

2 Simulación termo-mecánica de la vasija principal de 3 un reactor nuclear de IV generación a través de FEM

4 Thermo-Mechanical Simulation of the Main Vessel of a Gen IV
5 Nuclear Reactor with FEM

6 Resumen

7 En este estudio se programan las ecuaciones diferenciales que modelan el comportamiento
8 termo-mecánico de estructuras y se resuelven con el método de elementos finitos (FEM) usando el
9 programa COMSOL Multiphysics. La resolución de las ecuaciones se aplica al estudio de la vasija
10 de reactor del *China Initiative Accelerator Driven System* (CiADS) de acero inoxidable 316L, para
11 evaluar los esfuerzos mecánicos y la distribución de temperatura en condiciones normales y
12 estacionarias. El proceso incluye la programación del modelo matemático, creación de la
13 geometría, asignación de valores del material, aplicación de condiciones de frontera y de carga,
14 generación de la malla, ejecución de la simulación y análisis de resultados.

15 **Palabras clave:** termo-mecánica, MEF, modelo, programación, estructuras.

16 Abstract

17 In this study, the differential equations modeling the thermo-mechanical behavior of structures are
18 programmed and solved using the finite element method (FEM) with the COMSOL Multiphysics
19 software. The solution is applied to the thermo-mechanical analysis of the *China Initiative*
20 *Accelerator Driven System* (CiADS) reactor vessel made of 316L stainless steel, to evaluate
21 mechanical stresses and temperature distribution under normal and steady-state conditions. The
22 process includes programming the mathematical model, creating the geometry, assigning material
23 properties, applying boundary and load conditions, generating the mesh, running the simulation,
24 and analyzing the results.

25 **Keywords:** thermo-mechanical, FEM, model, programming, structures.

26 1. Introducción

27 La simulación de estructuras utilizando herramientas de elementos finitos como COMSOL
28 Multiphysics permite analizar y predecir el comportamiento termomecánico. Esto es
29 particularmente útil para estudiar el comportamiento de la vasija principal de un reactor nuclear
30 bajo diferentes condiciones operativas y accidentes potenciales.

31 Construir un modelo matemático que integre la Mecánica de Sólidos y la Transferencia de Calor
32 implica desarrollar una representación matemática que describa tanto los esfuerzos mecánicos que
33 afectan a los materiales como la expansión térmica a la que se ven sometidos.

34 2. Antecedentes

35 El uso del método de elementos finitos para analizar estructuras ha cobrado importancia luego del
36 aumento en la capacidad de las herramientas tecnológicas. Numerosas investigaciones han optado
37 por la simulación como complemento para el diseño óptimo de estructuras (Huang, 2023).

38 Hoy en día, el uso de energías limpias se ha vuelto tema de interés global, uno de los proyectos
39 más importantes en el ámbito es el CiADS, que tiene como objetivo desarrollar un reactor
40 subcrítico enfriado por eutéctico plomo-bismuto (LBE), con el fin de demostrar la viabilidad de la
41 transmutación de actínidos menores y otros desechos nucleares.

42 El diseño inicial del reactor incluye un núcleo subcrítico que utiliza combustible de dióxido de
43 uranio (UO₂) (Wang, 2021). Dicho proyecto es parte de un plan a largo plazo en China para
44 desarrollar infraestructura tecnológica y científica avanzada en el campo de la energía nuclear
45 (Wang, 2021).

46 3. Metodología

47 Se implementaron las ecuaciones en el módulo de 'Matemáticas' de COMSOL Multiphysics, las
48 ecuaciones que gobiernan la mecánica de sólidos, específicamente empleando el tensor de
49 deformación infinitesimal (ϵ) definido como

50

$$\epsilon = \frac{1}{2}(\nabla u + (\nabla u)^T), \quad \text{Ec. (1)}$$

51 donde: u es el campo de desplazamientos, ∇u es el vector gradiente del campo de desplazamientos, y el
52 superíndice T representa la transposición del vector.

53 4. Resultados y discusión

54 El material propuesto en (Wang, 2023) para la construcción de la vasija principal del reactor es el
55 Acero Inoxidable 316L, conocido por su alta resistencia a la corrosión y excelente desempeño en
56 ambientes agresivos. A continuación, se detallan sus propiedades fundamentales utilizadas en el
57 modelado:

58 • Densidad: 7930 kg/m³

59 • Módulo de Young: 200 GPa

60 • Coeficiente de Poisson: 0.3

61 • Límite Elástico: ≥ 177 MPa

62 • Conductividad Térmica: 18.4
63 W/(m·K)

64 • Expansión Térmica: 17.5×10^{-6} /K

65 • Calor Específico: 500 J/(kg·K)

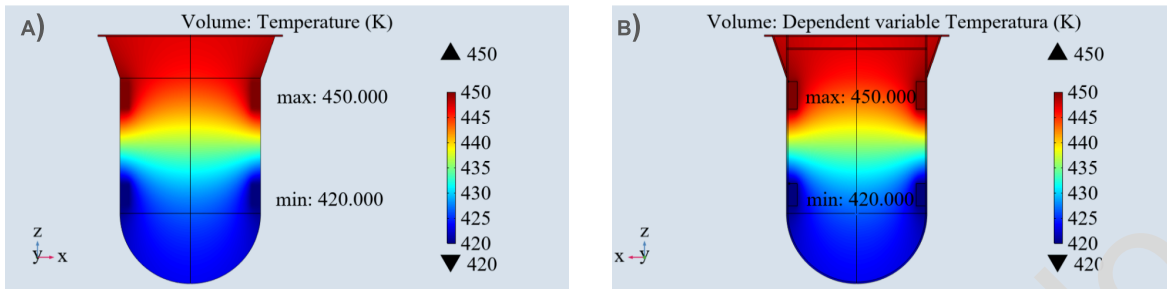


FIGURA SEQ FIGURA * ARABIC 3. TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN LA VASIJA DEL REACTOR. A) MÓDULOS COMERCIALES DE COMSOL, B) MODELO MATEMÁTICO PROGRAMADO EN COMSOL.

66

67 5. Conclusiones

68 El análisis realizado en la vasija principal del reactor nuclear CiAF 5, fabricado en acero inoxidable
 69 316L, ha permitido evaluar de manera exhaustiva los esfuerzos de von Mises y la distribución
 70 térmica en condiciones de operación crítica. A través de la programación de un modelo matemático
 71 validado con datos obtenidos en COMSOL, se han obtenido resultados precisos que demuestran su
 72 confiabilidad.

73 Contribuciones de los autores

74 Investigación, análisis formal, validación, redacción- redacción del borrador original, CEGADO;
 75 Conceptualización, metodología, redacción – revisión y edición, CEGADO y CEGADO

76

77 Agradecimientos

78 Se extiende un agradecimiento a CEGADO por su mentoría en el desarrollo de este proyecto, así
 79 como su apoyo con el software COMSOL Multiphysics (Versión 6.2 No. de licencia: 2100084) a
 80 través de CEGADO.

81 Conflicto de interés

82 Los autores señalan que no existe conflicto de interés.

83 5. Referencias

84 Wang, D.-S., Li, S., Zhang, Y.-P., Liu, B., Gu, L., Zhang, L., Jiang, W., & Wallenius, J. (2023). Finite
85 element analysis of the main reactor vessel in the China Initiative Accelerator Driven System.
86 Engineering Failure Analysis, 146, 107121. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107121>

87

88 2025 FINGUACH Ingeniería y Ciencia.

89 Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.

90



91

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Cegado y Numerado