

Análisis de tensiones sobre una presa trapezoidal sometida al empuje de un fluido

Nombre del tema o unidad

Aplicaciones de Teoría de la Elasticidad.

Objetivos de Aprendizaje

Aplicar los conceptos fundamentales del modelo de la Mecánica de los Medios Continuos en la solución de un problema típico de Ingeniería Civil.

Objetivos de aprendizaje específicos de la actividad en la disciplina particular

Al terminar esta actividad el estudiante debería estar en capacidad de:

1. Identificar las variables fundamentales del modelo de la mecánica de los medios continuos (desplazamientos, tensiones y deformaciones unitarias) en representaciones visuales de la solución resultantes de una simulación numérica.
2. Emplear la representación correcta de las condiciones de frontera en términos de vectores de tracciones y restricciones de desplazamientos para diferentes condiciones de carga sobre un modelo numérico de un sólido elástico.
3. Describir las variaciones en los campos de desplazamientos, tensiones y deformaciones en un sólido elástico de acuerdo con las diferentes condiciones de frontera del problema.
4. Emplear la idealización bi-dimensional apropiada (tensión plana, deformación plana) para representar de manera aproximada un problema tri-dimensional de la mecánica de los medios continuos.
5. Interpretar representaciones visuales de la solución de tensiones en un medio elástico para verificar satisfacción de estados de equilibrio.
6. Proponer mecanismos de falla mediante comparaciones entre el campo de tensiones principales y resistencias de los materiales.
7. Proponer soluciones intermedias e idealizaciones a un problema complejo y que sean contrastables contra soluciones analíticas conocidas.
8. Interpretar correctamente una solución por elementos finitos de un problema de teoría de la elasticidad reconociendo sus alcances y limitaciones.
9. Proponer variaciones de parámetros (geométricos o del material) que permitan obtener soluciones óptimas de sólidos elásticos.

Prácticas específicas (de modelado y simulación)

Los estudiantes agrupados en equipos de trabajo:

1. Identifican las condiciones de frontera de tracciones y desplazamientos para el dominio conformado por la presa trapezoidal y el suelo y utilizan su representación en el programa por elementos finitos **SolidsPy** para determinar la solución en términos de la variación de los campos de tensiones, deformaciones y desplazamientos.
2. Usan la representación visual de la solución para explicar las variaciones en los campos de tensiones, deformaciones y desplazamientos e identificar relaciones entre parámetros del sólido y las soluciones y proponer posibles mecanismos de falla.
3. Alteran las condiciones de frontera y/o parámetros del problema y proponen medidas de mejoramiento de la respuesta.

Estrategias de evaluación y sistema de calificación

Cada equipo de trabajo debe someter la solución de la actividad en el Notebook (plantilla) suministrado por el instructor y en el cual, además de las imágenes correspondientes a la solución de cada condición de carga debe agregar los correspondientes texto comparando cualitativamente los resultados de los diferentes modelos y de acuerdo a lo solicitado en cada numeral. La entrega también debe incluir un vídeo de una duración máxima de 5 minutos en el que uno de los integrantes del equipo de trabajo explique sus resultados.

Los aspectos particulares a ser evaluados son los siguientes:

1. Cálculo de la solución, visualización e interpretación de los estados de tensiones (20%).
2. Discusión relativa a la verificación del modelo numérico mediante las comparaciones contra resultados de resistencia de materiales (30%).
3. Explicación de la incidencia del ancho de la pata de la presa en la solución. (20%).
4. Propuesta de posibles modos de falla (30%).

Materiales guía y otros recursos

- Grupo de Investigación en Mecánica Aplicada (2020). Notas de Clase: Mecánica del Medio Continuo. Universidad EAFIT.
<<https://github.com/AppliedMechanics-EAFIT/Notas-MMC>>
- Juan Gómez, Nicolás Guarín-Zapata (2020). Documentación de SolidsPy
<<https://solidspy.readthedocs.io/en/latest/>>

Herramientas computacionales

- Juan Gómez, Nicolás Guarín-Zapata (2020). SolidsPy: 2D Finite Element Analysis with Python, <<https://github.com/AppliedMechanics-EAFIT/SolidsPy>>
- Anaconda Navigator.

- Nico Schlömer, Geordie McBain, Tianyi Li, Vicente Mataix Ferrándiz, eolianoe, Lisandro Dalcin, ... Abhinav Gupta. (2019, May 10). nschloe/meshio: 2.3.7 (Version v2.3.7). Zenodo <<https://github.com/nschloe/meshio> >
- C. Geuzaine, J.-F. Remacle. Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities. International Journal for Numerical Methods in Engineering 79(11), pp. 1309-1331, 2009.
- Jupyter Notebooks creables desde Anaconda.

Eventos de docencia específicos

1. **Modelado.** Para esta actividad se asume que los estudiantes no tienen, ni requieren conocimiento previo del método de los elementos finitos, sin embargo, con fines informativos el instructor explica de manera breve las hipótesis fundamentales del método y las partes de un modelo en **SolidsPy**. Posteriormente realiza un análisis de ejemplo explicando como cambiar parámetros de la presa y/o cargas en el Notebook. Como parte fundamental de este análisis el profesor debe hacer una discusión, usando argumentos de tipo mecánico, sobre la validez de los resultados. Al final de este espacio el instructor formula preguntas que orienten a los estudiantes la indagación a través del modelo.
2. **Coaching.** El instructor estará disponible durante las sesiones de clase para acompañar a los equipos de trabajo en las etapas iniciales del desarrollo de la actividad y dar orientación a través de preguntas sugestivas. El instructor ayudará a los equipos de trabajo a materializar las ideas que propongan para abordar el problema.
3. **Andamiaje.** Se encuentra presente en la actividad a través de las preguntas y sugerencias.
4. **Reflexiones.** Los estudiantes deben discutir, argumentar y explicar las diferentes respuesta de la presa, así como las comparaciones con modelos de resistencia de materiales y los posibles modos de falla.

Secuencia de actividades

1. En preparación para la actividad los estudiantes habrán instalado y probado en sus computadores la funcionalidad de los programas necesarios (Anaconda, SolidsPy, Meshio, Gmsh).
2. El profesor dedicará a lo sumo media sesión de clase a explicar como operar el Notebook y a resolver el problema ejemplo.
3. Los estudiantes desarrollan la actividad la cual se podrá extender por un espacio de 2 sesiones (6 horas) al cabo de las cuales tendrán que someter la solución.

Socialización

Se permite a los diferentes equipos de trabajo discutir acerca de la actividad.

Rúbricas de evaluación para la actividad

1. Calculo de la solución, visualización e interpretación de los estados de tensiones (20%)

En la solución de problemas de elasticidad mediante métodos numéricos es fundamental la correcta interpretación de resultados en términos de visualizaciones de campos tensoriales. Estas generalmente muestran de manera independiente cada una de las componentes escalares del tensor asociadas con un sistema de referencia.

- **Insatisfactorio (0-3):** Condiciones de carga mal aplicadas resultantes en una solución no razonable.
- **Necesita mejorarse (3-5):** Los contornos son razonables en cuanto a su distribución y consistencia con las condiciones de frontera del problema pero son inconsistentes en cuanto a sus valores.
- **Cumple con las expectativas (5-7):** Los contornos describen correctamente la distribución de tensiones en la presa, son consistentes con las cargas impuestas en la frontera y el equipo de trabajo hace una interpretación correcta de la misma.
- **Supera las expectativas (8-10):** Para la interpretación el equipo de trabajo se vale de las tensiones principales para interpretar su solución de manera independiente del sistema de referencia.

2. Discusión relativa a la verificación del modelo numérico mediante las comparaciones contra resultados de resistencia de materiales (30%)

- **Insatisfactorio (0-4):** El equipo de trabajo como parte de su ejercicio de verificación de la solución no logra establecer ninguna conexión con soluciones a modelos idealizados estudiados en el contexto de la Mecánica de Sólidos.
- **Necesita mejorarse (5-6):** El equipo de trabajo logra identificar soluciones estudiadas en el contexto de la Mecánica de Sólidos como casos extremos del modelo por elementos finitos pero no logra establecer las conexiones entre ambas soluciones desde el punto de vista conceptual.
- **Cumple con las expectativas (7-8):** El equipo de trabajo logra identificar soluciones estudiadas en el contexto de la Mecánica de Sólidos como casos extremos del modelo por elementos finitos y logra establecer conexiones conceptuales como separación de zonas de tracción y compresión en términos del eje neutro y variación de las tensiones a corte, concentraciones de tensiones, etc.
- **Supera las expectativas (9-10):** El equipo de trabajo logra identificar soluciones estudiadas en el contexto de la Mecánica de Sólidos como casos extremos del modelo por elementos finitos y logra establecer conexiones conceptuales entre ambos modelos inclu-

yendo además comparaciones a nivel numérico entre ambas soluciones las cuales son complementadas con explicaciones relativas al alcance y limitaciones de cada modelo.

3. Explicación de la incidencia del ancho de la pata de la presa en la solución (20%)

- **Insatisfactorio (0-2):** No realiza los análisis correspondientes a 3 valores diferentes del ancho de la pata de la presa y cuando los hace no los acompaña de variaciones consistentes en el dominio del suelo dando como resultado soluciones con ruido numérico dificultando la interpretación de resultados.
- **Necesita mejorarse (3-6):** Realiza los análisis correspondientes a 3 valores diferentes del ancho de la pata y hace variaciones consistentes en el dominio del suelo pero no logra hacer una identificación correcta de la incidencia de este parámetro en la distribución de tensiones.
- **Cumple con las expectativas (7-8):** Realiza los análisis correspondientes a 3 valores diferentes del ancho de la pata y hace variaciones consistentes en el dominio del suelo. El equipo de trabajo logra además identificar y verbalizar la incidencia de este parámetro en la distribución de las tensiones.
- **Supera las expectativas (9-10):** Realiza los análisis correspondientes a 3 valores diferentes del ancho de la pata y hace variaciones consistentes en el dominio del suelo. El equipo de trabajo logra además identificar y verbalizar la incidencia de este parámetro en la distribución de las tensiones pero además logra identificar relaciones de aspecto altura/ancho de pata óptimas.

4. Propuesta de posible modos de falla (30%)

- **Insatisfactorio (0-3):** No responde si la presa falla o no, o su respuesta no va acompañada de posibles modos de falla.
- **Necesita mejorarse (4-6):** Identifica si la presa falla y propone modos de falla pero para la propuesta utiliza distribuciones incorrectas de tensiones, en caso de no encontrar estados de falla no determina factores de seguridad.
- **Cumple con las expectativas (7-8):** Identifica la falla o no-falla de la presa. En caso de no-falla determina factores de seguridad y en caso de falla propone modos físicamente consistentes y basados en las métricas correctas de tensiones (como tensiones principales).
- **Supera las expectativas (9-10):** Identifica la falla o no-falla de la presa. En caso de no-falla determina factores de seguridad y en caso de falla propone modos físicamente consistentes y basados en las métricas correctas de tensiones (como tensiones principales). Además considera en sus análisis varios escenarios probables y además propone medidas de mejoramiento.