

## PROGRAMA DE CURSO

### DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS

#### A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería Civil (DIC)					
Nombre del curso	Diseño sísmico de estructuras	Código	CI4211	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Earthquake resistant design</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	2	Trabajo personal	5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	CI4121: Ingeniería Geotécnica, CI4111: Dinámica de estructuras					

#### B. Propósito del curso:

El curso tiene como propósito que los y las estudiantes analicen y diseñen sísmicamente diferentes sistemas estructurales (edificaciones habitacionales, oficinas o industriales) aplicando la normativa chilena de diseño sísmico (NCh433 y NCh2369 entre otras), para resistir adecuadamente y que permitan tener una respuesta resiliente ante las demandas sísmicas esperadas. Para ello, aplican conceptos y métodos usados en cada una de las etapas del análisis sísmico para diferentes sistemas estructurales según materialidad, detallamiento, importancia, condiciones locales de sitio (topográficas, clasificación de suelo). El aprendizaje se basa en desarrollos teóricos, experimentales y las observaciones de los efectos de eventos sísmicos pasados.

Analizan la filosofía detrás del diseño sísmico de estructuras, considerando su importancia en construcción.

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.

CE4: Identificar e incorporar los elementos de incertidumbre inherentes a todo proyecto de ingeniería civil, en la concepción, diseño, ejecución y administración de los proyectos.

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

CEE7: Administrar, operar, mantener y monitorear infraestructura, asegurando su adecuado funcionamiento.

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.

### C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE4, CEE7	RA1: Describe y analiza la generación de terremotos (teoría de placas, tipos de fallas), considerando la propagación y comportamiento de las ondas producto de distintas fuentes sísmicas (interplaca, intraplaca y corticales superficiales), así como condiciones de suelo o topográficas.
CE1, CE2	RA2: Analiza y evalúa los efectos de los terremotos en diferentes tipos de sistemas estructurales, a partir de observaciones e información recogida de terremotos en Chile y otros países, además de lo observado en ensayos experimentales.
CE4, CEE6	RA3: Describe y aplica conceptos y métodos para cada etapa del análisis sísmico de diferentes sistemas estructurales según materialidad, detallamiento, importancia, condiciones locales de sitio (geográficas, tipo de suelo), a fin de obtener una respuesta adecuada y resiliente de estos sistemas ante demandas sísmicas.
CE2, CEE6	RA4: Analiza sistemas estructurales resistentes ante diferentes demandas sísmicas (zona sísmica, tipo de suelo, importancia de la estructura, estructuración y detallamiento), aplicando normativa chilena de diseño sísmico.

Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG2	RA5: Lee, de forma comprensiva, documentos y artículos en inglés complementarios a la teoría expuesta en clases, extrayendo nuevos conceptos, los que relaciona con la filosofía y uso de metodologías del análisis y diseño sísmico de estructuras.
CG3	RA6: Analiza reflexivamente la responsabilidad y compromiso ético profesional que todo ingeniero civil debe tener al diseñar estructuras sometidas a cargas sísmicas, que serán habitadas por personas.

#### D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1, RA2, RA3	Introducción al diseño sísmico de estructuras	0,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Introducción al diseño sísmico de estructuras. 1.2. Filosofía del diseño sísmico de estructuras. 1.3. Etapas del análisis y diseño sísmico de estructuras.		El/la estudiante:  1. Identifica y describe las etapas del análisis y diseño sísmico de estructuras.	
Bibliografía de la unidad		Kramer (1996). Sen (2009). Lindeburg y McMullin(2008).	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA1	Nociones de sismología	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. Modelo del interior de la tierra. 2.2. Teoría de las placas tectónicas. 2.3. Parámetros de los terremotos. 2.4. Descripción de tipos de fallas. 2.5. Descripción de superficie de falla. 2.6. Ondas sísmicas.		El/la estudiante:  1. Identifica y describe diferentes fuentes sísmicas que generan los terremotos, y la propagación de ondas sísmicas al interior de la tierra, considerando conceptos básicos de sismología. 2. Aplica conceptos básicos de sismología para la descripción de tipos de fallas sísmicas, escalas de intensidad y magnitud, considerando la sismicidad global y local en Chile.	

<p>2.7. Registros de aceleración. 2.8. Escalas de medición de intensidad. 2.9. Escalas de medición de magnitud. 2.10. Sismicidad global. 2.11. Sismicidad en Chile. 2.12. Peligro sísmico y zonificación aplicada a Chile.</p>	
<p>Bibliografía de la unidad</p>	<p>Kramer (1996). Sen (2009). Naeim (2001). Chen (2002). Lindeburg y McMullin (2008). FEMA 454.</p>

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA1	Dinámica de suelos	1,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>3.1. Efectos locales de los suelos (efecto de sitio). 3.2. Efectos topográficos e irregularidades. 3.3. Casos básicos de Amplificación unidimensional: una capa sobre roca rígida, una capa sobre roca flexible y varias capas.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Describe y aplica la teoría de propagación de ondas unidireccional, al estudio del efecto de sitio y amplificación de ondas, en suelo con y sin amortiguamiento, con una o varias capas.</li> </ol>	
<p>Bibliografía de la unidad</p>		<p>Kramer (1996).</p>	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA2, RA3, RA5	Efecto de terremotos en las estructuras	1,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>4.1. Observaciones del comportamiento de las estructuras (hormigón armado, acero y albañilería) durante un sismo.</p> <p>4.2. Características del comportamiento no-lineal de estructuras y materiales.</p> <p>4.3. Descripción de los resultados de experimentos de laboratorio sobre comportamiento no-lineal de materiales y estructuras.</p> <p>4.4. Evolución de los códigos de diseño.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Describe y analiza el comportamiento y respuesta de los diferentes tipos de sistemas estructurales, materiales ante demandas producto de sismos y terremotos.</li> <li>Describe y analiza la evolución de los códigos de diseño, cómo los conceptos se modifican y qué avances en metodologías se generan para el análisis y diseño de estructuras, a partir de las observaciones e información de terremotos, estudios experimentales presentados en estudios científicos.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		<p>Kramer (1996). Sen (2009). Naeim (2001). Chen (2002). Lindeburg y McMullin (2008). FEMA 454.</p>	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA3, RA5	Espectros de Respuesta	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
5.1. Respuesta numérica de un oscilador lineal y elástico de un GDL ante excitación en la base. 5.2. Espectros de respuesta. 5.3. Pseudo-espectro de respuesta. 5.4. Formas de generar espectros de respuesta: determinístico o probabilístico. 5.5. Comportamiento no lineal de estructuras y ductilidad. 5.6. Respuesta de un oscilador de un GDL no-lineal. 5.7. Espectro de respuesta de Newmark. 5.8. Espectro de ductilidad constante. 5.9. Factores de reducción.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>Analiza y evalúa el comportamiento dinámico de estructuras ante excitaciones y efectos de sitio, usando un oscilador de un grado de libertad elástico y las propiedades globales del sistema estructural.</li> <li>Analiza y evalúa la respuesta no lineal de sistemas estructurales, usando osciladores de un GDL no-lineal.</li> <li>Identifica los efectos de los parámetros críticos (influencia de las condiciones locales del suelo, amortiguamiento, duración del movimiento, comportamiento no-lineal de la estructura, ductilidad).</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		Newmark y Hall (1982). Chopra (2006). Miranda y Bertero (1994). Tedesco et al. (1998).	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
6	RA4, RA5	Característica de la edificación chilena	0,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
6.1. Filosofía del diseño sísmico en Chile. 6.2. Estructuración y dimensionamiento de edificios. 6.3. Características de las propiedades globales de edificios chilenos. 6.4. Perfil bio-sísmico de edificios.		El/la estudiante: 1. Identifica y analiza las características más representativas de la tipología de edificios chilenos y sus efectos en la respuesta sismo resistente de estas.	
Bibliografía de la unidad		Artículos Guendelman et al., Lagos et al (2021).	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
7	RA4, RA6	NCH433 – diseño sísmico de edificios	3,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
7.1. Historia de la normativa chilena. 7.2. Objetivos de desempeño (Principios e hipótesis básicas). 7.3. Zonificación sísmica. 7.4. Clasificación de suelos. 7.5. Combinaciones de carga. 7.6. Tipologías estructurales. 7.7. Irregularidades. 7.8. Factores de reducción. 7.9. Modelación. 7.10. Acciones sísmicas sobre la estructura. 7.11. Métodos de análisis estático y modal espectral. 7.12. Disposiciones sobre torsión. 7.13. Disposiciones sobre corte basal y deformaciones horizontales. 7.14. Requisitos para fundaciones.		El/la estudiante: 1. Analiza y aplica conceptos y metodología de diseño sísmico presente en la normativa chilena para evaluar la demanda y desempeño sísmico esperado en diferentes tipos de estructuras (por ejemplo: edificios habitacionales u oficinas), y condiciones de tipo de suelo y zona sísmica. 2. Modela y analiza edificios, aplicando la normativa sísmica que permita tener una respuesta adecuada (sismo resistente) y resiliente ante demandas sísmicas. 3. Desarrolla un proyecto computacional en el cual modela y analiza una estructura (edificio), y se aplica la normativa sísmica que permita tener una respuesta adecuada y resiliente ante demandas sísmicas.	
Bibliografía de la unidad		NCh433. DS 61.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
8	RA4, RA6	NCH2369 - diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales	1,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
8.1. Hipótesis de diseño. 8.2. Demanda Sísmica. 8.3. Combinaciones de carga. 8.4. Amortiguamiento. 8.5. Métodos de análisis. 8.6. Requisitos de desplazamiento horizontal. 8.7. Requisitos de fuerza y corte basal. 8.8. Detallamientos típicos. 8.9. Estructuras especiales.		El/la estudiante:  1. Analiza y aplica conceptos y metodología de diseño sísmico presente en la normativa chilena para evaluar la demanda sísmica esperada sobre diferentes tipos de estructuras industriales, considerando condiciones de tipo de suelo y zona sísmica.	
Bibliografía de la unidad		NCh 2369.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
9	RA3, RA4, RA5	Tópicos especiales	1 semana
Contenidos		Indicador de logro	
9.1. Conceptos básicos de diseño por desempeño. 9.2. Diseño de elementos no estructurales o secundarios.		El/la estudiante:  1. Identifica nuevas metodologías usadas o en desarrollo para el diseño sísmico de estructuras. 2. Aplica conceptos y metodologías de análisis y diseño de sistemas y componentes no estructurales ante demandas sísmicas (uso de NCh3357).	
Bibliografía de la unidad		Achisina – Procedimiento alternativo para el análisis y diseño sísmico de edificios NCh3357. Los Angeles Tall Building Structural Design Council, 2014. FEMA 445.	

### E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

El curso considera las siguientes estrategias:

- Clase expositiva.
- Resolución de problemas.
- Lectura y análisis de documentación técnica (normativa, códigos, artículos).
- Aprendizaje basado en proyectos.

### F. Estrategias de evaluación:

El curso considera diversas instancias de evaluación:

- Dos controles parciales.
- Ejercicios.
- Tareas.
- Proyecto computacional, en el cual se modela y analiza una estructura (edificio), y se aplica la normativa sísmica que permita tener una respuesta adecuada y resiliente ante demandas sísmicas.
- Examen final.

### G. Recursos bibliográficos:

#### **Bibliografía obligatoria:**

1. Kramer, S. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall.
2. Newmark, N. y Hall, W. J. (1982). Earthquake Spectra and Design, EERI Monograph Series.
3. Chopra, A. (2006). "Dynamics of Structures". Prentice Hall. Tercera Edición
4. Mw = 8.8 Terremoto en Chile, 27 de febrero 2010, Departamento de Ingeniería Civil, FCFM, Universidad de Chile, 2012.
5. Miranda E. y Bertero, V. (1994) Evaluation of strength reduction factors for earthquake-resistant design, Earthquake Spectra, Vol. 10, No 2.
6. NCh433 "Diseño sísmico de edificios".
7. DS 61 2011 – Diseño Sísmico de Edificios.
8. NCh 2369 "Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales".
9. Achisina – (2019) Procedimiento alternativo para el análisis y diseño sísmico de edificios.
10. NCh3357 (2015). Diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales.
11. Guendelman, T., Medina, F., Guendelman, M. y Figueroa, L. Perfil Bío-sísmico de edificio 3.0, Un Instrumento para la clasificación sísmica de edificios de hormigón armado. LA experiencia chilena.
12. Lagos, R, Lafontaine, M., Bonelli, P., Boroscsek, R., Guendelman, T., Massone, L. M.,

Saragoni, R., Rojas, F. and Yañez, F. (2020) The quest for resilience—The Chilean practice of seismic design for reinforced concrete buildings. Earthquake Spectra, DOI: 10.1177/8755293020970978

**Bibliografía complementaria:**

1. Sen, T. K. (2009). Fundamentals of Seismic Loading on Structures, John Wiley & Sons. Naeim, F. (2001). The Seismic Design Handbook, Ed. Kluwer Academic Publishers.
2. Chen, W-F., Scawthorn, C. (2002). Earthquake Engineering Handbook, CRC Press.
3. Lindeburg, M. R. and McMullin, K. M. (2008). Seismic Design of Buildings Structures, A Professional's Introduction to Earthquake Forces and Design Details, Nith Edition, Professional Publications, Inc.
4. Clough, R. y Penzien, J. (1993). "Dynamics of Structures". McGraw – Hill. Segunda Edición.
5. Tedesco, J.W., McDougal, W. G. y Ross, C. A. (1998). "Structural Dynamics: Theory and Applications", Prentice Hall; Primera Edición.
6. FEMA 454 "Designing for earthquakes, A Manual for Architects"
7. "Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings", Tall Building Initiative.
8. "An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region", Los Angeles Tall Building Structural Design Council, 2014.
9. FEMA 445 "Next-Generation Performance-Based Seismic Design Guidelines".

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

Vigencia desde:	Primavera 2021
Elaborado por:	Fabián Rojas, Ruben Boroschek
Validado por:	Validación de académicos par: Francisco Hernández, Leonardo Massone, Ricardo Herrera. Validación general académicos del área EGC
Revisado por:	Área de Gestión Curricular