



DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE DINÂMICA E FLUIDOS COMPUTACIONAL PARA A MODELAGEM DO CROSS-VESSEL DE UM REATOR NUCLEAR DE GERAÇÃO IV.

Daniel González Rodríguez

Endrew Ferreira Ribeiro

Fernando Roberto de Andrade Lima

¹danielgonro@gmail.com, Recife-PE

²endrew.ferreiraribeiro@ufpe.br, Igarassu-PE

³falima@cnen.gov.br, Recife-PE

1. Introdução

O uso mais importante dos reatores nucleares consiste, sem dúvidas, na geração de energia elétrica. O emprego de reatores nucleares de potência com esta finalidade específica há muito deixou de ser algo singular e exótico para se tornar fato corriqueiro, notadamente nos países mais desenvolvidos [1]. Uma das usinas nucleares de nova geração que atendem aos requisitos de desenvolvimento de energia atômica em larga escala e o reator a hélio com uma turbina a gás o GT – MHR. Em 1997, o projeto conceitual GT – MHR, revisado várias vezes, foi desenvolvido no âmbito do acordo entre o Minatom da Rússia, General Atomics, Framatome, Fuji Electric [2]. A usina, núcleo elétrico compõe-se basicamente de duas partes distintas o sistema de geração do vapor e o sistema de geração de energia elétrica, para o GT – MHR é aplicado um sistema de vasos (Vessel Systems) que possui como função principal conter o fluido refrigerante no sistema, e manter a integridade e o limite de resfriamento do reator, além disso, o sistema de vasos (Vessel Systems) fornece suporte estrutural e alinhamento para os componentes do sistema do reator.

O sistema de vasos (Vessel Systems) consiste em um vaso de pressão do reator (Reactor Pressure Vessel, RPV), um vaso de conversão de potência (Power Conversion System Vessel, PCSV) e um vaso horizontal (Cross Vessel, CV) ligando o RPV ao PCSV, também constituído de componentes de alívio de pressão, suporte ao vaso, componentes de contenção lateral, penetrações e fechamentos associados, formam esse sistema. O Cross Vessel consiste em uma única peça cilíndrica forjada, projetada e fabricada de acordo com as especificações da ASME (American Society of Mechanical Engineers) seção 3 do código [3]. Sendo o CV (Cross Vessel) um vaso que interliga o sistema de potência ao seu trocador de calor, o hélio quente sai do reator onde é transportado pelo duto quente (Hot Duct), forçado a passar por um condensador aonde irá ocorrer uma troca de calor do hélio para o fluido de refrigeração. Ao final dessa etapa o hélio retorna pelo duto frio (Cold Duct), fechando assim o ciclo de produção de energia. Resultados de análises indicam que o CV é um componente fraco no sistema devido suas cargas complexas, as poucas literaturas que abordam o estudo do CV se limitam a cálculos semi-empíricos sem a possibilidade de realizar estudos paramétricos e variações nas condições de operação. As ferramentas de modelagem de dinâmica de fluidos computacionais, CFD, por suas siglas em inglês, oferecem vantagens importantes no desenvolvimento de modelos que permitam descrever a termo hidráulica do *cross-vessel*. Estes códigos permitem obter uma descrição termomecânica do *cross-vessel* que possibilita realizar estudos integrados fluido-estruturais para avaliar a segurança do componente [5].

2. Metodologia

O *Ansys* é um software de elementos finitos que pode ser utilizado nas mais diversas classes de problemas de engenharia, consiste em utilizar como parâmetros as variáveis modais de um número finito de pontos previamente escolhidos, denominados no *Ansys* de nós. A discretização é dividida na criação de um modelo tridimensional, aplicação de uma malha de elementos finitos, executar os cálculos físicos ao modelo e obter grandezas físicas associadas a estes cálculos. Para o início de qualquer simulação é necessário alguns parâmetros, que serão aplicados como condições de contorno para a simulação neste projeto. Foram implementados três parâmetros, bases: pressão, temperatura e velocidade. A fidelidade das interações pode ser garantida apenas se os valores das condições de contorno forem fidedignos com os valores estabelecidos em literaturas pesquisadas. O reator GT-MHR é um dos principais projetos de reatores de temperatura muito

alta, refrigerado a gás e o seu refrigerante é Hélio. Na Tabela I estão resumidas as condições de operação nominais do GT-MHR que serão usadas como condições de contorno no modelo em CFD.

Tabela I: Condições de Contorno Empregada no Modelo de CFD do CV.

Parâmetro	Valor
Temperatura do Hélio na saída do núcleo do GT-MHR	850 °C
Temperatura do Hélio na entrada do núcleo do GT-MHR	490 °C
Potência térmica do GT-MHR	600 MWth
Pressão do refrigerante na saída do núcleo	7.1 MPa
Velocidade do Hélio na saída do núcleo	5,286 m/s
Escoamento de Hélio no CV	318,1 kg/s

Foi proposto para este projeto a utilização de seis materiais bases e suas variantes, os mesmos seis materiais bases foram combinados em pares e aplicados a estrutura do *cross-vessel*, todas as simulações com nove combinações possíveis feitas com o embasamento de dados predefinidos das propriedades mecânicas dos materiais se mostraram análogas em tempo de simulação computacional. Na tabela II estão os materiais usados no componente do CV.

Tabela II: Materiais Escolhidos Para o Modelo Estrutural do CV.

<i>Cold Duct</i>	<i>Hot Duct</i>
9Cr-1Mo-V Steel.	Incoloy 800H Steel.
2 ¼ Cr-1Mo Steel.	Inconel 617 Steel.
15Cr-2Mo-V Steel.	Hastelloy Steel.

Assim com as propriedades mecânicas dos materiais aplicadas ao CV poderemos ter uma descrição de como o regime de pressão e temperatura do CV afeta a confiabilidade mecânica do mesmo.

3. Resultados e Discussões

Discussões que podem ser abordadas nessa fase do projeto seria a conservação dos valores impostos nas condições de contorno, e a obtenção de dados sucintos de deformações e tensões na análise do CV, a análise termo hidráulica do CV é feita inicialmente para determinar as condições de trabalho da estrutura devido às cargas térmicas e estruturais devidas ao escoamento do Hélio nos dois canais (“*cold duct*” e “*hot duct*”). Este problema poderia ser resolvido utilizando a 1ª lei da termodinâmica para sistemas fechados, considerando o CV como dois dutos concêntricos onde a entrada e saída de hélio, algumas hipóteses tornam se necessárias para a simplificação do cálculo, estas hipóteses seriam.

- Considerar um regime permanente.
- O hélio como gás incompressível.
- Não a variação de trabalho no sistema fechado.
- Não a variação de volume no sistema.

Podemos agora aplicar duas equações para a resolução, a primeira e a da continuidade, que garanti que não existem perdas no sistema.

$$\sum_e^n (\rho \cdot v \cdot A) = \sum_s^n (\rho \cdot v \cdot A)$$

Equação I: Conservação da massa.

Essa equação garante que a vazão mássica do fluido hélio é constante em todo CV, temos que “P” é a massa específica do hélio, “V” velocidade do hélio na saída do núcleo e “A” é a área do *hot duct*. Por fim aplicamos a 1ª lei da termodinâmica para sistemas fechados, para obtermos a transferência de calor no sistema.

$$\frac{dE_{vc}}{dt} : \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum_{i=1}^n \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i \right) - \sum_{e=1}^n \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gZ_e \right)$$

Equação II: 1ª lei da termodinâmica para sistemas fechados.

Uma vez obtidas as condições de operação do CV do ponto de vista termo hidráulico estas serão as condições de entrada do modelo estrutural. Mediante as interações com diversas categorias de materiais foi obtido a tabela II para a análise das deformações conforme as combinações dos materiais. Essas deformações são causadas pela alta pressão interna e pelo comportamento térmico do hélio em contato com as paredes internas do CV. Com a aplicação das combinações dos materiais foi possível obter as tensões máximas de cada combinação a partir desta análise é possível escolher a melhor combinação de materiais para o CV, os resultados mais importantes são os valores máximos destas tensões (5344 MPa) assim como sua localização como é mostrado na Figura I.

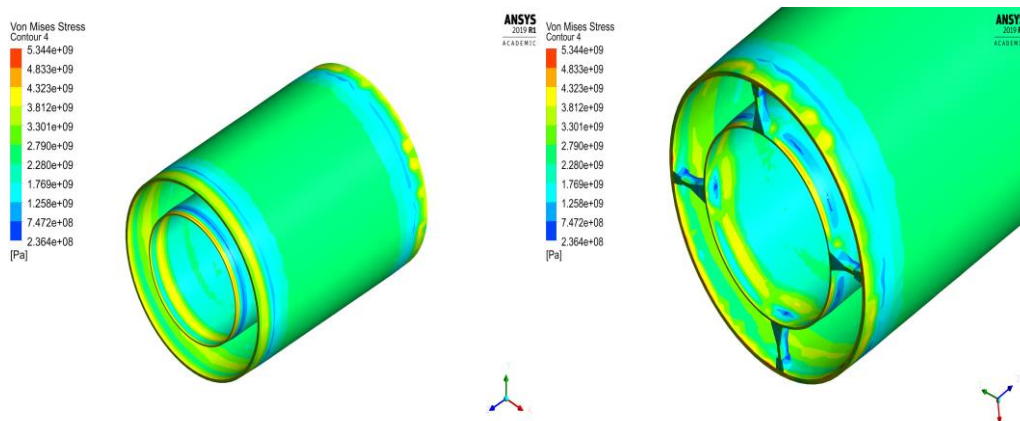


Figura I: Distribuição de Tensões na Estrutura do CV Determinadas Pelo Critério de *Von-Mises*.

Como a teoria prevê em problemas de cilindros concêntricos submetidos a pressão interna, as tensões máximas estão localizados perto dos extremos do CV.

4. Conclusões

Foi implementada uma metodologia de modelagem de interação fluido-estrutural para a determinação das tensões e deformações máximas do CV. As deformações máximas atingidas no “*hot duct*” estão na ordem dos 1,6758 cm e as tensões máximas nas combinações e os 7500 Mpa. O CV sofre deformações e deslocamentos muito consideráveis em sua estrutura, especialmente no *hot duct*, que abriga o fluido a altíssimas temperaturas. Por meio da comparação do valor máximo de tensão encontrado e o valor máximo de tensões admissíveis no *hot duct* que é de 141 GPa, constatamos que os materiais escolhidos apresentam resistência e estabilidade satisfatória.

Agradecimentos

Agradecimentos ao orientador Dr^a Fernando Roberto de Andrade Lima, e ao Coorientador Dr^a Daniel González Rodríguez, por contribuírem com o desenvolvimento deste projeto, agradecemos o apoio financeiro do CNPQ/CNEN e o apoio técnico do CRCN/NE que foram essenciais para a realização deste trabalho.

Referencias

- [1] Dr. Luís Antônio Albiac Terremoto, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP), “Fundamentos de Tecnologia Nuclear Reatores”, (2004).
- [2] R. C. Potter and A. Shenoy, “GT-MHR Conceptual Design Description Report,” no. August, (1996).
- [3] Kenneth D. Kok, “Nuclear Engineering Handbook”, pp. 143-179, (2017).
- [4] Z. Z. M. T. C. Y, “LBB Analysis of Cross Vessel of GT-MHR,” pp. 1–13, (2003).
- [5] D. J. Arcilesi Jr., T. K. Ham, I H Kim, X. S., R. N. Christensen, Chang H. Oh: “Scaling and design analyses of a scaled-down, high-temperature test facility for experimental investigation of the initial stages of a VHTR air-ingress accident” Nuclear Engineering and Design (2015).