

Asignatura: **CÁLCULO ESTRUCTURAL 2**

|                               |                   |    |
|-------------------------------|-------------------|----|
| Código: 10-04084              | RTF               | 7  |
| Semestre: 8vo                 | Carga Horaria     | 72 |
| Bloque: Tecnologías aplicadas | Horas de Práctica | 15 |

Departamento: Estructuras

Correlativas:

- Cálculo Estructural 1

Contenido Sintético:

1. Teoría de la elasticidad
2. Criterios de falla
3. Componentes estructurales
4. Inestabilidad estructural
5. Método de elementos finitos
6. Concentración de tensiones y fatiga
7. Mecánica de fractura
8. Torres
9. Cañerías
10. Recipientes de presión

Competencias Genéricas:

- CG1: Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- CG4: Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería.
- CG7. Competencia para comunicarse con efectividad.

Aprobado por HCD:

RES: Fecha:

Competencias Específicas para la carrera de Ing. Mecánica:

- CE1.5: Resolver problemas de diseño estructural, de acuerdo a los distintos tipos de estructuras, su comportamiento y modelación adecuada, los modos de falla, los coeficientes de seguridad y las normas, aplicando métodos numéricos de análisis estructural, utilizando computadoras.

Competencias Específicas para la carrera de Ing. Electromecánica:

- CE1.1.14 Resolver problemas de diseño estructural, de acuerdo a los distintos tipos de estructuras, su comportamiento y modelación adecuada, los modos de falla, los coeficientes de seguridad y las normas, aplicando métodos numéricos de análisis estructural, utilizando computadoras.

## Presentación

La asignatura es una actividad curricular que pertenece al penúltimo año (octavo semestre) de las carreras de Ingenierías Mecánica y Electromecánica, que completa el desarrollo de las teorías fundamentales relativas a la Mecánica de Materiales y al Análisis Estructural.

A través del cursado de la asignatura el alumno adquiere las competencias necesarias para resolver problemas de diseño estructural, de acuerdo a los distintos tipos de estructuras, su comportamiento y modelación adecuada, los modos de falla, los coeficientes de seguridad y las normas, aplicando métodos numéricos de análisis estructural, utilizando computadoras. En particular el alumno incorporará los conceptos necesarios que para pueda: i) aplicar las ecuaciones fundamentales que gobiernan al sólido continuo y los criterios de falla, ii) estudiar los problemas de estabilidad del equilibrio en estructuras mecánicas, iii) desarrollar aptitud para emplear métodos numéricos, utilizando computadora, para resolver problemas concretos, iv) manejar los criterios de fatiga y fractura en elementos mecánicos y analizar las características de estructuras y componentes mecánicos; en particular, torres metálicas, cañerías, recipientes de presión y almacenamiento de sólidos.

## Contenidos

Los contenidos de la asignatura son:

**Unidad 1 - Teoría de la elasticidad.** Ecuaciones de la elasticidad lineal de la mecánica de sólidos. Análisis de tensiones y de deformaciones. Ecuaciones constitutivas. Métodos generales de la elasticidad lineal.

**Unidad 2 - Criterios de falla.** Principales criterios falla para tensiones combinadas. Comparación y evaluación de los distintos criterios. Coeficiente de seguridad para tensiones combinadas.

**Unidad 3 - Componentes estructurales.** Teoría de placas. Cilindros con elevada presión. Criterios de diseño.

**Unidad 4 - Inestabilidad estructural.** Cargas críticas en pandeo de placas. Pandeo de cilindros. Criterios de diseño. Pandeo local en vigas y columnas de pared delgada.

**Unidad 5 - El método de los elementos finitos.** Conceptos generales del método. Desarrollo de un elemento básico de dos dimensiones. Aspectos de la discretización. Implementación del método por computadora.

**Unidad 6 - Falla por Fatiga.** Concentración de tensiones. Límite de fatiga. Tensiones uniaxiales y combinadas. Daño acumulado. Enfoque probabilístico.

**Unidad 7 - Introducción a la Mecánica de fractura.** Factor de intensidad de tensión elástica. Resistencia a la fractura del material. Consideraciones de diseño.

**Unidad 8 – Estructuras metálicas: Torres.** Clasificaciones. Normas de aplicación. Configuración de las torres de transmisión eléctrica. Proyecto y modelización. Verificación según normas.

**Unidad 9 – Sistemas de cañerías.** Diseño de sistemas de cañerías de acuerdo con las normas y códigos aplicables. Modelado estructural. Desarrollo del elemento codo.

**Unidad 10 - Recipientes de presión.** Cálculo y diseño de recipientes de acuerdo con las normas y códigos de aplicación. Cálculo de los componentes principales. Diseño de recipientes en altura (torres). Diseño de recipientes horizontales.

**Unidad 11 – Sistemas de almacenamiento de sólidos.** Diseño y cálculo de silos, tolvas y contenedores. Diseño y cálculo de estructuras para estanterías para diversos productos. Cálculo de los componentes principales.

## Metodología de enseñanza

Las clases son de tipo teórico prácticas y consisten en exposiciones dialogadas entre los docentes y los alumnos, orientadas a desarrollar en los alumnos la capacidad de diseñar y analizar estructuras y componentes mecánicos.

Durante las clases prácticas se realizan actividades que ayudan al estudiante a desarrollar habilidades para predimensionar estructuras, analizarlas y finalmente evaluarlas. Las tareas no presenciales que se proponen generalmente tienen un enfoque hacia actividades de proyecto y diseño. El enunciado del problema se bosqueja en clase y luego cada alumno en forma individual debe precisar el enunciado como parte de la solución, buscar datos sobre los materiales a utilizar, dimensionar, verificar y dar conclusiones. Se da especial énfasis a la temática de la comunicación escrita en forma de informes conteniendo: enunciado, desarrollo y conclusiones.

Se proponen a los alumnos proyectos de diseño de componentes y estructuras mecánicas, los cuales se abordan con software de cálculo estructural para determinar esfuerzos y optimizar sus diseños. En estos proyectos los docentes guían a los alumnos sobre las distintas alternativas en cuanto a selección de materiales y métodos de cálculo.

## Evaluación

La evaluación del cumplimiento de los resultados de aprendizaje, y consecuentemente de las competencias, se realiza con:

- Parciales teórico-prácticos que incluyen: preguntas cortas, elección entre alternativas múltiples, desarrollos teóricos y resolución de casos prácticos.
- Trabajos prácticos y proyectos de diseño.
- Rúbrica.

## Condiciones de aprobación

Los requisitos para alcanzar la regularidad son:

- Asistencia: mínimo 80%.
- Aprobación de todas menos uno de los parciales teórico-prácticos, incluida la instancia de recuperación sobre uno de los parciales indicados.
- Aprobación del 100% de las actividades prácticas propuestas: trabajos prácticos y proyectos de diseño.
- Alcanzar un nivel de desarrollo aceptable en todos los indicadores establecidos en la rúbrica.

Los requisitos para aprobar la materia por promoción son:

- Asistencia: mínimo 80%.
- Aprobación de todos los parciales teórico-prácticos, incluida la instancia de recuperación sobre uno de los parciales indicados.
- Aprobación del 100% de las actividades prácticas propuestas: trabajos prácticos y proyectos de diseño.
- Alcanzar un nivel de desarrollo aceptable en todos los indicadores establecidos en la rúbrica.

Los criterios de evaluación son:

- Calidad de la formulación de la producción.
- Escritura académica-profesional, claridad conceptual.
- Vinculación teórico-práctica.
- Puntualidad.

La calificación se obtiene a través del siguiente polinomio:

$$\text{Calificación} = 0,4 \times P1 + 0,3 \times P2 + 0,3 \times P3$$

Donde:

P1: es el promedio de las calificaciones de los parciales teórico-prácticos

P2: es el promedio de la calificación de las actividades prácticas.

P3: es la valoración numérica obtenida de la rúbrica.

## Actividades prácticas y de laboratorio

Las actividades propuestas son trabajos prácticos, proyecto de diseño y ensayos en laboratorio, sobre casos típicos de estructuras y componentes mecánicos que estudia la asignatura.

Durante el desarrollo del curso, el alumno completa actividades prácticas referentes a las distintas unidades, tales como:

- Análisis de tensiones y de deformaciones,
- Criterios de falla y Coeficiente de seguridad para tensiones combinadas,
- Solicitaciones en placas,
- Estudio de cilindros con elevada presión,

- Solicitaciones en estructuras de pared delgada,
- Cargas críticas en pandeo de placas y en cilindros,
- Solicitaciones en estructuras de pared delgada,
- Análisis de fatiga y de fractura en componentes estructurales y mecánicos,
- Torres de transmisión eléctrica,
- Sistemas de cañerías
- Recipientes bajo presión
- Almacenamiento de sólidos

El desarrollo de los trabajos prácticos no sólo resulta fundamental para el afianzamiento de los conocimientos teóricos, sino que además es un medio para la incorporación de habilidades adicionales (estrategias de estudio y propuestas de solución) y para que el estudiante adquiera destreza en el manejo de las herramientas necesarias para la resolución de problemas.

Los trabajos prácticos son realizados directamente en medios digitales (o bien escritos con lápiz y papel y escaneados) y con ayuda de herramientas informáticas (Python, Matlab, Excel, etc.).

Se propende al uso de software de cálculo numérico y de matemática simbólica. Algunas de estas actividades implican la confección de programas de computadoras.

Durante el dictado de la materia se proporcionan códigos de computadora a los estudiantes como modelos para la implementación de métodos numéricos en el análisis estructural.

Se realizan actividades en el Laboratorio de Computación para fomentar la aplicación del software Ansys Mechanical, el cual es empleado en el desarrollo de un proyecto de análisis estructural orientado al diseño y análisis de estructuras mecánicas a través elementos finitos.

El Proyecto de Diseño (PD) consta de dos fases:

- Una primera parte (tres semanas) donde el alumno se familiariza con el software reproduciendo tutoriales elegidos convenientemente.
- La segunda parte del PD (siete semanas) el alumno desarrolla su PD empleando consideraciones teóricas desarrolladas a la par en el dictado de la materia. El objeto del PD es que el alumno sea capaz de realizar los siguientes procesos:
  - a) acondicionamiento de geometría;
  - b) mallado y análisis de mallas;
  - c) análisis estático, análisis modal, análisis de pandeo lineal;
  - d) interpretación de resultados;
  - e) confección de un informe de resultados.

Además se realizan ensayos en el Laboratorio de Estructuras sobre los siguientes aspectos:

- mediciones de deformaciones con el uso de galgas extensiométricas (strain gauge) e interpretación de los resultados;

- ensayos de inestabilidad de equilibrio de distintos elementos estructurales: placas, cilindros de pared delgada y pandeos locales;
- ensayos de fatiga y fractura de probetas y piezas simples;
- análisis de tensiones en recipientes de presión, sistemas de cañerías y almacenamiento de sólidos;
- análisis de las normativas, reglamentos y criterios de diseño de torres de transmisión eléctrica;

## Competencias y resultados de aprendizaje

Para las siguientes competencias se requiere la articulación entre las siguientes capacidades:

**CG1:** Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.

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

**CG 7.** Competencia para comunicarse con efectividad.

**CE1.5/CE1.1.14:** Resolver problemas de diseño estructural, de acuerdo a los distintos tipos de estructuras, su comportamiento y modelación adecuada, los modos de falla, los coeficientes de seguridad y las normas, aplicando métodos numéricos de análisis estructural, utilizando computadora.

- Ser capaz de abordar problemas de diseño estructural, planteando las alternativas de solución, aplicando distintos métodos de solución, analíticos y numéricos.
- Ser capaz de modelar correctamente las estructuras y componentes mecánicos, evaluando sus posibles modos de falla y niveles de seguridad.
- Ser capaz de aplicar las normas constructivas para los distintos tipos de estructuras.

### Resultados de aprendizaje:

Los siguientes resultados del aprendizaje (RA) responden a las competencias generales y específicas indicadas precedentemente:

- Conocer e interpretar las ecuaciones de la elasticidad de la mecánica de sólidos.
- Entender los criterios de falla y coeficientes de seguridad que se aplican en los componentes estructurales mecánicos.

Estos RA se vinculan con las competencias CG1 y CE1.5/CE1.1.14.

- Interpretar los conceptos de teoría de placas y cilindros con elevada presión.
- Diseñar partes de equipos contemplando las condiciones de inestabilidad estructural.
- Entender y utilizar los conceptos de la mecánica de fractura y de fatiga en el diseño mecánico.

Estos RA se vinculan con las competencias CG1, CG4 y CE1.5/CE1.1.14.

- Emplear métodos numéricos para el diseño y verificación de instalaciones mecánicas.

Este RA se vincula con las competencias CG4, CG7 y CE1.5/CE1.1.14.

- Calcular y verificar estructuralmente los sistemas de almacenamiento y transporte de fluidos.
- Conocer y verificar los elementos estructurales de los sistemas de transporte de energía eléctrica.

Estos RA se vinculan con las competencias CG1, CG4, CG7 y CE1.5/CE1.1.14.

La evaluación del cumplimiento de los resultados de aprendizaje se realiza con rúbrica. Este instrumento de evaluación toma como base: a) las siguientes actividades áulicas del estudiante: participación en la resolución conjunta de los trabajos propuestos, talleres, y aulas invertidas y b) las siguientes actividades individuales: coloquio integrador, estudios de casos, resolución de trabajos prácticos y proyectos de diseño.

## Bibliografía

- Compendio de Cálculo Estructural II, Julio C. Massa, Juan F. Giro y Alejandro J. Giudici, 2025.
- Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Budynas y Nisbett , 11va Ed., McGraw-Hill, 2024.
- Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott, 6ta Ed., Pearson Educación, 2017.
- Diseño de Elementos de Máquinas, Vigil M. Faires, 4ta Ed., Limusa, 1998.
- Diseño de Máquinas, Hall, Holowenko y Laughlin, Series Schaum, McGraw-Hill, 1990.
- Advanced Mechanics of Materials, Arthur P. Boresi and Richard J. Schmidt, John Wiley & Sons, 2006.
- Failure of Materials in Mechanical Design, 2da Edición, Jack A. Collins, John Wiley & Sons., 1993.
- Advanced Mechanics of Materials, Cook and Young, McMillan Publishing Co. 2da Edición, 1998.
- Mechanical behavior of materials, Dowling, Norman, 5ta Edición, Pearson, 2021.
- Roark's Formulas for Stress and Strain, 9th Edition, Warren Young, Richard Budynas and Ali Sadegh, McGraw Hill Companies, 2020.
- Fundamentals of Machine Component Design, 7º Ed., Juvinall y Marshek, John Wiley, 2020.
- Buckling of Bars, Plates and Shells, Don O. Brush and Bo Almroth, McGraw Hill Companies, 1975.
- Buckling of Bars, Plates and Shells, Robert Millard Jones, Bull Ridge Publishing, 2006.
- Fracture and Fatigue Control in Structures, Third Edition: Applications of Fracture Mechanics - 3rd Edition, John Barsom and Stanley Rolfe, ASTM, 1999.
- Cálculo de Estructuras por el Método de Elementos Finitos. Análisis Estático Lineal, Eugenio Oñate, CIMNE, 1995.
- El método de los elementos finitos, 7ma Edición, Zienkiewicz O., Taylor, McGraw-Hill, 2013.
- DIN EN 50341-1 (VDE 0210-1), Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV: General requirements - Common specifications; German version EN 50341-1:2013.
- Reglamentación Líneas Exteriores de Media y Alta Tensión, AEA 95301, Asociación Electrotécnica Argentina, 2007.

- ASCE/SEI 10-15, Design of Latticed Steel Transmission Structures, American Society of Civil Engineers, 2015.
- ASME B31.1 Power Piping, American Society of Mechanical Engineers, 2024.
- ASME B31.3 Process Piping, American Society of Mechanical Engineers, 2022.
- ASME B31.8 Gas Transmission and Distribution Piping Systems, American Society of Mechanical Engineers, 2022.
- Pressure Vessel Handbook – Eugene Megyesy - Pressure Vessel Handbook Publishing, 14va Edición, 2008.
- Pressure Vessel Design Manual, Dennis R. Moss and Michael M. Basic, 4ta Edición, Elsevier (Butterworth-Heinemann), 2013.
- Pressure Vessel Design Handbook, 2da Edición, Henry Bednar, Krieger Publishing Company, 1991.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC), Section II – Materials, American Society of Mechanical Engineers, 2025.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC), Section VIII - Rules for Construction of Pressure Vessels, American Society of Mechanical Engineers, 2025.

## Bibliografía existente en la Biblioteca de la FCEFyN

- Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Budynas y Nisbett , 11va Ed., McGraw-Hill, 2024.
- Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott, 6ta Ed., Pearson Educación, 2017.
- Diseño de Elementos de Máquinas, Vigil M. Faires, 4ta Ed., Limusa, 1998.
- Diseño de Máquinas, Hall, Holowenko y Lauglin, Series Schaum, McGraw-Hill, 1990.
- Advanced Mechanics of Materials, Arthur P. Boresi and Richard J. Schmidt, John Wiley & Sons, 2006.
- Advanced Mechanics of Materials, Cook and Young, McMillan Publishing Co. 2da Edición, 1998.
- Roark's Formulas for Stress and Strain, 9th Edition, Warren Young, Richard Budynas and Ali Sadegh, McGraw Hill Companies, 2020.
- Buckling of Bars, Plates and Shells, Don O. Brush and Bo Almroth, McGraw Hill Companies, 1975.
- Buckling of Bars, Plates and Shells, Robert Millard Jones, Bull Ridge Publishing, 2006.
- Fracture and Fatigue Control in Structures, Third Edition: Applications of Fracture Mechanics - 3rd Edition, John Barsom and Stanley Rolfe, ASTM, 1999.
- Reglamentación Líneas Exteriores de Media y Alta Tensión, AEA 95301, Asociación Electrotécnica Argentina, 2007.
- Pressure Vessel Handbook – Eugene Megyesy - Pressure Vessel Handbook Publishing, 14va Edición, 2008.
- Pressure Vessel Design Manual, Dennis R. Moss and Michael M. Basic, 4ta Edición, Elsevier (Butterworth-Heinemann), 2013.
- Pressure Vessel Design Handbook, 2da Edición, Henry Bednar, Krieger Publishing Company, 1991.