcionarem com sódio líquido a temperatura da ordem de 500°C e 600°C , como bombas eletromagnéticas e centrífugas, trocadores de calor sódio-sódio e sódio-ar, medidores de vazão e pressão, sondas de nível contínuas e descontínuas, detectores de sódio, etc. Também é possível estudar o comportamento dos materiais a estes níveis de temperatura sob o efeito de choques térmicos repetidos em presença de esforços mecânicos que podem ser aplicados durante longos períodos, dando origem a fenômenos de "ratchetting", "creep" e danos por fadiga oligocíclica, etc. [1].

A parte do circuito SS-050 que interessa ao presente trabalho está esquematizada na fig. 1, onde são indicados os principais componentes.

Imediatamente após a SdP encontra-se o tanque de mistura (TM), contendo uma certa quantidade de sódio, inicialmente a temperatura final do transiente, cuja finalidade é atenuar o choque térmico no restante do circuito a sua jusante, até o tanque de drenagem (TD).

O sódio penetra no TM por um tubo com furos laterais imerso no sódio do TM, criando um fluxo radial aproximadamente constante e forçando a mistura com o sódio que se encontra no TM, após o que o mesmo segue para o TD.

Objetivo do Trabalho. Neste trabalho apresenta-se uma formulação analítica para a obtenção das temperaturas em um fluido (sódio) que escoas através de um tanque de mistura (com volume constante), até um outro tanque (de drenagem).

São obtidas as curvas da variação da temperatura do sódio ao longo do tempo e da tubulação para dois casos. O primeiro caso é uma situação hipotética com temperatura de ingresso constante a 600°C e o segundo caso representa uma situação típica do circuito: choque térmico na SdP de -200°C/s . Para o segundo caso calcula-se o campo de temperatura na região do bocal de saída do TM através de um modelo de elementos finitos.

MODELO DE CÁLCULO ADOPTADO NA ANÁLISE TERMOHIDRÁULICA

A discretização espacial do TM e da tubulação a sua jusante, até o reservatório TD, em um determinado número de pontos N1 e N2 respectivamente, é mostrado na fig. 2.

A taxa líquida de energia que permanece no volume ΔV_i , $i=1, N1$, indicado esquematicamente na figura 3, é resultante do seguinte balanço energético:

• Taxa de calor que penetra pelo lado esquerdo, m^*CT^* , onde m^* é a vazão constante do trecho de tubo furado, C é o calor específico, e T^* é a temperatura imposta causadora do choque térmico.

• Taxa de calor que chega por cima, $m^{**}CT^{**}$, onde $m^{**} = (i-1)m^*$ e $T^{**} = T_{i-1}$ é a temperatura média do volume ΔV_{i-1} .

• Taxa de calor que sai por baixo, $m^{***}CT^{***}$, onde $m^{***} = im^*$ e $T^{***} = T_i$ é a temperatura média no volume ΔV_i que queremos determinar.

• Taxa de calor entre a parede metálica e o sódio, Qi .

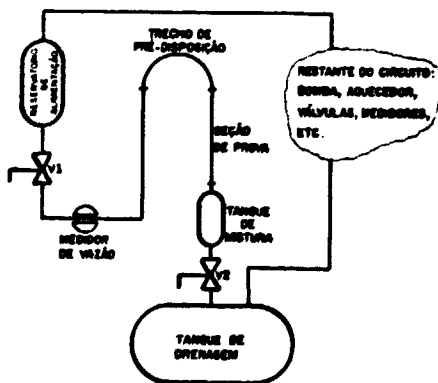


Figura 1 - Trecho do circuito SS-050

Mecânica dos Testes de Choque Térmico. Após a regulação da válvula V1 e com a válvula V2 fechada, cria-se o perfil de temperatura desejado do sódio, por exemplo, de 600°C a 400°C . A válvula V2 de acionamento rápido é aberta por cerca de 10 seg, dando início ao fluxo de sódio. O transiente de temperatura na seção de provas (SdP), dura 1 seg, portanto a mesma sofre um choque térmico de -200°C/s , para uma vazão máxima de $30 \text{ m}^3/\text{h}$.

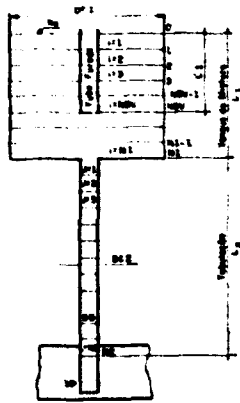


Figura 2 - Discretização do TM e da tubulação a sua jusante (L₁=72,3 cm, L₂=7,70 m)

A equação que descreve o balanço energético no volume ΔVi é expressa como:

$$\rho \cdot C \cdot \Delta V_i \cdot \frac{dT_i}{dt} = m^* C T_i^* + (i-1) m^* C T_{i-1} - m^* C T_i - \dot{Q}_i \quad (1)$$

onde ρ é a densidade do sódio.

A taxa de calor recebida ou perdida para a parede é avaliada da seguinte maneira:

$$\dot{Q}_i = h_{tot} (\pi \phi_i \Delta Z) (T_i - T_{wi}) \quad (2)$$

onde h_{tot} é o coeficiente global de transferência de calor entre o sódio no volume ΔVi e a parede. T_{wi} é a temperatura média no volume ΔVi da parede e φ_i é o diâmetro interno da parede (parte hachurada da fig. 3).

A temperatura média na parede é avaliada através da integração espacial da equação de conservação de energia aplicada na parede:

$$\rho_p C_w \Delta V_w \frac{dT_{wi}}{dt} = \dot{Q}_i \quad (3)$$

onde ρ_p C_w são respectivamente a densidade e o calor específico da parede.

As propriedades físicas do sódio e do metal (calor específico, densidade, etc) são considerados dependentes das temperaturas.

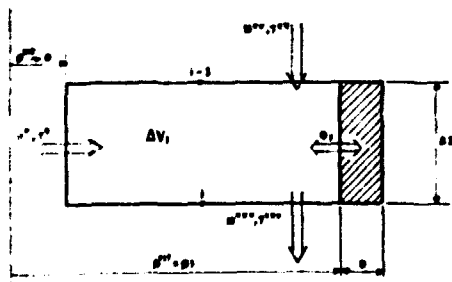


Figura 3 - Balanço energético no volume Vi

O esquema numérico de integração temporal de Euler é utilizado na avaliação do comportamento das temperaturas, T_i e T_{wi}, no tempo, cujas seguintes expressões finais são obtidas.

$$T_i^{n+1} = \frac{(1 - m^* \Delta t / \rho \Delta V_i) T_i^n + (i-1) m^* \Delta t / \rho \Delta V_i T_{i-1}^{n+1} + m^* T_i^* \Delta t / \rho \Delta V_i}{1 - m^* \Delta t / \rho \Delta V_i} - \frac{\dot{Q}_i \Delta t}{\rho \cdot C \cdot \Delta V_i} \quad (4)$$

$$T_{wi}^{n+1} = T_{wi}^n + \frac{\dot{Q}_i \Delta t}{\rho_p C_w \Delta V_w} \quad (5)$$

Assim, as expressões acima permitem o cálculo das temperaturas médias nos volumes ΔVi e ΔV_{wi} no instante tⁿ⁺¹, a partir dos valores já conhecidos no instante tⁿ.

O vazão m* existe apenas nos NSV pontos iniciais em que foi discretizado o componente TM.

O procedimento anterior aplica-se, também, nos volumes ΔV_j, j=1, N₂ da tubulação, onde não existe o fluxo lateral m*.

TESTE REALIZADO

O teste a ser descrito abaixo mostra uma situação hipotética e serve para verificar o procedimento e o programa computacional elaborado.

'Step' na Temperatura. Criou-se uma situação hipotética, na qual a temperatura de ingresso no tanque de mistura (TM), mantém-se constante a 600°C. Como o volume do sódio é constante e o mesmo é renovado a cada instante, a temperatura final no tanque de mistura tem que ser 600°C. Este valor é realmente obtido, como é apresentado na figura 4. Nesta figura vê-se a evolução das temperaturas do sódio nos pontos 34 (extremidade do tubo furado), 40 (bocal de saída) do TM e no ponto 30 da tubulação (bocal do TD).

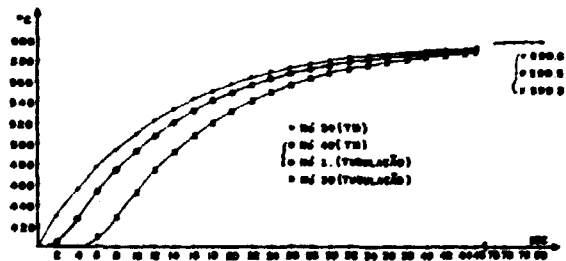


Figura 4 - Variação das Temperaturas em três pontos típicos durante um escoamento estacionário.

CHOQUE TÉRMICO FRIO

Análise Termohidráulica. Esta é a situação típica de funcionamento do circuito SS-050, durante uma campanha de provas onde se testa uma seção de provas a choques térmicos. Esta situação é a mais crítica para o circuito a jusante da seção de provas.

A evolução da temperatura do sódio de ingresso (T*), no tanque de mistura é apresentada na figura 5.

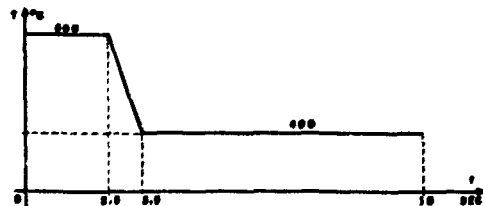


Figura 5 - Choque térmico frio de -200°C/s.

O resultado da análise termohidráulica, em termos da evolução das temperaturas do sódio em 3 pontos do modelo, é apresentado nas figuras 6.a e 6.b. Pela figura 6.b pode-se notar que, no nó 34 (extremidade do tubo furado), a temperatura aumenta a taxa de 15,5°C/s aproximadamente e no bocal de saída do tanque de mistura, nó 40, esta taxa cai para 12,5°C/s, enquanto que no nó 30 da tubulação (bocal do TD), cai para 10°C/s. Estes resultados mostram como a presença do tanque de mistura

reduz sensivelmente a gravidade do choque térmico no bocal de saída deste e na tubulação a jusante do mesmo.

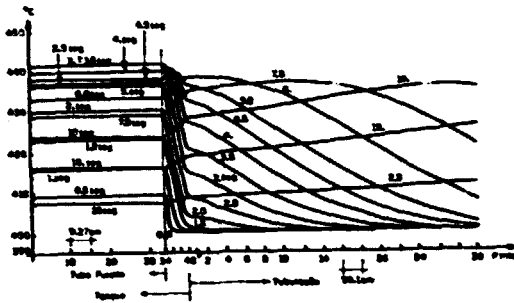


Figura 6.a - Variação das temperaturas, ao longo do trecho modelado, para alguns instantes de tempo.

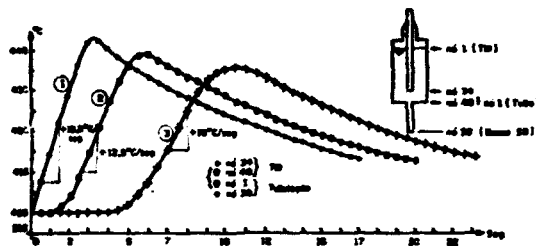


Figura 6.b - Variação das temperaturas, ao longo do tempo, em três pontos do modelo.

O intervalo de tempo usado nos dois transitórios mostrados acima, respeitou a seguinte expressão:

$$\text{Interv. de tempo} < \frac{L_i}{N_i \cdot V_{ELI}} \quad (6)$$

onde L_1, L_2, N_1, N_2 estão definidos na figura 2 e V_{ELI} é a velocidade do sódio no trecho L_i (para $i = 1, 2$).

ANÁLISE TÉRMICA NO FUNDO DO TM

A partir dos resultados obtidos com a análise termohidráulica, apresentada no item anterior, é possível efetuar análises térmicas nas paredes metálicas em qualquer ponto do circuito entre o TM e o TD, devido a variação de temperatura sofrida pelo sódio durante um choque térmico em uma campanha de provas.

Bocal do Fundo Torosférico do TM. A geometria do fundo do TM é apresentada na figura 7. A forte variação geométrica do fundo induz uma forte variação no coeficiente de troca de calor por convecção (h) de 21950 até 1500 $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

Assim, existem no fundo do TM e em seu bocal de saída em particular, dois efeitos que se somam:

Gradiente Térmico na Espessura - produzido pela variação da temperatura do sódio no tempo.

Gradiente Térmico ao Longo do Fundo - devido a variação de h ocorre a variação da temperatura média, em um mesmo instante de tempo, em pontos diferentes do fundo.

Análise Térmica. Para a obtenção do campo de temperaturas foi utilizado o modelo a elementos finitos apresentado na figura 7. O programa térmico utilizado é capaz de efetuar análises térmicas em regime estacionário ou transiente.

Devido ao isolamento térmico previsto e a curta duração do transiente, a superfície externa do fundo/modelo foi considerada adiabática. Na superfície interna foram definidos valores de h por zonas, como indicado

na figura 7. A temperatura do sódio imposta ao modelo é aquela apresentada na figura 6.b, curva 2.

A partir dos 12 s cessa o fluxo [1] portanto a temperatura do sódio permanece constante no valor alcançado neste instante.

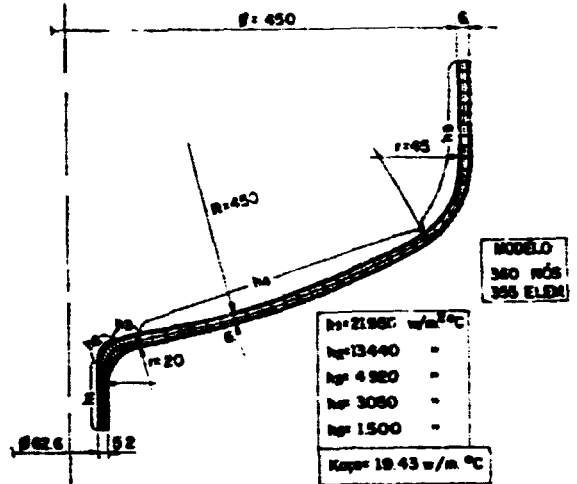


Figura 7 - Modelo de elementos finitos do fundo do TM utilizado na análise térmica.

As partes cilíndricas do modelo se estendem por um comprimento mínimo de $2 \cdot r$, onde r e t são, respectivamente, o raio e a espessura da parte interessada.

Resultados. Os resultados obtidos, em termos de temperaturas na seção onde ocorre o máximo ΔT na espessura (seção no meio do "joelho" do bocal), são apresentados na figura 8, para alguns instantes de tempo selecionados. Na mesma figura também são apresentadas as temperaturas médias na referida seção e na calota esférica que a circunda, T_f .

Na figura 8 se observa: a) o $\Delta T_{max}=16^\circ C$; b) o gradiente max. entre a calota esférica e o bocal é de $9^\circ C$; c) os valores máximos ocorrem praticamente no

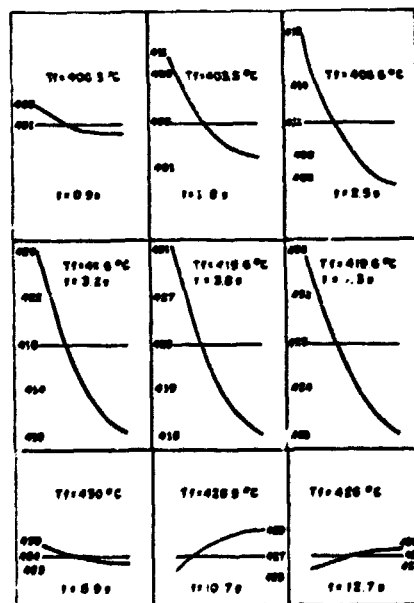


Figura 8 - Resultados da análise térmica

mesmo instante; d) verifica-se uma inversão no AT na espessura, o que provocará tensões térmicas de flexão alternadas; e) idem. no AT entre o bocal e a calota que o circunda, provocando tensões térmicas alteradas de membrana.

Tais resultados comportam-se dentro do previsto e permitirão o cálculo das tensões térmicas neste bocal oriundas do choque térmico produzido na seção de provas do circuito.

COMENTÁRIOS FINAIS/CONCLUSÕES

A formulação desenvolvida para a análise termohidráulica apresentou resultados satisfatórios e permitirá a obtenção das curvas de variação da temperatura nos pontos críticos da tubulação para diversas hipóteses de choque térmico.

A existência do tanque de mistura (TM) reduz sensivelmente o choque térmico nos componentes a jusante do mesmo (de -200°C/s na seção de provas para cerca de $.0$ ou 1°C/s) como evidenciado na análise termohidráulica.

A partir dos resultados desta última foi obtido o campo de temperaturas no bocal do fundo do TM para um choque térmico, na SaP, de -200°C/s . Os resultados mostram o caráter cíclico que terão as tensões térmicas oriundas de um choque térmico, cujo conhecimento preciso é necessário para a verificação a fadiga de um componente ou equipamento nuclear, principalmente se os mesmos são de uma central rápida refrigerada a sódio.

REFERÊNCIAS

[1] CBR 05.00.N0209/G - Nota Descrittiva e di Funzionamento.

ABSTRACT

In this work a thermo-hydraulic model was developed in order to obtain the sodium temperature time-history between the mixing tank (TM) and the drain tank of the SS-030 sodium test loop.

Results are presented relative to a thermal shock with initial and final sodium inlet temperatures of 600°C and 400°C respectively, with a thermal gradient of -200°C/s .

This sodium loop will be briefly installed in the IEN/RJ area.

From the sodium temperature time-history during the thermal shock transient the temperature field for the walls of the TM bottom and outlet nozzle is obtained.