

## **ASIGNATURA: ANALISIS ESTRUCTURAL ESTATICO MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (ELECTIVA)**

**ESPECIALIDAD: INGENIERÍA MECÁNICA**

**PLAN: 1994 MODIFICADO (ORDENANZA Nº 1027)**

**NIVEL: 5º**

**MODALIDAD: CUATRIMESTRAL**

**HORAS SEMANALES: 4 HORAS CÁTEDRA**

**HORAS TOTALES: 64 HORAS CÁTEDRA**

**BLOQUE: ELECTIVAS**

**AREA: TECNOLOGÍAS APLICADAS**

**CICLO LECTIVO: 2022**

### **Correlativas para cursar:**

*Regulares: Elementos de Máquinas y Tecnología del Calor.*

*Aprobadas: Estabilidad II y Cálculo Avanzado.*

### **Correlativas para rendir:**

*No aplica – No se considera la instancia de examen final de la materia*

## **OBJETIVO GENERAL DE LA ASIGNATURA**

El objetivo general de la asignatura es proporcionar a los alumnos conocimientos básicos de elementos finitos aplicados al análisis estructural estático que servirán de base para su ejercicio profesional y perfeccionamiento académico.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Los objetivos específicos de la asignatura son:

- Que el alumno comprenda la importancia y utilidad de la simulación numérica en los procesos de análisis estructural en la ingeniería.
- Que el alumno conozca el potencial y las limitaciones de los elementos finitos empleados en análisis estructural a través de programas comerciales y de código abierto.
- Fomentar la utilización del método de elementos finitos como herramienta de trabajo en el ejercicio de la profesión.

- Desarrollar la capacidad de análisis e interpretación de resultados obtenidos mediante el método de elementos finitos aplicado a problemas estructurales.

## CONTENIDOS

### PROGRAMA SINTÉTICO

- Unidad I: Introducción.
- Unidad II: Reticulados.
- Unidad III: Vigas Esbeltas.
- Unidad IV: Vigas Gruesas.
- Unidad V: Pórticos Planos y Tridimensionales.
- Unidad VI: Placas Delgadas.
- Unidad VII: Placas Gruesas.
- Unidad VIII: Cáscaras Gruesas.

### PROGRAMA ANALÍTICO

#### *Unidad I: Introducción.*

Introducción general. Procedimiento general del Método de Elementos Finitos. Tipos de Elementos Finitos y sus aplicaciones. Preproceso, análisis y postproceso. Entrada y salida de datos. Programas comerciales y de código abierto.

#### *Unidad II: Reticulados.*

Sistemas de coordenadas local y global. Funciones de forma. Grados de libertad. Formulación directa y enfoque de Energía Potencial Total. Matriz de rigidez. Vector de fuerzas externas. Ensamble de ecuaciones elementales. Sistema de ecuaciones lineales de equilibrio. Condiciones de borde de Dirichlet. Cálculo de desplazamientos nodales. Cálculo de tensión y reacciones. Efectos de saltos térmicos. Simetría y anti-simetría. Problemas de aplicación práctica en dos y tres dimensiones.

#### *Unidad III: Vigas Esbeltas.*

Teoría clásica de vigas rectas de Euler-Bernoulli. Hipótesis. Ecuaciones cinemáticas: campo de desplazamientos y deformaciones. Relación momento – curvatura. Resultantes de tensión. Ecuación diferencial de cuarto orden. Obtención de la forma débil (Principio de Trabajos Virtuales y Residuos ponderados). Elemento viga Euler-Bernoulli de dos nodos. Funciones de forma de Hermite (continuidad  $C^1$ ). Interpolación de desplazamientos. Matriz de rigidez y vector de fuerzas nodales. Sistema de ecuaciones globales. Condiciones de borde. Cálculo de desplazamientos nodales, tensiones, momento flector y fuerzas internas de corte. Problemas de aplicación práctica.

#### *Unidad IV: Vigas Gruesas.*

Teoría de vigas de Timoshenko. Hipótesis. Ecuaciones cinemáticas: campos de desplazamientos y deformaciones. Resultantes de tensión. Cálculo del parámetro de corrección por corte. Obtención de la forma débil (Principio de Trabajos Virtuales y Residuos ponderados). Funciones de forma e interpolación de desplazamientos de un elemento viga Timoshenko de dos nodos. Matriz de rigidez y vector de fuerzas nodales. Cálculo de desplazamientos nodales, tensiones, momento flector y fuerzas internas de corte. Bloqueo de la solución numérica. Funciones de forma para elemento viga de tres nodos. Desempeño de elementos viga: comparación entre elementos Euler-Bernoulli y elementos Timoshenko. Problemas de aplicación práctica.

*Unidad V: Pórticos Planos y Tridimensionales.*

Elemento pórtico. Grados de libertad locales y globales. Matriz de rigidez y vector de fuerzas elementales. Sistema de ecuaciones a resolver. Casos en dos y tres dimensiones. Problemas de aplicación práctica.

*Unidad VI: Placas Delgadas.*

Teoría de placas de Kirchhoff. Hipótesis. Ecuaciones cinemáticas: campos de desplazamiento y deformación. Ecuaciones constitutivas: relación tensión-deformación. Momentos flectores y ecuación constitutiva generalizada. Forma débil (Principio de Trabajos Virtuales). Ecuaciones de equilibrio. Condiciones de borde. Formulación para elementos cuadriláteros y triangulares. Funciones de forma (continuidad  $C^1$ ). Grados de libertad nodales. Cálculo de tensiones y reacciones. Problemas de aplicación práctica.

*Unidad VII: Placas Gruesas.*

Teoría de placas de Reissner-Mindlin. Hipótesis. Ecuaciones cinemáticas: campos de desplazamiento y de deformación. Resultantes de tensión y ecuación constitutiva generalizada. Forma débil (Principio de Trabajos Virtuales). Discretización del campo de desplazamiento. Grados de libertad nodales. Formulación para un elemento cuadrilátero de cuatro nodos. Funciones de forma (continuidad  $C^0$ ). Integración numérica. Bloqueo por corte en placas delgadas. Integración reducida. Elementos de orden superior. Limitaciones de la teoría de placas delgadas. Problemas de aplicación práctica.

*Unidad VIII: Cáscaras Gruesas.*

Teoría de cáscaras planas de Reissner-Mindlin. Campos de desplazamiento y de deformación. Resultantes de tensión y ecuación constitutiva generalizada. Forma débil (Principio de Trabajos Virtuales). Elementos cáscara planos Reissner-Mindlin. Discretización del campo de desplazamiento. Derivación de ecuaciones de equilibrio elementales. Ensamble de ecuaciones. Integración numérica. Condiciones de borde. Bloqueo membranal y por corte. Elementos cáscara planos delgados. Problemas de aplicación práctica.

## **METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA Y SISTEMA DE EVALUACIÓN**

### **METODOLOGÍA DE DICTADO**

Las clases teóricas y prácticas se dictarán haciendo uso de pizarrón, proyector multimedia y computadora. En las clases teóricas se explicarán las formulaciones procurando que el alumno participe haciendo las preguntas necesarias para lograr una comprensión completa. En las clases prácticas se resolverán problemas mediante programas comerciales y de código abierto disponibles en computadoras de uso individual. Los códigos de computadora brindados por la cátedra deberán ser usados para resolver trabajos prácticos y un proyecto integrador. Se establecerán horarios de consulta. Se utilizará la plataforma Moodle para administrar material de clases, entrega de prácticos y foros de consultas.

### **METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

La evaluación se realizará mediante trabajos prácticos individuales y un proyecto integrador grupal con una entrega parcial y una final. La entrega final del proyecto integrador constará de un informe y una presentación oral. Los trabajos prácticos y el proyecto integrador servirán para consolidar, a través de la propia experiencia, los conocimientos propuestos en el curso; y para fomentar el trabajo en grupo y el debate sobre las decisiones tomadas por los distintos grupos al resolver un problema estructural. Los trabajos prácticos deberán ser entregados en la fecha estipulada por los docentes.

La nota final se expresará en una escala numérica del 1 (uno) al 10 (diez) y se establecerá en función del informe del proyecto integrador y de la presentación oral.

### **CONDICIONES PARA LA APROBACIÓN DE LA ASIGNATURA**

La aprobación de la asignatura será alcanzada por el alumno si cumple con las siguientes condiciones:

#### **Aprobación directa:**

- a) Nota final  $\geq 6$  (seis)
- b) Asistencia a clases según lo establecido en la Ordenanza 1549/16 del Consejo Superior de la Universidad Tecnológica Nacional.

### **PLANEAMIENTO DEL DICTADO DE CLASES**

Los contenidos se dictarán en 16 clases como se indica en la siguiente tabla:

Clase	Tema
1	Unidad I: Introducción Unidad II: Reticulados
2	Unidad III: Vigas Esbeltas.
3	Unidad III: Problemas con Elementos viga Euler-Bernoulli
4	Unidad IV: Vigas Gruesas
5	Unidad IV: Problemas con Elementos viga Timoshenko
6	Unidad V: Pórticos Planos y Tridimensionales

7	Unidad V: Problemas de Pórticos Planos y Tridimensionales
8	Proyecto Integrador: Primera entrega
9	Unidad VI: Placas Delgadas
10	Unidad VI: Problemas mediante Elementos Placa Kirchhoff
11	Unidad VII: Placas Gruesas
12	Unidad VII: Problemas mediante Elementos Placa Reissner-Mindlin
13	Unidad VIII: Cáscaras Gruesas
14	Unidad VIII: Problemas mediante Elementos Planos Cáscara Reissner-Mindlin
15 -16	Proyecto Integrador: Segunda entrega (presentaciones orales)

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **BÁSICA**

- Chandrupatla T., Belegundu E. (1999). Introducción al Estudio del Elemento Finito en Ingeniería, segunda edición. Prentice Hall.
- Oñate, E. (2013). Structural analysis with the finite element method. Linear statics: volume 2: beams, plates and shells. Springer Science & Business Media.
- Reddy, J. N. (2004). An introduction to the finite element method. McGraw-Hill.

### **DE CONSULTA**

- Chandrupatla T., Belegundu E. (2012). Introduction to Finite Elements in Engineering. 4th edition. Pearson.
- Reddy, J. N. (2004). An introduction to the finite element method. McGraw-Hill.
- Ferreira A., Fantuzzi N. (2020) MATLAB Codes for Finite Element Analysis: Solids and Structures, second edition. Springer.
- Kwon Y., Bang H. (1997). The Finite Element Method Using MATLAB. CRC Press.
- Ottosen N., Petersson H. (1992). Introduction to the Finite Element Method. Prentice Hall.
- Zienkiewicz O., Taylor R., Zhu J. (2013) The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. Seventh Edition. Elsevier.