

Asignatura: **Elasticidad y Estructuras Laminares**

Código: 10-09016

RTF

6

Semestre: Séptimo

Carga Horaria

72

Bloque: Tecnologías Básicas

Horas de Práctica

24

Departamento: Estructuras

Correlativas:

- Análisis Estructural

Contenido Sintético:

- Análisis general de tensiones y deformaciones
- Relaciones constitutivas y criterios de fluencia
- Ecuaciones generales de la elasticidad lineal
- Métodos aproximados para la solución de las ecuaciones
- Análisis estructural de estructuras laminares, planas y de revolución

Competencias Genéricas:

- CG1: Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería
- CG4: Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en ingeniería
- CG7: Comunicarse con efectividad

Aprobado por HCD: 951-HCD-2023

RES: Fecha: 10/11/2023

Competencias Específicas:

CE1.4: Aplicar los métodos aproximados para solución de las ecuaciones diferenciales de sólidos elásticos, como los métodos de Ritz y de Elementos Finitos (Alta).

CE1.5: Comprender y aplicar las herramientas para analizar y resolver estructuras laminares (Alta).

CE1.10: Planificar, diseñar, calcular, proyectar y construir obras e instalaciones para la captación, tratamiento, conducción y distribución de agua potable, líquidos cloacales y pluviales urbanos y rurales (Baja).

CE1.12: Proyectar, calcular, dirigir, construir y mantener estructuras metálicas, de madera y de hormigón armado, según la normativa vigente (Media).

CE1.14: Proyectar, diseñar, calcular, dirigir, construir y mantener estructuras de contención, túneles, empleando técnicas de mejoramiento de suelos (Media).

CE1.18. Planificar, diseñar, calcular, proyectar y construir obras e instalaciones para el almacenamiento, captación, tratamiento, conducción y distribución de sólidos, líquidos y gases, incluidos sus residuos (Baja).

Presentación

La asignatura Elasticidad y Estructuras Laminadas corresponde al área de las Tecnologías Básicas y representa el último curso de estas características en el área de ingeniería estructural de la carrera de Ingeniería Civil de la FCEFyN. El trayecto en el área de estructuras comienza con el curso de Estática, en el cual se estudian los esfuerzos en sistemas estructurales unidimensionales isostáticos, continúa con el curso de Mecánica de las Estructuras, centrado en el análisis tensional seccional y de deformaciones, luego con el curso de Análisis Estructural, en el cual se estudian sistemas estructurales unidimensionales hiperestáticos, y se realiza una introducción al análisis matricial de estructuras.

En la primera parte del presente curso, se generalizan los conceptos vistos en los cursos anteriores, desarrollando las ecuaciones generales de la elasticidad lineal para sólidos tridimensionales. Se estudia asimismo el límite de aplicabilidad de estas ecuaciones, introduciendo conceptos de fluencia para estados complejos de tensiones. En la segunda etapa, se introducen las hipótesis para el análisis de láminas planas y de revolución, con énfasis en la evaluación de estados tensionales en losas y estructuras de almacenamiento o contención. En la tercera parte, se desarrollan métodos numéricos para la solución de las ecuaciones generales de la teoría de elasticidad, con un fuerte énfasis en la realización de trabajos prácticos mediante herramientas computacionales para problemas típicos de la Ingeniería Civil.

La presente asignatura aporta centralmente al desarrollo de competencias en relación al análisis tensional de estructuras complejas, bi o tridimensionales, típicas de la Ingeniería civil, tales como presas masivas de hormigón, losas, túneles, tanques, silos, vigas de gran altura, etc. Por otra parte, en esta asignatura se desarrollan metodologías de análisis computacional de diversos problemas ingenieriles, recurso casi indispensable para la actividad profesional actual.

Contenidos

PARTE I: Teoría de elasticidad

UNIDAD 1: Análisis general de tensiones y deformaciones

Variables fundamentales de la mecánica de sólidos. Concepto de vector tensión y tensor de tensiones de Cauchy. Valores y vectores propios del tensor de tensión. Invariantes del tensor de tensiones. Tensor esférico y desviador. Espacio de tensiones principales. Deformación en el entorno de un punto y definición del tensor de deformaciones de Green-Cauchy. Círculo de Mohr de tensiones y deformaciones.

UNIDAD 2: Relaciones constitutivas y criterios de fluencia

Conceptos generales de elasticidad lineal. Ley de Hooke generalizada para estados tridimensionales de tensión y deformación. Deformaciones térmicas. Densidad de energía de deformación. Criterios de fluencia para metales dúctiles. Criterios de fluencia para materiales friccionales. Criterios de fluencia para hormigón.

UNIDAD 3: Ecuaciones generales de la elasticidad lineal

Ecuaciones de Navier. Condiciones de borde. Estados planos de tensión, deformación y axisimétrico. Formulación integral de las ecuaciones de equilibrio.

PARTE II: Estructuras laminares

UNIDAD 4: Análisis estructural de estructuras laminares, planas y de revolución

Definición de estructuras laminares y ejemplos. Teoría de Kirchhoff-Love. Condiciones de contorno. Corte efectivo y fuerzas en esquina. Esfuerzos en una placa rectangular sometida a distintos tipos de carga. Teoría de Euler-Bernoulli. Láminas de revolución. Condiciones de axisimetría. Ecuaciones de equilibrio membranar. Ejemplos para cilindros, casquetes esféricos y conos. Flexión en cilindros largos. Aproximación de Geckeler. Influencia de las condiciones de vínculos en los esfuerzos debido a cargas y a efectos térmicos.

PARTE III: Métodos computacionales de solución

UNIDAD 5: Métodos aproximados para la solución de las ecuaciones

Formulación integral mediante residuos ponderados. Formulación integral mediante variación de energía potencial total. Discretización del dominio e interpolación. Planteo del sistema de ecuaciones. Evaluación de tensiones y deformaciones. Elemento triangular de tres nudos para elasticidad plana. Matriz de rigidez y vector de cargas. Utilización práctica de métodos computacionales para la solución. Definición de dominio y condiciones de borde para casos típicos de problemas de Ingeniería Civil. Mallado. Interpretación de resultados. Planteo de trabajo práctico final. Uso de software.

Metodología de enseñanza

Se requiere que los estudiantes vean las clases teóricas expositivas, disponibles en el aula virtual de la asignatura, con anterioridad a cada clase. De esta manera, los estudiantes deberían asistir a la clase con un conocimiento previo de cada tema, que permita durante la clase presencial una mayor eficiente interacción entre el docente y los estudiantes, con énfasis en los aspectos centrales del tema de cada clase y en las dudas que se puedan plantear. Por lo tanto, se incorporan algunos aspectos de clase invertida, pero con un desarrollo de los aspectos centrales de los temas correspondientes a cada clase a cargo del docente.

Todas las clases son, en mayor o menor medida, teórico prácticas. Al comienzo de la clase, se plantea un caso a resolver, el cual sirve como motivación principal para el desarrollo de los aspectos centrales del tema correspondiente. En la última parte de la clase, se plantea la solución al problema descrito al comienzo de la clase mediante el uso de los conceptos centrales desarrollados.

En las últimas semanas del cursado, se realiza un trabajo práctico integrador, el cual se plantea en relación a problemas típicos de evaluación de tensiones y deformaciones en ingeniería civil. Como parte de la elaboración de este práctico, se establecen pautas para la presentación de los resultados en formato de informe técnico, para el cual los estudiantes deben ser capaces de sintetizar los contenidos vistos durante el cursado, aplicados a un problema particular.

Evaluación

La evaluación se realiza de manera individual y continua durante el cursado, a través de las siguientes instancias:

- 2 evaluaciones parciales prácticas: una sobre teoría de la elasticidad y otra sobre estructuras laminas. Las evaluaciones consistirán en ejercicios a ser desarrollados de manera escrita e individual. Las consignas consistirán en problemas simples de la ingeniería, en los cuales se plantea la utilización de las metodologías estudiadas para resolver aspectos prácticos específicos en el planteo.
- 1 trabajo práctico final grupal, con un máximo de tres integrantes por grupo, el cual debe ser presentado por escrito y defendido individualmente de manera oral. La aprobación involucra la elaboración de un informe técnico, en el cual se organizan los objetivos, datos considerados, resultados del análisis y conclusiones desde el punto de vista ingenieril. El informe luego será presentado de manera oral, instancia en la cual se evaluará la utilización correcta del lenguaje técnico, manejo de los tiempos y la solvencia para explicar resumidamente el objetivo del trabajo, la metodología de resolución, y las conclusiones.
- 1 coloquio final integrador individual. El coloquio consiste en el desarrollo de un tema teórico sobre métodos computacionales de solución y otro tema a elección del docente. En el coloquio se evalúa la exposición oral sobre aspectos conceptuales de la materia, fundamentos teóricos y aplicaciones de las metodologías estudiadas en la práctica profesional. Se considerará la utilización de lenguaje técnico apropiado, organización de las respuestas a los planteos del docente y el manejo del tiempo.

Condiciones de aprobación

La asignatura puede aprobarse mediante promoción o mediante examen final en condición de regular o libre.

Los requisitos para la promoción son los siguientes:

- Asistencia al 80% de las clases.
- Aprobación de las dos evaluaciones parciales prácticas, con la posibilidad de recuperar una de estas evaluaciones. Las evaluaciones parciales prácticas se consideran aprobadas si el estudiante logra resolver correctamente al 50% de las consignas planteadas.
- Aprobación del trabajo práctico de elementos finitos.
- Aprobación del coloquio integrador, con una instancia de recuperación.

Los requisitos para alcanzar la regularidad son los siguientes:

- Asistencia al 80% de las clases.
- Aprobación de una evaluación parcial práctica. La evaluación parcial práctica se considera aprobada si el estudiante logra resolver correctamente al 50% de las consignas planteadas.
- Presentación del informe del trabajo práctico de elementos finitos.

Actividades prácticas y de laboratorio

La asignatura no contempla la realización de actividades de laboratorio. Las actividades prácticas a desarrollar son:

- Ejercicios prácticos de resolución analítica sobre los temas desarrollados en clase, con discusión de resultados.
- Un trabajo práctico mediante métodos computacionales, aplicados a la resolución de un problema práctico de ingeniería civil, en el cual el estudiante debe:
 - Formular correctamente los objetivos del trabajo.
 - Plantear un modelo de análisis, considerando parámetros materiales apropiados, geometría, condiciones de borde y solicitaciones representativas del problema.
 - Desarrollar un modelo computacional mediante una herramienta provista por la cátedra y obtener resultados.
 - Identificar los resultados que corresponden al objetivo del análisis planteado, evaluar la influencia del nivel de aproximación usado en el análisis, comparar con soluciones simplificadas y elaborar conclusiones.
 - Realizar un informe técnico resumiendo el planteo y resultados del problema, incluyendo un capítulo final de conclusiones prácticas relativas al problema ingenieril resuelto.
 - Realizar una presentación oral del trabajo, describiendo los objetivos, metodologías utilizadas, resultados y conclusiones.

Desagregado de competencias y resultados de aprendizaje

CG1: Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.

CG2.1: Ser capaz de identificar técnicas aplicables para realizar análisis tensional de estructuras bi y tridimensionales.

CG2.2: Ser capaz de generar modelos de análisis apropiados para las distintas tipologías estructurales vistas en el curso (esto es, estructuras masivas tridimensionales, placas o cáscaras).

CG2.3: Ser capaz de ejecutar análisis de tensiones y deformaciones mediante métodos computacionales.

CG2.4: Identificar estados de tensión elásticos y criterios de fluencia.

CG2.5: Ser capaz de documentar y comunicar de manera efectiva los resultados del análisis tensional de estructuras.

1. Comprende el mecanismo de equilibrio en sólidos tridimensionales, láminas planas, y de revolución.
2. Identifica las características de los campos tensionales involucrados.
3. Identifica los estados tensionales que corresponden al régimen elástico.
4. Genera modelos de análisis tensional adecuados, con sus correspondientes condiciones de borde.
5. Formula ecuaciones aproximadas para solución mediante métodos computacionales.
6. Desarrolla y resuelve modelos computacionales para análisis tensional.
7. Interpreta los resultados obtenidos.
8. Formula conclusiones ingenieriles en base a los resultados del análisis.

CG4: Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en ingeniería

CG2.1: Identificar las características principales de problemas de análisis tensional, de deformación plana, tensión plana, axisimetría, placa plana, lámina de revolución o sólido tridimensional.

CG2.2: Elegir adecuadamente las herramientas analíticas y numéricas para el análisis de problemas típicos de Ingeniería Civil.

1. Reconoce las principales hipótesis para el análisis de tensiones para distintas tipologías estructurales.
2. Elabora modelos de análisis considerando adecuadamente condiciones de contorno y propiedades geométricas y materiales.
3. Emplea adecuadamente herramientas analíticas y numéricas para la determinación de tensiones y deformaciones.
4. Interpreta correctamente los resultados obtenidos.

CG5: Comunicarse con efectividad

CG7.1: Ser capaz de elaborar un informe técnico.

CG7.2: Ser capaz de presentar resultados de manera oral, con lenguaje técnico preciso.

CG7.3: Ser capaz de manejar las herramientas informáticas apropiadas para la elaboración de informes y presentaciones.

1. Interpreta correctamente las pautas para la elaboración de informes.
2. Produce gráficos adecuados para un informe técnico.
3. Emplea el vocabulario técnico apropiado.
4. Explica adecuadamente el problema a resolver y sus resultados.
5. Propone el uso de herramientas de análisis acordes al problema propuesto.
6. Interpreta adecuadamente los resultados y elabora conclusiones.

CE1.4: Aplicar los métodos aproximados para solución de las ecuaciones diferenciales de sólidos elásticos, como los métodos de Ritz y de Elementos Finitos.

CE1.4.1: Comprender el planteo de las ecuaciones diferenciales de equilibrio de un sólido en forma integral.

CE1.4.2: Comprender la estrategia de solución aproximada mediante métodos computacionales y las características de la solución aproximada, así como de los parámetros que controlan el grado de aproximación.

CE1.4.2: Aplicar métodos de solución mediante herramientas computacionales para la solución de problemas típicos de la ingeniería civil.

1. Reconoce el planteo integral del problema de equilibrio de un sólido.
2. Desarrolla la aproximación mediante subdivisión de dominio y funciones de interpolación de la solución.
3. Identifica el problema algebraico resultante, y la naturaleza aproximada de la solución, así como el significado de los parámetros obtenidos en ella.
4. Modela problemas típicos de ingeniería civil y los implementa en una herramienta de análisis computacional.
5. Interpreta y elabora conclusiones prácticas en base a la solución aproximada y realiza comparaciones con soluciones de referencia.

CE1.5: Comprender y aplicar las herramientas para analizar y resolver estructuras laminares.

CE1.5.1: Identificar las características de las estructuras laminares planas y los esfuerzos internos involucrados en el equilibrio de cargas.

CE1.5.2: Comprender las diferencias entre las hipótesis de Kirchhoff-Love y Bernoulli-Navier, y las tensiones resultantes.

CE1.5.3: Analizar láminas planas rectangulares mediante soluciones aproximadas y tablas.

CE1.5.3: Identificar las características para el comportamiento axisimétrico de láminas de revolución, los esfuerzos involucrados en el equilibrio, y las diferencias con el esquema de equilibrio de las láminas planas.

CE1.5.3: Comprender el problema isostático de equilibrio membranar, el fenómeno de comportamiento flexional en cilindros largos, y su aplicación en el análisis aproximado de sectores de esferas y conos.

CE1.5.3: Evaluar esfuerzos y tensiones en estructuras de almacenamiento, recipientes de presión y domos, para solicitaciones de peso propio, presiones uniformes, cargas de nieve, variaciones térmicas y deformaciones de retracción.

1. Reconoce los esfuerzos involucrados en el equilibrio de una lámina plana sometida a cargas normales y la influencia de la torsión en las esquinas de placas rectangulares.
2. Reconoce la naturaleza isostática del equilibrio membranar y los esfuerzos generados en los extremos de láminas debido a efectos flexionales.
3. Evalúa esfuerzos involucrados en el equilibrio de placas planas rectangulares (losas) sometidas a cargas y reacciones en bordes y esquinas.
4. Evalúa esfuerzos en láminas de revolución correspondientes a mecanismos membranales y flexionales para solicitaciones de cargas axisimétricas, variaciones térmicas y deformaciones de retracción.

CE1.10: Planificar, diseñar, calcular, proyectar y construir obras e instalaciones para la captación, tratamiento, conducción y distribución de agua potable, líquidos cloacales y pluviales urbanos y rurales.

CE1.18. Planificar, diseñar, calcular, proyectar y construir obras e instalaciones para el almacenamiento, captación, tratamiento, conducción y distribución de sólidos, líquidos y gases, incluidos sus residuos.

CE1.10.1 y CE1.18.1: Calcular tensiones en estructuras de presas masivas de hormigón sometidas a presión hidrostática, cambios térmicos y deformaciones de retracción.

CE1.10.2 y CE1.18.2: Calcular esfuerzos en estructuras de conducciones sometidas a presión interna.

CE1.10.3 y CE1.18.3: Verificar estados tensionales combinados frente a criterios de fluencia.

CE1.10.4 y CE1.18.4: Identificar las herramientas analíticas y numéricas apropiadas para el análisis tensional.

1. Identifica el campo de tensiones generado en estructuras de presas y los esfuerzos generados en conducciones sometidas a presión interna.
2. Verifica los estados tensionales resultantes en el marco de criterios de fluencia para metales dúctiles y hormigones.
3. Utiliza eficientemente herramientas analíticas y numéricas para la evaluación tensional.
4. Comprende el efecto de deformaciones impuestas de origen térmico o retracción en el campo tensional.

CE1.12: Proyectar, calcular, dirigir, construir y mantener estructuras metálicas, de madera y de hormigón armado, según la normativa vigente.

CE1.12.1: Utilizar criterios de fluencia para evaluar tensiones en metales dúctiles, hormigón y hormigón armado.

1. Identifica las características particulares de distintos materiales en relación a sus límites de comportamiento elástico.

2. Reconoce la importancia de las tensiones esféricas y desviadoras para distintos materiales.
3. Verifica criterios de fluencia para estados tensionales complejos.

CE1.14: Proyectar, diseñar, calcular, dirigir, construir y mantener estructuras de contención, túneles, empleando técnicas de mejoramiento de suelos.

CE1.14.1: Determinar estados de tensión en fluencia para procesos de carga y descarga.

CE1.14.2: Evaluar esfuerzos en estructuras cilíndricas sometidas a presiones externas.

1. Reconoce estados tensionales límite en el marco de criterios de fluencia para materiales con distinto comportamiento en compresión y tracción.
2. Determina correctamente los esfuerzos en estructuras cilíndricas sometidas a presiones externas.
5. Utiliza eficientemente herramientas analíticas y numéricas para la evaluación de tensiones y deformaciones.

Bibliografía

Notas de clase generadas por la Cátedra:

- Introducción a la teoría de la Elasticidad
- Estructuras laminares
- Introducción al Método de Elementos Finitos
- Tutorial para el uso de programas de elementos finitos

Referencias principales:

- Godoy, L. A., Prato, C. A. y Flores, F. (2009). Introducción a la Teoría de la Elasticidad. Universitas. Córdoba, Argentina.
- Timoshenko, S. y Woinowsky-Krieger, S. (1970). Teoría de Placas y Láminas. Ediciones Urmo, Bilbao, España.
- Zienkiewicz, O., Taylor R. L. y Zhu, Z. (2010), El Método de los Elementos finitos. Vol. 1: Las Bases. 6ª Edición. CIMNE Centre Internacional de Mètodes Numèrics a l'Enginyeria, Barcelona, España.

Bibliografía complementaria (en inglés):

- Timoshenko, S. P. y Goodier, J. N. (1970). Theory of elasticity. 3ª Edición. McGraw-Hill. New York, EEUU.
- Ugural, A. C. (1998). Stresses in Plates and Shells. 2ª Edición. McGraw-Hill. New York, EEUU.
- Billington, D. P. (1982). Thin shell concrete structures. 2ª Edición. McGraw-Hill. New York, EEUU.
- Bathe K. J. (2014). Finite Element Procedures. 2ª Edición. Prentice Hall. Pearson Education Inc. EEUU.