

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA</b> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales República Argentina	Programa de:  <h2 style="text-align: center;">Análisis Estructural</h2>  Código: 5014	
Carrera: <i>Ingeniería Civil</i> Escuela: <i>Ingeniería Civil</i> . Departamento: <i>Estructuras</i>	Plan: 2005 Carga Horaria: 72,0 horas Semestre: <i>Sexto</i> Carácter: <i>Obligatoria</i> Bloque: <i>Tecnologías Básicas</i>	Puntos: 3,0 Horas Semanales: 4,50 horas Año: <i>Tercero</i>
<b>Objetivos:</b> <i>El objetivo general del curso es formular los métodos generales para análisis de estructuras de barras sometidas a cargas estáticas y dinámicas, y dotar al estudiante de herramientas operativas actualizadas para determinación de desplazamientos y esfuerzos de las mismas.</i>		
<b>Programa Sintético:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Introducción</i></li> <li>2. <i>Equilibrio de un reticulado ideal. Solución de problemas isostáticos e introducción a problemas hiperestáticos</i></li> <li>3. <i>Método de rigidez aplicado a un reticulado ideal</i></li> <li>4. <i>Método de rigidez aplicado a estructura de vigas continuas</i></li> <li>5. <i>Método de rigidez para estructuras de pórticos planos, emparrillados planos y pórticos espaciales.</i></li> <li>6. <i>Definiciones generales sobre los estados de carga en las estructuras</i></li> <li>7. <i>Respuesta de un sistema lineal de 1 gdl.</i></li> <li>8. <i>Respuesta de un sistema lineal múltiples grados de libertad.</i></li> <li>9. <i>Acciones sísmicas. Cálculo de esfuerzos y desplazamientos</i></li> </ol>		
<b>Programa Analítico:</b> <i>de foja 4 a foja 5.</i>		
<b>Programa Combinado de Examen</b> (no corresponde)		
<b>Bibliografía:</b> <i>foja 6</i>		
<b>Correlativas Obligatorias:</b> <i>Mecánica de las Estructuras</i>  <b>Correlativas Aconsejadas:</b> <i>Mecánica Analítica</i> <i>Métodos Numéricos</i>		
<b>Rige:</b> 2005		
Aprobado por Resolución: 415 – HDC-2009 Fecha: 24 de julio de 2009		Reemplaza al aprobado por Resolución: 808-HCD-2007 Fecha: 16 de noviembre de 2007
<i>El Secretario Académico de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la U.N.C., certifica que el programa está aprobado por las resoluciones y fecha que anteceden.</i> Córdoba,     /     /		
<b>Carece de validez sin la certificación de la Secretaría Académica:</b>  		

## **LINEAMIENTOS GENERALES**

Este curso se refiere a la generalización del concepto de elemento estructural tipo “barra” visto en Mecánica de las Estructuras I al de estructuras compuestas de barras. El comportamiento del elemento barra en el campo elástico es el punto de partida para la formulación del concepto de “Sistema Estructural”, es decir que a partir de la barra individual se pasa al conjunto o sistema de barras.

A manera de introducción general, el curso comienza con el estudio de las deformaciones de estructuras isostáticas aplicando consideraciones de conservación de energía mecánica (energía interna de deformación, versus energía externa aplicada al sistema) y continúa con la formulación de la ecuación de trabajos virtuales para estructuras deformables con el propósito de abordar el cálculo de las deformaciones de estructuras isostáticas sometidas a cargas estáticas. Como parte de esta introducción general se presenta una clasificación de los distintos tipos de cargas que actúan sobre las estructuras civiles (gravitatorias, móviles, inerciales, térmicas, pos-tensado, etc) y se introducen los conceptos de “Estados Básicos” de carga, de “Combinaciones de cargas” y de “Factores de carga”.

El curso continúa con la presentación del Método de las Fuerzas para calcular esfuerzos y deformaciones en estructuras constituidas por barras en forma de reticulados planos (nudos articulados), o de pórticos planos (deformándose en su propio plano). Se formulan las ecuaciones de compatibilidad de deformaciones que permiten calcular las incógnitas hiperestáticas, que dan origen al concepto de Matriz de Flexibilidad, vector de términos de carga, y vector de incógnitas hiperestáticas.

Si bien este método de análisis es poco utilizado en la operativa de cálculo moderna, se lo conserva en el programa para dar pie a la discusión conceptual de cómo funciona la estructura en su conjunto, y el concepto de “Redundancia” estructural.

El curso continúa con la presentación del Método de Rigidez para reticulados y pórticos, utilizando el formato matricial para la formulación y solución de las ecuaciones de equilibrio estático.

En el último tramo de la materia se analizan las características y efectos de los principales tipos de cargas dinámicas: i) Impulsivas, ii) Vibratorias (vibraciones mecánicas y sismos). Se comienza el tratamiento de los problemas dinámicos con la formulación y solución de la ecuación de equilibrio dinámico que incluye a las fuerzas exteriores variables en el tiempo, a las fuerzas dinámicas de fricción viscosas y de inercia, y a las fuerzas elásticas. El curso continúa con el análisis dinámico de estructuras de múltiples grados de libertad dinámicos, con la definición y cálculo de las frecuencias y modos naturales de vibración, y con la presentación del método de Superposición Modal para solución general de problemas dinámicos de estructuras de múltiples grados de libertad dinámicos. El curso culmina con la formulación y solución de esfuerzos y deformaciones de estructuras para solicitaciones sísmicas.

## **METODOLOGIA DE ENSEÑANZA**

El dictado de clases es teórico-práctico. Se introducen los conceptos teóricos básicos y su fundamentación para posteriormente desarrollar aplicaciones prácticas. Se enfatizan los aspectos metodológicos y de comportamiento. En el cuatrimestre de dictado se realizan dos parciales principalmente prácticos (metodológicos) incluyendo conceptos teóricos globales. Al final del cuatrimestre se realiza un coloquio integrador teórico. Se establecen condiciones de promoción, regularidad, para reparcializar y libres, las cuales se resumen a continuación. El reparcializado se ofrece en el cuatrimestre siguiente al dictado, contemplando clases de apoyo, las evaluaciones parciales prácticas y el coloquio final.

### **EVALUACION**

**Promoción:** a) Asistencia al 80% de las clases teórico–prácticas. b) Presentación en tiempo y forma del 80% de los trabajos prácticos. c) Aprobar las 2 evaluaciones individuales sobre los trabajos prácticos. Se pueden recuperar una. d) Aprobar el coloquio integrador (se puede recuperar una vez)

**Regularidad:** Los alumnos que hayan cumplido con los requisitos a), b), c)

**Para reparcializar:** Los alumnos que hayan cumplido con los requisitos a), b) y hayan sido aplazados en sólo una de las evaluaciones parciales.

**Libres:** 1.- Los alumnos que no cumplan con los requisitos a), b) o hayan sido aplazados en ambos parciales.  
2.- Los alumnos que habiendo sido aplazados en una de las dos evaluaciones parciales no opten por el reparcializado. 3.- Los alumnos que sean aplazados en el reparcializado.

**Exámenes parciales:** 3 exámenes parciales, que se corresponden con los siguientes capítulos:

Parcial 1: Capítulos 1 a 4 inclusive

Parcial 2: Capítulos 5 y 6

Parcial 3: Capítulos 7 a 9

**Coloquio integrador:** Es un examen teórico de la asignatura que se toma en las fechas que exámenes de la facultad. El alumno elige la oportunidad en que tomará este examen dentro de las fechas asignadas por la facultad para los exámenes de esta asignatura.

## **PROGRAMA ANALÍTICO**

### **CONTENIDOS TEMATICOS**

#### **Unidad 1. Introducción al Análisis de Estructuras Elásticas de Barras**

Definición de “Análisis Estructural”. Determinación de esfuerzos y deformaciones. Energía interna de deformación. Trabajo externo de las fuerzas exteriores. Conservación de la energía en sistemas elásticos. Aplicación al cálculo de desplazamientos en estructuras isostáticas. Desplazamientos virtuales. Teorema de trabajos virtuales (TTV) como expresión de las ecuaciones de equilibrio. Aplicación del TTV al cálculo de desplazamientos en estructuras isostáticas. Teorema de Reciprocidad del Trabajo Externo.

#### **Unidad 2. Estados de Carga.**

Estados básicos de cargas estáticas. Cargas gravitatorias. Acciones térmicas. Desplazamientos impuestos. Efecto de cables pre-tensados. Combinaciones de carga. Factores de combinación de las cargas básicas. Estados Límites de Servicio (ELS) y Estados Límites Últimos (ELU) (o de Resistencia).

#### **Unidad 3. Redundancia Estructural.**

Grado de indeterminación estática. Ecuaciones de equilibrio y ecuaciones de compatibilidad de desplazamientos. Estructura isostática fundamental. Incógnitas hiperestáticas en vigas continuas, pórticos y reticulados.

#### **Unidad 4. Método de las Fuerzas.**

Ecuaciones de compatibilidad de deformaciones. Matriz de flexibilidad. Simetría de la matriz de flexibilidad. Aplicación del método de las fuerzas al análisis de estructuras hiperestáticas simples: vigas continuas, pórticos planos y reticulados. Líneas de influencia de esfuerzos internos y de reacciones en estructuras hiperestáticas. Definición del estado de carga para calcular las líneas de influencia.

#### **Unidad 5. Método de Rigidez Aplicado a Reticulados Ideales**

Ecuaciones de equilibrio de un reticulado ideal expresadas en función de los desplazamientos nodales. Grados de libertad estáticos. Relaciones cinemáticas entre las deformaciones específicas y los desplazamientos nodales (pequeños giros y pequeñas deformaciones). Matriz de rigidez de una barra de reticulado en coordenadas locales y en coordenadas globales. Ensamblaje de la matriz de rigidez de toda la estructura. Condiciones de vínculo. Reducción del número de gdl debida a las condiciones de vínculo. Cálculo de los desplazamientos nodales. Cálculo de los esfuerzos en las barras. Cálculo de las reacciones externas. Desplazamientos nodales impuestos.

#### **Unidad 6. Método de Rigidez Aplicado a Pórticos y Emparrillados**

Ecuaciones de equilibrio de una barra de pórtico en función de los desplazamientos y giros nodales en coordenadas locales para cargas exteriores aplicadas en los nudos. Transformación de la matriz de rigidez de una barra a coordenadas globales. Ensamblaje de la matriz de rigidez de un conjunto de barras que conforman un pórtico plano. Ensamblaje de la matriz de rigidez de un conjunto de barras que conforman un emparrillado plano. Ecuaciones de equilibrio para cargas aplicadas en el interior de las barras de un pórtico o de un emparrillado. Cargas nodales equivalentes. Superposición del estado de empotramiento perfecto (nudo fijo) y del estado complementario con desplazamientos nodales y cargas nodales equivalentes. Efectos térmicos. Desplazamientos nodales impuestos. Efecto de cables pretensados. Estados de carga especiales para trazado de líneas de influencia.

#### **Unidad 7. Introducción a la Dinámica Estructural.**

Acciones dinámicas sobre las estructuras. Grado de libertad dinámico. Clasificación de las cargas según los efectos sobre un sistema de grado de libertad dinámico: i) Cargas impulsivas, ii) Cargas vibratorias y iii) Acciones sísmicas. Ecuaciones de equilibrio dinámico. Principio de D’Alembert. Fuerzas elásticas. Fuerzas de inercia. Fuerzas disipativas. Respuesta de un sistema de 1 gdl dinámico a cargas impulsivas. Integral de

Duhamel. Factor dinámico máximo. Análisis de casos típicos. Respuesta de un sistema de 1gdl dinámico a una carga armónica estacionaria. Resonancia. Amplificación dinámica. Influencia del amortiguamiento. Respuesta de un sistema de 1gdl dinámico a desplazamientos de los apoyos. Fuerza nodal equivalente al movimiento de los apoyos.

### **Unidad 8. Sistemas con Múltiples Grados de Libertad Dinámicos**

Ecuaciones de equilibrio dinámico de sistemas de múltiples grados de libertad dinámicos (mgdl). Matriz de rigidez. Matriz de masa. Matriz de amortiguamiento. Vibraciones libres. Modos y frecuencias naturales de vibración. Propiedades de los modos. Respuesta dinámica de un sistema de mgdl dinámicos por el método de Superposición Modal.

### **Unidad 9. Análisis Sísmico de Sistemas de mgdl**

Caracterización de las acciones sísmicas. Acelerogramas. Espectros de respuesta sísmica: i) Espectro de desplazamientos, ii) Espectro de Pseudoaceleración, iii) Espectro de aceleración absoluta. Fuerzas nodales equivalentes a la acción sísmica. Aplicación del método de descomposición modal. Análisis sísmico por el método de Análisis Modal Espectral. Análisis sísmico por el método de Análisis Estático Equivalente. Método aproximado para considerar el efecto del comportamiento elasto-plástico frente a las acciones sísmicas.

## **LISTADO DE ACTIVIDADES PRÁCTICAS**

Las actividades prácticas se realizan en forma individual.

TPN° 1: Cálculo de esfuerzos en sistemas isostáticos.

TPN° 2: Cálculo de desplazamientos en sistemas isostáticos.

TPN° 3: Solución de vigas continuas.

TPN° 4: Solución de reticulados por el método de Rigidez

TPN° 5: Solución de pórticos planos por el método de Rigidez.

TPN° 6: Solución de emparrillados planos por el método de Rigidez.

TPN° 7: Respuesta dinámica de sistemas de un grado de libertad.

TPN° 8: Respuestas dinámica de sistemas de múltiples grados de libertad.

TPN° 9: Respuesta dinámica a excitaciones sísmicas.

## **DISTRIBUCION DE LA CARGA HORARIA**

<b>ACTIVIDAD</b>		<b>HORAS</b>
TEÓRICA		36
FORMACIÓN PRACTICA	○ EXPERIMENTAL LABORATORIO	
	○ EXPERIMENTAL DE CAMPO	
	○ RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	36
	○ PROYECTO Y DISEÑO	
	○ PRACTICA SUPERVISADA	
<b>TOTAL DE LA CARGA HORARIA</b>		<b>72</b>

**BIBLIOGRAFIA**

- **Equipo Docente de la Cátedra.** Notas de Clase. *Método de las Fuerzas y Método de Rigidez, Dinámica Estructural. Notas de temas especiales publicadas por la cátedra: 1) Estados de Carga, 2) Líneas de Influencia, 3) Acciones sísmicas*
- **Cudmani, R.O.** *Teoría y Práctica de las Estructuras de Barras.* Universidad Nacional de Tucumán, 2007.
- **Nelson, J. K. y McCormac, J. C.** *Análisis de Estructuras – Métodos Clásico y Matricial.* Editorial Alfaomega, 2006.
- **Kardestuncer.** *Introducción al Análisis Estructural con Matrices.*
- **Livesley, R. K.** *Métodos Matriciales para Cálculo de Estructuras.*
- **Clough R,W, y Penzien, J.** *Dinámica Estructural.* McGraw-Hill, 1975.
- **Reglamento INPRES-CIRSOC 103**