

PROGRAMA DE CURSO INGENIERÍA ESTRUCTURAL AVANZADA

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería Civil (DIC)					
Nombre del curso	Ingeniería estructural avanzada	Código	CI5323	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Advanced structural engineering</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	2	Trabajo personal	5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	CI4211: Diseño sísmico de estructuras					

B. Propósito del curso:

El propósito del curso es que los y las estudiantes modelen, analicen la respuesta lineal y no-lineal de diferentes sistemas estructurales planos y tridimensionales (Enrejados, Marcos y edificios) ante cargas estáticas y dinámicas (Por ejemplo: Demandas Sísmicas). Para ello, aplican conceptos y métodos matriciales y teoremas de energía para calcular los desplazamientos nodales y esfuerzos internos de estructuras planas y tridimensionales lineales elásticas y no-lineales (material y geométrica), determinando la matriz de rigidez y flexibilidad de dichas estructuras y sus componentes (barras, membranas, placas y cascarón). El aprendizaje se basa en desarrollos teóricos, experimentales, laboratorios computacionales, ejercicios y proyectos.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG):

CE1: Concebir, formular y aplicar modelos para la resolución de problemas relacionados con obras y sistemas de ingeniería civil.

CE2: Interpretar y evaluar los métodos, herramientas y tecnologías utilizados y sus resultados, siendo estas computacionales, experimentales, numéricas o analíticas, en la resolución de problemas asociados a obras y sistemas de ingeniería civil.

CEE6: Concebir, analizar, diseñar y construir infraestructura resiliente y sustentable, utilizando materiales tradicionales y nuevos.

CEE9: Desarrollar las distintas etapas de un proyecto de infraestructura, considerando factores de amenaza, riesgo y desempeño, utilizando distintas tecnologías de construcción.

CG1: Comunicación académica y profesional

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

CG2: Comunicación en inglés

Leer y escuchar de manera comprensiva en inglés una variedad de textos e informaciones sobre temas concretos o abstractos, comunicando experiencias y opiniones, adecuándose a diferentes contextos y a las características de la audiencia.

CG3: Compromiso ético

Actuar de manera responsable y honesta, dando cuenta en forma crítica de sus propias acciones y sus consecuencias, en el marco del respeto hacia la dignidad de las personas y el cuidado del medio social, cultural y natural.

CG4: Trabajo en equipo

Trabajar en equipo, de forma estratégica y colaborativa, en diversas actividades formativas, a partir de la autogestión de sí mismo y de la relación con el otro, interactuando con los demás en diversos roles: de líder, colaborador u otros, según requerimientos u objetivos del trabajo, sin discriminar por género u otra razón.

C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE1, CEE6	RA1: Usa métodos matriciales y teoremas para calcular los desplazamientos nodales y esfuerzos internos de estructuras lineales planas y tridimensionales, determinando la matriz de rigidez y flexibilidad de dichas estructuras.
CE2, CEE9	RA2: Calcula, mediante método matricial, la respuesta de las estructuras lineales y elásticas planas o tridimensionales (Enrejados, Marcos y edificios), sujetas a efectos de cargas estáticas, descenso de fundaciones, temperatura o dinámicas.
CEE6, CEE9	RA3: Utiliza programas computacionales para calcular la respuesta de las estructuras planas y tridimensionales sujetas a efectos de cargas estáticas o dinámicas, mediante el método matricial.

CEE6	RA4: Identifica y formula los distintos tipos de no-linealidad estructural (geométricas y material), considerando las ecuaciones de equilibrio para distintos elementos, cómo se resuelven y cómo se aplican en programas computacionales.
CEE6, CEE9	RA5: Realiza, a través de programas computacionales, análisis pushover y dinámicos de estructuras, incorporando efectos de no-linealidad geométrica y del material.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA6: Produce informes asociados a tareas o ejercicios sobre cálculo de estructuras mediante el método matricial, utilizando convenciones propias de la comunicación en ingeniería (lenguaje objetivo, claro y preciso), sujetándose a normas ortográficas, gramaticales y textuales.
GG2	RA7: Lee en inglés, textos de carácter científico y/o profesional (manuales y artículos científicos o de investigación) para extraer conceptos, teorías, tipos de elementos, metodologías de uso, sobre el modelamiento y análisis de estructura.
CG3	RA8: Cumple obligaciones y compromisos adquiridos en cuanto a sus actividades académicas, presentando sus trabajos evaluativos en los plazos correspondientes, sin incurrir en copia y plagio.
CG4	RA9: Trabaja en equipo, de forma estratégica, cooperativa y organizada, en las actividades académicas (ejercicios o tareas), considerando en su quehacer las formalidades de la entrega, la autogestión de sí y la relación con el otro, para el cumplimiento de las metas.

D.Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1, RA8	Teoremas de energía	1,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Componentes del análisis matricial de estructuras. 1.2. Principios básicos usados en análisis estructural. 1.3. Conceptos básicos de energía usados en análisis estructural. 1.4. Teorema de energía potencial estacionaria total y su complementario. 1.5. Principio de trabajos virtuales y su complementario.		El/la estudiante: 1. Identifica las características y conceptos básicos de algebra lineal y terminología a usar para el análisis matricial de estructuras. 2. Identifica los antecedentes y nociones fundamentales del comportamiento y análisis de estructuras. 3. Utiliza teorema de energía para derivar las ecuaciones que describen la energía interna de deformación y su complemento de distintos elementos. 4. Utiliza métodos de energía para calcular la matriz de rigidez y flexibilidad de estructuras elásticas lineales. 5. Utiliza métodos de energía para resolver estructuras ante cargas estáticas. 6. Cumple con sus trabajos (tareas y actividades) sin incurrir en copia o plagio, en un marco de responsabilidad, ajustándose a los plazos dados.	
Bibliografía de la unidad		[McGuire et al. (2000), Cap. 2, 3] [Kassimali (2012), Cap. 1, 2] [Przemieniecki (1968), Cap. 1,2,3, 5,7] [Leet (1988) Cap. 10, 11, 16, 17, 18] [Hibbeler (2012), Cap9, 10, 14, 15,16]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA1, RA2, RA3, RA6, RA7, RA8	Método matricial de los desplazamientos	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. Idealización de las estructuras. 2.2. Formulación del método matricial de los desplazamientos. 2.3. Sistema de coordenadas local y global. 2.4. Elementos uniaxiales y enrejados en 2D. 2.5. Elementos vigas en 2D. 2.6. Elementos viga-columna y pórticos en 2D. 2.7. Elementos uniaxiales y enrejados en 3D. 2.8. Elementos viga-columna y pórticos en 3D. 2.9. Elementos tipo membrana, placa y cascarón (Shell).		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> Formula la matriz de rigidez de enrejados y pórticos en 2D y 3D, a partir de la formulación local de elementos de tipo línea o barra (frame). Formula las matrices de transformación de barras que permiten llevar la matriz de rigidez, esfuerzos y desplazamientos del sistema de coordenadas locales a globales. Determina la matriz de rigidez de la estructura, esfuerzos y desplazamientos a partir de las matrices de los elementos que la forman para cargas puntuales y distribuidas. Utiliza programas computacionales para ejemplificar los conceptos del método de los desplazamientos abocado a enrejados, marcos, membranas, placas y cascarón. Produce informes técnicos propios del área profesional, asociados a tareas y ejercicios, utilizando un estándar profesional en la comunicación (lenguaje objetivo, claro, preciso, despersonalizado). Lee, en inglés, textos profesionales (manuales de uso) para la extraer información que permita trabajar o construir modelos numéricos de estructuras. Elabora sus trabajos (tareas y actividades) sin incurrir en copia o plagio, en un marco de responsabilidad, cumpliendo con sus obligaciones en las fechas estipuladas. 	
Bibliografía de la unidad		[Kassimali (2012), Cap. 3, 5, 6, 7, 8] [McGuire et al. (2000), Cap. 4, 5, 6, 7] [Zack (1994), Cap. 3, 4, 5] Przemieniecki (1968), Cap. 6] [Rubinstein (1966), Cap. 9]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA2, RA6, RA7, RA8	Temas especiales en análisis matricial de estructuras lineales, elásticas ante cargas estáticas	3,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
3.1. Condensación. 3.2. Elementos y segmentos infinitamente rígidos. 3.3. Cargas de Temperatura. 3.4. Asentamiento de Fundaciones y soportes Inclinados. 3.5. Diafragma Rígidos en 2D y 3D. 3.6. Método de fuerzas o flexibilidad. 3.7. Transformación entre las matrices de Rigidez a Flexibilidad. 3.8. Uso de programas computacionales para el análisis matricial de estructuras lineales, elásticas y ante cargas estáticas.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Aplica procedimientos que aumentan la eficiencia del método de los desplazamientos (rigidez). 2. Usa programas computacionales para el análisis matricial de estructuras lineales, elásticas y ante cargas estáticas. 3. Formula las cargas nodales equivalentes a partir de métodos de energía para distintos tipos de carga (distribuidas, de temperatura, pretensión). 4. Formula las matrices de transformaciones para casos especiales (asentamiento, soporte inclinado, diafragma rígido en 2D y 3D, así como elementos y segmentos infinitamente rígidos, y de conexiones flexibles). 5. Redacta informes técnicos propios del área profesional, para las tareas y/o ejercicios realizados, utilizando en su escrito lenguaje objetivo, claro, preciso, despersonalizado, con sujeción a normas gramaticales y del texto. 6. Lee en inglés textos profesionales (manuales de uso) extrayendo información sobre modelos numéricos de estructuras para condiciones y cargas especiales estáticas que utiliza en el ámbito de la ingeniería estructural avanzada. 7. Elabora sus trabajos (tareas y actividades) sin incurrir en copia o plagio, en un marco de responsabilidad, cumpliendo con las obligaciones y plazos establecidos. 	
Bibliografía de la unidad		[McGuire et al. (2000), Cap. 11, 13] [Kassimali (2012), Cap. 9] [Przemieniecki (1968), Cap. 9] [Zack (1994), Cap. 6]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA1, RA2, RA3, RA6, RA7, RA8, RA9	Análisis matricial de estructuras lineales, elásticas ante cargas dinámicas	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>4.1. Cargas dinámicas en estructuras lineales y elásticas.</p> <p>4.2. Sistema de ecuaciones de movimiento para sistemas estructurales planos y tridimensionales.</p> <p>4.3. Periodos y modos de vibrar.</p> <p>4.4. Vibraciones libres y forzadas.</p> <p>4.5. Solicitaciones dinámicas y sísmicas.</p> <p>4.6. Análisis modal espectral.</p> <p>4.7. Análisis Tiempo Historia.</p> <p>4.8. Uso de programas computacionales para el análisis matricial de estructuras lineales, elásticas ante cargas dinámicas y sísmicas.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> Formula el sistema de ecuaciones de movimiento para estructuras planas y tridimensionales como enrejados, marcos y edificios usando los conceptos de análisis matricial. Calcula las propiedades dinámicas y la respuesta de estructuras sujetas a cargas dinámicas y cargas sísmicas, a través de análisis tiempo – historia y análisis modal - espectral. Usa programas computacionales para el análisis matricial de estructuras lineales, elásticas y ante cargas dinámicas. Elabora informes, para las tareas y/o ejercicios realizados, utilizando en su escrito lenguaje objetivo, claro, preciso, despersonalizado, con sujeción a normas gramaticales y del texto. Utiliza la lectura de textos profesionales (manuales de uso) para la búsqueda de información que permita establecer relaciones relevantes entre lo leído y la construcción de modelos numéricos de estructuras para cargas dinámicas. Elabora sus trabajos (tareas y actividades) sin incurrir en copia o plagio, en un marco de responsabilidad en donde respete las fechas de las entregas. Trabaja con sus pares, de forma estratégica, cooperativa y organizada, para cumplir con las actividades académicas (ejercicios o tareas), proponiendo ajustes en los objetivos, roles para avanzar a un nivel más complejo de desempeño. 	
Bibliografía de la unidad		<p>[McGuire et al. (2000), Cap. 4, 6, 7]</p> <p>[Przemieniecki (1968), Cap. 8]</p> <p>[Rubinstein (1966), Cap. 8]</p>	



Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA3, RA4, RA5, RA6, RA7, RA8, RA9	Introducción al análisis no-lineal de estructuras	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>5.1. Definición de los distintos tipos de no-linealidad (material, geométrica y componentes).</p> <p>5.2. Métodos de solución de sistemas de ecuaciones no-lineales (Newton-Raphson).</p> <p>5.3. Análisis incremental de estructuras (pushover), por medio de Control por Fuerza, Control por desplazamiento o Arc Length.</p> <p>5.4. Aspectos básicos: efectos de segundo orden (geométrico).</p> <p>5.5. Conceptos de estabilidad estructural.</p> <p>5.6. Aspectos básicos: efectos de no linealidad del material (fibras, plasticidad concentrada, elemento tipo link y algunos componentes) y leyes constitutivas de materiales uniaxiales.</p> <p>5.7. Análisis no-lineal mediante el uso de programas computacionales (análisis seccional y pushover).</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identifica las principales fuentes de no-linealidad (material, geométrica y componentes), a partir de problemas básicos. 2. Formula, modela y aplica en programas computacionales distintos efectos de no linealidad del material (fibras, plasticidad concentrada, elemento tipo link y algunos componentes) y geométricos. 3. Formula y utiliza metodologías de solución de ecuaciones no-lineales (Newton Raphson), en programas computacionales por medio de control de fuerza y control de desplazamiento. 4. Usa programas computacionales para análisis seccional de componentes y no-lineal de estructuras. 5. Realiza análisis incremental estático (pushover) y dinámicos, donde incorpora efectos asociados a la no-linealidad geométrica y del material en estructuras, analizando las respuestas inelásticas de las estructuras. 6. Produce informes propios del área de la ingeniería civil, para las tareas y/o ejercicios realizados, demostrando en su escrito el uso de lenguaje objetivo, claro, preciso, despersonalizado, con sujeción a normas ortográfica, gramaticales y del texto. 7. Lee en inglés textos profesionales (manuales de uso) y científicos (artículos de investigación) para la búsqueda y síntesis de información que permita trabajar con modelos numéricos de estructuras considerando efectos no-lineales (geométricos y material y componentes). 8. Cumple con la entrega de tareas o ejercicios, en un marco de respeto y responsabilidad por los compromisos adquiridos, sus acciones y decisiones, sin incurrir en copia y plagio. 	

	9. Trabaja en equipo, de forma estratégica, cooperativa y organizada, considerando en su quehacer las formalidades de la entrega, la autogestión de sí y la relación con el otro.
Bibliografía de la unidad	[Przemieniecki (1968) Cap. 10, 11, 12, 13]

E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

El curso considera las siguientes estrategias:

- **Clase expositiva:** Se realizan 2 clases de cátedra a la semana donde se revisan los fundamentos teóricos y prácticos de las temáticas abordadas en cada unidad temática. Se incluyen derivaciones explícitas del método matricial y la descripción de los aspectos y fundamentos necesarios para entender el funcionamiento y el uso de software computacional para la solución numérica de problemas de análisis estructural avanzado.
- **Resolución de problemas:** Las clases de cátedra y auxiliares incluyen ejemplos de solución a problemas empleando programación del método matricial de estructuras (en MATLAB o Mathcad), las cuales se compararán con los resultados obtenidos con programas computacionales (que serán demostrados en clases). Los ejercicios serán instancias de aprendizaje en las cuales el/la estudiante debe aplicar los conocimientos aprendidos asociados a la solución de problemas específicos, que se contextualizan en la aplicación de problemas resueltos analíticamente en cursos previos (ingeniería estructural, diseño sísmico de estructuras, dinámica de estructuras, diseño hormigón armado) y se interioriza en análisis no-lineales entendiendo su trasfondo teórico y práctico.
- **Laboratorio computacional:** Se realizarán al menos 4 laboratorios computacionales en horario de clase auxiliar asociado al uso del software SAP2000, Etabs o Similar en la sala de computadores del DIC, de manera que el/la estudiante se familiarice y utilice el programa computacional y resuelva sus dudas, teniendo la instancia formal de resolver problemas paso a paso guiados por el equipo docente.
- **Análisis de textos** (manuales, textos científicos, apuntes, textos académicos). El/la estudiante deberá adquirir las habilidades para utilizar softwares computacionales que permitan resolver problemas de estructuras lineales y no-lineales considerando particularidades y comportamiento ante cargas estáticas y dinámicas. De esta forma, el/la estudiante deberá estudiar y usar textos con el fin de desarrollar las habilidades técnicas necesarias en el campo laboral para la solución de problemas estructurales que se condicen con las temáticas revisadas en este curso y en cursos anteriores.

F. Estrategias de evaluación:

El curso podría considerar las siguientes instancias de evaluación:

La evaluación se realiza mediante la asignación de **tareas y proyectos computacionales**.

Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
<ul style="list-style-type: none"> Ejercicios o tareas individuales (cada 2 semanas en forma aproximada) de desarrollo con sus respectivos informes relacionados con las diversas temáticas revisadas en el transcurso de las diversas unidades del curso (unidades 1, 2, 3, 4 y 5). 	Evalúan RA1, RA2, RA6, RA7, RA8, RA9
<ul style="list-style-type: none"> Ejercicios o tareas grupales de desarrollo con sus respectivos informes relacionadas a las diversas temáticas revisadas en el transcurso de las ultimas unidades del curso (unidades 4 y 5). 	Evalúan RA3, RA4, RA5, RA6, RA7, RA8, RA9

Al inicio de cada semestre el académico o académica informará al y la estudiante sobre los tipos y cantidad de evaluaciones, así como las ponderaciones correspondientes.

G. Recursos bibliográficos:

Bibliografía obligatoria:

- [1] McGuire, W., Gallagher, R.H., and Ziemian, R.D. (2000). Matrix Structural Analysis. Wiley, New York.
- [2] Kassimali A. (2012). Matrix Analysis of Structures. Ed. Cengage Learning.
- [3] Przemieniecki, J. S. (1968). Theory of Matrix Structural Analysis. Ed. Dover, New York.
- [4] Rubinstein, M.F. (1966) "Matrix Computer Analysis of Structures" Ed. Prentice-Hall, New Jersey.

Bibliografía adicional:

- [5] Zack, R. L. (1994). Matrix Structural Analysis. Waveland Press, Inc.
- [6] Hibbeler, Russell C. (2012). "Análisis Estructural" Octava Edición Ed. Prentice-Hall. 9.
- [7] Leet, Kenneth M. (1988). "Fundamentals of structural analysis" Ed. Macmillan. 10.

H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:

Vigencia desde:	Primavera 2023
Elaborado por:	Fabián Rojas, Francisco Hernández
Validado por:	Validación de académicos par: Ricardo Herrera, Leonardo Massone Validación general académicos del Área
Revisado por:	Área de Gestión Curricular