

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo			
P1- PROGRAMA DE ASIGNATURA			
Espacio Curricular	Análisis Estructural II		
Profesor Titular:	Carlos E. Elias (Prof. A Cargo)		
Carrera:	Ingeniería Civil		
Año: 2023	Semestre: 8	Horas Semestre: 75	Horas Semana: 5

CONTENIDOS MÍNIMOS

- ◆ **Contenidos Mínimos:**
- ◆ Estructuras complejas de barras planas y espaciales. Resolución matricial de estructuras. Método de las subestructuras. Distribución espacial de fuerzas horizontales. Estructuras complejas de barras planas y espaciales. Programas computacionales. Nociones de elasticidad bidimensional y. Elementos finitos. Problemas elásticos. Programa de computación.

OBJETIVOS

- El primer gran objetivo de la materia es que el alumno comprenda y aprehenda la formulación de los problemas de la ingeniería civil como un problema espacial, y sea consciente de las diferencias entre las soluciones a través de hipótesis simplificativas y las soluciones tridimensionales exactas, a fin de que pueda discernir sobre la necesidad de aplicar una u otra.
- Logrado el primer objetivo, se pretende que el alumno luego de la comprensión del problema elástico, pueda entender la esencia del MEF, y logrado esto logre un uso atinado de las posibilidades y limitaciones del software disponible.
- El correcto análisis de resultados y el discernimiento en la toma de decisiones en cuanto a la optimización o reformulación (si fuera necesario) del modelo matemático, constituyen el objetivo final de la materia.

CONTENIDOS

UNIDAD 1: Teoría de la Elasticidad

1.A. Introducción

Razón de ser del estudio de la Elasticidad. Ubicación dentro de la Física. Desarrollo de un problema de ingeniería. Problemas continuos y discretos. Necesidad de métodos avanzados de Modelación y Análisis del Continuo.

1.B. Tensiones

Hipótesis. Conceptos de tensiones, fuerzas de masa y de contorno. Definición. Componentes. Nomenclatura. Unidades. Convención de signos.

Ecuaciones de Equilibrio interno. Ecuaciones de Equilibrio de Contorno. Significado físico. Variación de las tensiones alrededor de un punto. Tensión total. Componentes. Tensiones máximas y mínimas. Elipsoide de tensiones. Círculo de Mohr. Matriz y Tensor de Tensión.

1.C. Deformaciones

Hipótesis. Conceptos de desplazamientos y deformaciones. Definición. Componentes. Nomenclatura. Unidades. Convención de signos. Deformaciones en función de los desplazamientos. Concepto físico de compatibilidad. Ecuaciones de compatibilidad en deformaciones. Variación de las deformaciones alrededor de un punto. Elipsoide de deformaciones. Matriz de Deformaciones

1.D. Modelación y Análisis Asistidos: Trabajo Práctico N°1: Verificación analítica de las soluciones de tensiones y de desplazamientos de la Resistencia de Materiales para los estados simples de: Compresión y Flexión en un prisma recto vertical de sección rectangular apoyado en su base. Modelación Computacional con elementos finitos sólidos 3D. Análisis y comparación de resultados.

UNIDAD 2: Teoría de la Elasticidad

2.A. Relaciones entre tensiones y deformaciones.

Curva Tensión-Deformación. Constantes elásticas. Ley de Hooke Generalizada. Ecuaciones de Lamé. Transformación de ecuaciones elásticas. Ecs. De Beltrami.

2.B. Planteamiento general del problema elástico.

Planteamiento general del problema elástico. Métodos de resolución. La función de tensiones. Teorema de la unicidad. Superposición de efectos. Hipótesis y principio de Saint Venant. Efecto Térmico. Temas Energéticos. Resumen y Análisis de Hipótesis. Trabajo de Fuerzas Exteriores. Energía Deformación. Energía potencial total. Minimización.

2.C. Coordenadas Cilíndricas.

Condiciones de Simetría: Carga, Forma. Tensiones y deformaciones en cuerpos cilíndricos. Ecuaciones elásticas en coordenadas cilíndricas. Problemas de simetría Axial. Función de tensiones.

2.D. Modelación y Análisis Asistidos.

Trabajo Práctico N°2: Cálculo analítico de tensiones y desplazamientos en un prisma recto vertical de sección rectangular apoyado en su base sometido a Compresión y Flexión incluyendo el peso propio. Modelación Computacional con elementos finitos sólidos 3D. Análisis y comparación de resultados.

UNIDAD 3: Teoría de la Elasticidad

3.A. Tensión y Deformación Planas.

Planteo general.

Tensión Plana. Condiciones. Hipótesis de tensiones y deformaciones. Ecuaciones elásticas. Reducción. Deformación Plana. Condiciones. Hipótesis de deformaciones y tensiones. Ecs. Elásticas. Comparación de ambos estados. La función de tensión de Airy.

3.B. Coordenadas Polares.

Tensiones y deformaciones en cuerpos cilíndricos con simetría de forma, carga y materiales. Ecuaciones elásticas en coordenadas polares. La Función de Tensión.

3.C. Modelación y Análisis Asistidos:

Trabajo Práctico N°3-A-1: Cálculo analítico de tensiones y desplazamientos en un tabique sismo-resistente de sección rectangular sometido a fuerza horizontal en la sección superior. Determinación de la rigidez con distintos tipos de fundación: 1-Macizo, 2-Zapata, 3-Pozos. Modelación Computacional con elementos finitos sólidos 3D. Análisis y comparación de resultados.

UNIDAD 4: Teoría de la Elasticidad

4.A. Torsión Simple

Prisma recto sometido a Torsión Simple. Observación del modelo. Formulación Elástica de las hipótesis de deformación.

4.b. Transformación a hipótesis de tensiones.

Verificación Elástica. Condiciones. La Función de Tensiones de Saint-Venant. Condiciones equivalentes. Método de Diferencias Finitas.

4.c. Modelación y Análisis Asistidos:

Trabajo Práctico N°4: Cálculo analítico de tensiones y desplazamientos en una prisma recto vertical apoyado en su base y sometido a Torsión: 1-Sección Elíptica, 2-Sección rectangular por DF. Modelación Computacional con elementos finitos sólidos 3D. Análisis y comparación de resultados.

UNIDAD 5: Placas Planas Delgadas.

5.A. Placas planas delgadas: Losas.

Definición. Diferenciación de membrana y placa gruesa. Hipótesis de Kirchhoff. Deformaciones y tensiones. Solicitaciones. Variación. Valores extremos. Reacciones. Ecuación de Lagrange. Condiciones de apoyo.

5.B. Aplicación del Método de Diferencias Finitas.

5.C. Modelación y Análisis Asistidos:

Trabajo Práctico N°5: Cálculo analítico-numérico de solicitaciones y desplazamientos en una losa rectangular sometida a carga distribuida y con distintas condiciones de apoyo. Modelación Computacional con elementos finitos sólidos 3D. Análisis y comparación de resultados.

UNIDAD 6: Teoría Del Comienzo De Las Deformaciones Plásticas

6.A. Deformación plástica de los materiales. Criterios de Plastificación.

Ensayo a tracción de un material. Tensión equivalente. Teorías sobre la determinación del comienzo de la plastificación

- a) de la Tensión principal máxima.
- b) de la tensión tangencial máxima.
- c) de la deformación longitudinal unitaria máxima.
- d) de la energía de deformación.
- e) de la energía de distorsión o de von Misses.
- f) de la tensión tangencial octaédrica.
- g) de la envolvente de Mohr.

6.B. Práctico N° 6: Cálculo de las tensiones de inicio de fluencia para solicitaciones Bi y Tridimensionales y según las distintas teorías. Comparación. Análisis de Resultados. Conclusiones.

UNIDAD 7: Método De Elementos Finitos

7.A. Introducción al método de los Elementos Finitos:

Formulación directa: Funciones de Forma, Desplazamientos, Tensiones, Fuerzas Nodales. Matriz de Rigidez Elemental. Extensión al Dominio Completo. Cambio de coordenadas. Concepto de formulación Subparamétrica, Isoparamétrica e Hiperparamétrica. Integración Numérica. Puntos óptimos para cálculo de tensiones y deformaciones. Criterios de Convergencia: Continuidad; Derivabilidad; Integrabilidad; Criterio de Parcela. Errores de la aproximación: Discretización. Aproximación de la Geometría. Solución del sistema de ecuaciones. Ecuación constitutiva.

7.B. Convergencia de la solución.

Requisitos obligatorios y deseables para la convergencia. Consideraciones sobre compatibilidad y equilibrio de la solución. Errores introducidos durante el cálculo. Control de errores.

7.C. Modelación y Análisis Asistidos:

Trabajo Práctico N°7: Cálculo analítico-numérico de tensiones y desplazamientos en una viga de gran altura de sección rectangular, sometida a carga puntual perpendicular a borde superior y doblemente empotrada. Modelación Computacional con elementos finitos Áreas 2D Triangulares y Rectangulares. Análisis y comparación de resultados.

UNIDAD 8: Método De Elementos Finitos

8.A. Aplicación a problemas de Elasticidad Bidimensional. (TP Y DP)

Introducción. Campo de desplazamientos. Campo de deformaciones. Campo de tensiones. Relación tensión-deformación. Matriz constitutiva. Expresión del Principio de los trabajos virtuales. Equilibrio elemental. Matriz de Rigidez Elemental.

8.B. Formulación del elemento triangular de 3 nodos.

Discretización del campo de deformaciones. Discretización del campo de tensiones. Equilibrio de la discretización. Particularización de la matriz de rigidez y de los vectores de fuerza para el elemento triangular de 3 nodos. Matriz de Rigidez Elemental.

8.C. Formulación del elemento rectangular de 4 nodos.

Formulación Básica. Consideraciones generales. Adición de nodos internos. Obtención general de las funciones de Forma de elementos bidimensionales de clase C_0 . Coordenadas Naturales en dos dimensiones. Elementos rectangulares Lagrangianos. Elementos rectangulares Serendíptos. Funciones de forma de elementos bidimensionales de clase C_0 . Coordenadas de Área. Integración numérica en dominios rectangulares.

UNIDAD 9: Método De Elementos Finitos

9.A. Sólidos Axisimétricos:

Introducción. Simetría de Cargas, de Forma y de Materiales. Características de los elementos. Funciones de Desplazamientos. Deformaciones. Ecuación Constitutiva. Tensiones. Matriz de Rigidez.

Particularización para el elemento triangular de tres nodos.

9.B. Formulación de elementos finitos. Discretización de campos: desplazamientos, deformaciones, tensiones. Matriz de rigidez. Vector de fuerzas nodales equivalentes. Elementos sólidos de revolución isoparamétricos.

9.B. Modelación y Análisis Asistidos:

Trabajo Práctico N°8: Cálculo analítico-numérico de tensiones y desplazamientos en un tubo de pared gruesa sometido a presión interior y exterior. Modelación Computacional con elementos finitos Axisimétricos 3D-DP Triangulares y Cuadrangulares. Análisis y comparación de resultados.

UNIDAD 10: Método De Elementos Finitos

10.A. Elementos Finitos De Placas

Teoría de Kirchhoff. Hipótesis. Campo de desplazamientos. Campo de tensiones. Relación tensiones-deformaciones. Principio de los trabajos virtuales. Equilibrio de la placa.

10.B. Formulación de elementos finitos. Elementos de placa rectangulares. Elementos no conformes MZC y Elementos conformes BFS. Conclusiones. Ejemplos de aplicación. Cálculo de losas con distinto tipo de vinculación.

10.C. Modelación y Análisis Asistidos:

Trabajo Práctico N°10: Cálculo analítico-numérico de solicitaciones y desplazamientos en una losa rectangular sometida a carga distribuida y con distintas condiciones de apoyo. Modelación Computacional con elementos finitos Placa 3D. Análisis y comparación de resultados.

UNIDAD 11: Método De Elementos Finitos

11.A. Aplicación a problemas de Elasticidad Tridimensional.

Campo de desplazamientos. Campo de tensiones. Relación tensión-deformación. Principio de los trabajos virtuales.

11.B. Formulación del elemento finito tridimensional. Particularización para el elemento tetraédrico de 4 nodos. Discretización del campo de desplazamientos. Discretización del campo de deformaciones. Discretización del campo de tensiones. Equilibrio de la discretización. Elementos hexaédricos rectos Lagrangianos y Serendípticos. Elementos tridimensionales isoparamétricos. Integración numérica en tres direcciones.

METODOLIGÍA DE ENSEÑANZA:

Clases Teórico – Prácticas con exposición sintética de fundamentos teóricos de contenidos (con lectura previa recomendada); resolución detallada (analítica y computacional) de ejemplos de aplicación; planteo y resolución (con tutoría y consultas) de ejercicios y trabajos prácticos. desarrollos y gráficos en pizarrón; uso de transparencias con retroproyector; presentaciones power point, documentos pdf y videos digitales con laptop; uso de software educativo (ed-tridim y ed-elas2d) y profesional (sap 2000).

También se entregan a los alumnos ejercicios resueltos adicionales para quienes muestren mayor inquietud en la profundización de algunos temas particulares.

Recursos didácticos

La cátedra utiliza los siguientes recursos para el desarrollo de las clases:

- Guía de ejercicios
- Guía de trabajos prácticos
- Apuntes elaborados ad-hoc
- Videos
- Presentación Power Point
- Bibliografía específica y bibliografía de consulta
- Soportes informáticos

CLASES TEÓRICO – PRACTICAS CON EXPOSICION SINTETICA DE FUNDAMENTOS TEORICOS DE CONTENIDOS (CON LECTURA PREVIA RECOMENDADA); RESOLUCION DETALLADA (ANALITICA Y COMPUTACIONAL) DE EJEMPLOS DE APLICACIÓN; PLANTEO Y RESOLUCION (CON TUTORÍA Y CONSULTAS) DE EJERCICIOS Y TRABAJOS PRACTICOS. DESARROLLOS Y GRAFICOS EN PIZARRON; PRESENTACIONES POWER POINT, DOCUMENTOS PDF Y VIDEOS DIGITALES CON LAPTOP Y CAÑON PROYECTOR MULTIMEDIA; USO DE SOFTWARE EDUCATIVO (ED-ELAS2D) Y PROFESIONAL (SAP 2000).

Actividad	Carga horaria por semestre
Teoría y Formulación de ejercicios simples	35
Formación práctica	
Formación Experimental – Laboratorio	0
Formación Experimental - Trabajo de campo	0
Resolución de problemas de ingeniería	10
Modelación y resolución electrónica de ejerc. y probl.	30
Total	75

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía básica

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemplares en biblioteca
Torrojas, E	Elasticidad (3ª Ed.)	Dossat	1963	1
Berrocal	Elasticidad, L.O. (3ª Ed.)	Mc Graw Hill	1988	1
Timoshenko y Goodier	Teoría de Elasticidad	Urmo	1975	1
Filonenko-Borodich, M.	Teoría de la Elasticidad	Platina	1963	1

Oñate, E (TI y TII)	Cálculo de estructura por el Mét. De Elementos Finitos.	Springer		1
Zienkiewics y Taylor	El Mét. De Los Elementos Finitos (4ª Ed.)	Mc Graw Hill	1994	1

Bibliografía complementaria

Autor	Título	Editorial	Año	Ejemplares en biblioteca
Belluzzi, O (T III)	Ciencias de la Construcción			1
Timoshenko, Krieger, S	Placas			1
Rodriguez Avial	Elasticidad y Resist....		2012	1
Torsión Elástica	Magistocchi, L.	UTN	1988	1
Tensores Elasticos	Empleo de tensores en elasticidad	L.M.Magistocchi	1987	1
Introducao ao Metodo dos Elementos Finitos	Neto, J – Vieira, A. – Ogura, S. – Inoue, M.	Universidade Federal do Parana	1976	1

EVALUACIONES (S/ Ord. 108-10_CS)

Criterios de evaluación:

*El sistema de acreditación será **SIN EXÁMEN FINAL**.*

Para la promoción directa el alumno deberá cumplimentar lo requerido por la ordenanza antes mencionada.

- 1- El alumno deberá cumplir con los requisitos mínimos de asistencia.
- 2- Deberá aprobar 2 evaluaciones escritas, teóricas conceptuales. La primera se realizará al principio de la 4ª clase, y la segunda al comienzo de la 7ª clase.
- 3- Se efectuará la evaluación continua del alumno el que deberá realizar un número reducido de ejercicios prácticos, que deberán ser entregados la semana siguiente a su dictado, y además deberá confeccionar durante el cursado un trabajo final integrador

En la ejecución del mencionado Trabajo Final Integrador deberá utilizar la totalidad de los conocimientos impartidos, y su evolución y desarrollo será seguido por los miembros de la cátedra, los que evaluarán la evolución del mismo, la calidad del producto final, como así también la dedicación y profundización de conocimientos que el alumno dedique a la confección del aludido

Trabajo Final Integrador.

Fechas de Entrega y de Recuperación:

Los trabajos prácticos deberán ser entregados 7 días después de la culminación de su dictado. El T.P. que no haya sido aprobado, podrá ser corregido y presentado nuevamente 7 días después de su devolución. De no cumplirse con estos plazos el alumno deberá rendir los trabajos no aprobados acumulados (30 % del total como máximo) al final del curso, por escrito y en un solo día y horario. El Trabajo Final Integrador deberá ser entregado el último día de clases. Y debería ser aprobado de manera inmediata debido a su seguimiento continuo durante el dictado. De no ser así o no presentarse en tiempo y forma, el alumno deberá presentarlo 7 días después y deberá rendir un pequeño coloquio conceptual oral sobre la parte teórica de la materia.

Programa de examen

- Bolilla 1: Temas: 1A – 1B – 1C – 4A – 4B – 7A – 7B – 7C
 Bolilla 2: Temas: 2A – 2B – 2C – 5A – 5B – 8A – 8B – 8C
 Bolilla 3: Temas: 3A – 3B – 6A – 9A – 9B – 10A – 10B

Bolilla 4: Temas: 1A – 1B – 1C – 5A – 5B – 9A – 9B
Bolilla 5: Temas: 2A – 2B – 2C – 6A – 7A – 7B – 7C
Bolilla 6: Temas: 3A – 3B – 4A – 4B – 11A – 11B
Bolilla 7: Temas: 1A – 1B – 1C – 6A – 8A – 8B – 8C
Bolilla 8: Temas: 2A – 2B – 2C – 4A – 4B – 9A – 9B
Bolilla 9: Temas: 3A – 3B – 7A – 7B – 7C – 11A – 11B
Bolilla 10: Temas: 3A – 3B – 5A – 5B – 10A – 10B



Ing. Carlos E. Elías
Mendoza, Setiembre de 2023