

 Universidad Nacional de Córdoba Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales República Argentina		Hoja_1  Programa de:  <h2 style="text-align: center;">CÁLCULO ESTRUCTURAL I</h2> <p style="text-align: center;">(IME)</p>  Código:
<b>Carrera:</b> Ing. Mecánica Electricista <b>Escuela:</b> Ing. Mecánica Electricista <b>Departamento:</b> Estructuras <b>Obligatoria</b>	<b>Plan:</b> 211-05 <b>Carga Horaria:</b> 72 <b>Semestre:</b> 7mo	<b>Puntos:</b> 3 <b>Hs. Seman:</b> 4,5 <b>Año:</b> 4to
<b>Objetivos:</b> OBJETIVOS GENERALES. Estudiar métodos de ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS de barras en régimen elástico lineal bajo cargas estáticas y dinámicas y aplicarlos a la solución de problemas que se presentan habitualmente en Ingeniería Mecánica Electricista. OBJETIVOS PARTICULARES. 1.- Desarrollar brevemente el "Método de las Fuerzas" a fin de introducir los aspectos físicos de Análisis Estructural. 2.- Desarrollar el "Método de Rigidez" como herramienta habitual de cálculo por computadora. 3.- Emplear principios energéticos y trabajos virtuales para derivar los métodos generales de cálculo. 4.- Estudiar "Dinámica Estructural", como introducción a vibraciones mecánicas, respuesta sísmica, vibraciones aleatorias, etc..., calculando la respuesta de estructuras excitadas dinámicamente por Integración Numérica, Descomposición Modal y Respuesta en Frecuencia. 5.- Capacitar al alumno para analizar cualquier estructura de barras reconociendo: a) Los distintos tipos de estructuras de barras, las variables que intervienen y la modelización adecuada. b) Las cargas actuantes. c) El carácter dinámico o estático de un problema. d) El método de cálculo adecuado. y determinando: e) El desplazamiento de cualquier punto. f) Los esfuerzos internos en cualquier sección.		
<b>Programa Sintético</b> 1. Análisis Estructural 2. Teoremas energéticos. 3. Métodos de las Fuerzas. 4. Método de Rigidez. 5. Dinámica de las estructuras. 6. Vibraciones mecánicas.		
<b>Programa Analítico de foja: 5 a foja: 6</b>		
<b>Programa Combinado de Exámen (no corresponde)</b>		
<b>Bibliografía de foja: 7 a foja: 8</b>		
<b>Correlativas Obligatorias:</b> Mecánica de las Estructuras Mecánica Racional <b>Correlativas Aconsejadas:</b>		
<b>Rige: 2005</b>		
<b>Aprobado H.C.D.: Res.: Modificado/Anulado/Sust H.C.D. Res.:</b> <b>Fecha: Fecha:</b> El Secretario Académico de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (UNC) certifica que el programa está aprobado por el (los) números y fecha(s) que anteceden, Córdoba, / / .		
<b>Carece de validez sin la certificación de la Secretaría Académica:</b>		

## **PROGRAMA ANALÍTICO DE CÁLCULO ESTRUCTURAL I**

### **LINEAMIENTOS GENERALES:**

Cálculo Estructural I es la continuación natural de la formación de los estudiantes de las Carreras de Ingeniería Mecánica, Mecánica Electricista e Ing. Aeronáutica en el cálculo y diseño de estructuras. Como formación previa el estudiante ha cursado las asignaturas: Estructuras Isostáticas y Mecánica de las Estructuras, que conjuntamente con Calculo Estructural I constituyen materias comunes para las tres carreras antes citadas (Res. N° 325-HCD-2005).

El desarrollo de la asignatura comprende dos grandes bloques temáticos relacionados principalmente con estructuras de barras bajo cargas estáticas y bajo cargas variables en el tiempo. El estudiante se enfrenta desde el primer momento a un cambio en su concepción de las estructuras cual es el tener que admitir definitivamente la deformabilidad de los cuerpos a fin de poder resolver estructuras hiperestáticas. Aparece así un primer contacto con las ecuaciones cinemáticas y constitutivas necesarias para el planteo de las ecuaciones de compatibilidad. Las mismas conducen inmediatamente al concepto de flexibilidad estableciendo la relación entre las cargas y los desplazamientos de puntos arbitrarios de una estructura. Estos conceptos son fundamentales para el modelado de problemas dinámicos. La contraparte del concepto de flexibilidad es el de rigidez, que se profundiza y sistematiza en el análisis de estructuras de barras en la segunda parte del curso. El planteo de las matrices que establecen las relaciones entre las cargas y los desplazamientos son obtenidas utilizando los conceptos desarrollados anteriormente, lo que logra establecer un nuevo vínculo entre los dos enfoques.

El método de rigidez permite introducir el concepto de discretización matricial de las estructuras, como preludeo al estudio posterior del Método de Elementos Finitos, cuya introducción se realiza en la asignatura subsiguiente (Calculo Estructural II), método este que constituye la herramienta fundamental para el análisis de estructuras de miles de grados de libertad. Sentados los conceptos de grados de libertad geométricos, de flexibilidad, y de rigidez, el estudiante esta en condiciones de poder enfrentar el próximo paso cual es formular y resolver estructuras de barras bajo cargas variables en el tiempo. Aparecen así los conceptos de grado de libertad dinámicos, que deben ser vinculados a los grados de libertad geométricos desarrollados anteriormente mediante la condensación estática. Se pone especial énfasis en destacar la naturaleza dinámica o estática (seudo estática) de la respuesta de las estructuras sometidas a cargas variables en el tiempo. La solución de las ecuaciones de movimiento se enfoca según distintos métodos, tanto analíticos como numéricos, en el dominio del tiempo o de las frecuencias.

Al final del curso el estudiante no solamente ha profundizado en el conocimiento intrínseco de la asignatura sino que también ha integrado conocimientos que forman parte de numerosas asignaturas previas.

A continuación se establecen los objetivos de la materia:

### **Objetivos:**

#### *Objetivos Generales.*

Desarrollar los métodos de ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS de barras en régimen elástico lineal bajo cargas estáticas y dinámicas. \* Aplicar esos métodos a la solución de problemas que se presentan habitualmente en Ingeniería Mecánica, Mecánica Electricista e Ingeniería Aeronáutica.

### *Objetivos Particulares.*

- 1.- Desarrollar brevemente el "Método de las Fuerzas" a fin de introducir los aspectos físicos de Análisis Estructural.
- 2.- Desarrollar el "Método de Rigidez" como herramienta habitual de cálculo por computadora.
- 3.- Emplear principios energéticos y trabajos virtuales para derivar los métodos generales de cálculo.
- 4.- Estudiar "Dinámica Estructural", como introducción a vibraciones mecánicas, respuesta sísmica, vibraciones aleatorias, etc..., calculando la respuesta de estructuras excitadas dinámicamente por integración numérica. Descomposición Modal y Respuesta en Frecuencia.
- 5.- Capacitar al alumno para analizar cualquier estructura de barras reconociendo:
  - a) Los distintos tipos de estructuras de barras, las variables que intervienen y la modelización adecuada.
  - b) Las cargas actuantes.
  - c) El carácter dinámico o estático de un problema.
  - d) El método de cálculo adecuado a fin de determinar en todos los casos:
    - a. El desplazamiento de cualquier punto.
    - b. Los esfuerzos internos en cualquier sección.

Habida cuenta que se considera muy importante otorgar al estudiante no solo de conocimientos teóricos sino también herramientas válidas de cálculo, la cátedra ha puesto a disposición de los estudiantes varios programas de cálculo desarrollados en el Departamento de Estructuras (Ver Bibliografía), programas que son utilizados para contrastar los resultados de los trabajos prácticos que se asignan.

### **METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA:**

El desarrollo de los contenidos se realiza principalmente mediante el dictado de clases que incluyen partes teóricas y prácticas. A continuación se establecen las pautas del dictado a fin de que tanto los estudiantes como los docentes que integran la cátedra conozcan sus derechos y obligaciones respecto al mismo.

1. **Período de clases:** estará fijado por el Calendario Académico-Administrativo que hubiere aprobado el H.C.D. al final del año anterior. Generalmente se asigna una duración para el semestre de 16 semanas. La Cátedra publicará con antelación los horarios de clase y las fechas de las Evaluaciones, Recuperatorios y Parcial-Coloquio Integrador.
2. **Asistencia:** la asignatura tiene asignados 3 módulos semanales (4,5 hs reloj). La asistencia será controlada por el docente pudiéndolo hacer al comienzo o final de cada módulo.
3. **Ejercitación práctica:** cada clase se asignarán ejercicios que deberán entregarse a la próxima clase dentro de los primeros diez minutos de la clase. Dichos prácticos se entregarán en hojas tamaño A4 lisas; cada hoja respetará márgenes y llevará el nombre de la asignatura, el número del trabajo práctico y el nombre del estudiante. Si son varias hojas deberán ir abrochadas. Una vez controlado, el trabajo será devuelto al estudiante. Si el práctico no satisface las condiciones mínimas de presentación o se incurren en errores conceptuales groseros, el práctico podrá ser rechazado y no ser tenido en cuenta a los fines de los porcentajes necesarios para regularizar o promocionar la asignatura. Los trabajos son **personales**.
4. **Horarios de consulta:** los horarios de consulta serán establecidos el primer día de clases, fijándose además los nombres de los docentes y el lugar de las mismas.

## **EVALUACIÓN:**

La evaluación de los conocimientos adquiridos se realizará mediante 2 (dos) parciales prácticos y 1 (un) Parcial-Coloquio Integrador:

1. **Primer Parcial Práctico:** incluye los temas **Método de la Fuerzas y Método de Rigidez**.
2. **Segundo Parcial Práctico:** incluye los temas relacionados con **Dinámica Estructural**.

Estos parciales están fundamentalmente orientados a la resolución de problemas. Para aprobar los exámenes parciales el alumno deberá mostrar conocimientos relativos a los contenidos que se evalúan y en este sentido el profesor podrá desestimar el examen si corrobora la existencia de fallas conceptuales fundamentales. Los exámenes parciales recibirán una calificación de **1 a 10** puntos.

3. **Parcial-Coloquio Integrador:** es una evaluación orientada a la parte teórica de la asignatura e incluye los temas teóricos desarrollados en clase y/o que hubieren sido indicados a los estudiantes para su estudio por el profesor. A fin de evitar males entendidos, se proveerá a los estudiantes de un **listado con los temas** que serán incluidos en dichos exámenes. Los temas se agruparan según **tres títulos: Método de las Fuerzas, Método de Rigidez y Dinámica Estructural**. El profesor asignará aleatoriamente 3 temas, uno correspondiente a cada título del listado de temas, que serán desarrollados en forma escrita por los estudiantes, asignando un tiempo de 30 minutos para de cada uno de los temas. Posteriormente, el Profesor podrá hacer preguntas al estudiante para evaluar la profundidad del conocimiento adquirido. El examen **será invalidado** tanto si el estudiante no desarrollara en forma pertinente alguno de los temas o no mostrara poseer los conocimientos, al ser evaluado en forma oral.

### **Condiciones para aprobar la asignatura:**

#### **1. Régimen de PROMOCIÓN:**

- a) **Asistencia:** los estudiantes deberán acreditar el 80% de la asistencia.
- b) **Ejercitación Práctica:** acreditar el 80% de los prácticos entregados en tiempo y forma y aprobados.
- c) **Evaluaciones:**
  - 1) **Primer y Segundo Parcial:** aprobar (4(cuatro)) cada uno de los parciales.
  - 2) **Recuperatorio:** se podrá recuperar uno de los parciales. En todos los casos, la nota del recuperatorio **reemplazará** la nota anterior obtenida.
  - 3) **Tercer Parcial-Coloquio Integrador:** se podrá rendir dentro del período normal de clases en la fecha fijada según lo establecido en el punto 1, o en los turnos de exámenes de Julio, Diciembre y febrero-marzo (para los que cursan durante el primer semestre. Si la asignatura se cursara durante el segundo semestre, los turnos correspondientes para rendir serian los de Diciembre, febrero-marzo y Julio). El estudiante contará con **3 (tres)** oportunidades para aprobar este examen. Si fracasa en aprobarlo por tercera vez o no rindiera dentro del período anteriormente establecido, el estudiante perderá la condición de alumno promocionado, pasando a la categoría de alumno regular.
- d) **Calificación obtenida bajo el régimen de promoción:** habiéndose aprobado los 3 parciales según lo establecido anteriormente, la nota final será el promedio de las calificaciones obtenidas en las evaluaciones.

## 2. Régimen de alumno REGULAR.

El estudiante adquiere la condición de regular al satisfacer los puntos siguientes

- a) **Asistencia:** los estudiantes deberán acreditar el 70% de la asistencia.
- b) **Ejercitación Práctica:** acreditar el 70% de los prácticos entregados en tiempo y forma y aprobados.
- c) **Evaluaciones:**
  - 1) **Primer y Segundo Parcial:** aprobar los 2 exámenes parciales con 4 (cuatro).
  - 2) **Recuperatorio:** se podrá recuperar uno de los parciales. En todos los casos, la nota del recuperatorio **reemplazará** la nota anterior obtenida.
- d) **Condiciones para aprobar la materia:** el estudiante deberá inscribirse en los turnos de exámenes establecidos en el Calendario Académico-Administrativo. El examen constará de una parte práctica y de una parte teórica:
  - 1) La **parte práctica** consistirá en la solución de ejercicios similares a los que se rindieron en los exámenes parciales, y tienen como objetivo evaluar el conocimiento de la parte práctica de la asignatura. En ese sentido valen las consideraciones hechas respecto de la aprobación de los exámenes parciales.
  - 2) La **parte teórica** tendrá las características del **Parcial-Coloquio Integrador**, descritas en el punto 3.

## CONTENIDOS TEMATICOS:

### PRIMERA PARTE - MÉTODO DE LAS FUERZAS

#### Unidad N° 1 - ANÁLISIS ESTRUCTURAL

1. Tipos de estructuras de barras y modelos de análisis.
2. Ecuaciones para el análisis de sólidos deformables.
3. Ecuación de la elástica para vigas rectas prismáticas.
4. Generalidades de la estática de sistemas deformables.

#### Unidad N° 2 - TEOREMAS ENERGÉTICOS

1. Energía interna de deformación en sólidos elásticos (E.I.D.)
2. Postulado "trabajo externo igual a la E.I.D": Área de corte, viga equivalente, etc.
3. Teorema de reciprocidad.
4. Principio de trabajos virtuales en sólidos deformables (P.T.V.).
5. Cálculo de desplazamientos por aplicación del P.T.V.

#### Unidad N° 3 - MÉTODO DE LAS FUERZAS

1. Estructuras hiperestáticas reticuladas y de alma llena.
2. Efectos térmicos y defectos de montajes.
3. Cálculo de desplazamientos en sistemas hiperestáticos.
4. Principio de Mínima Energía Potencial Complementaria (P.M.E.P.C.).
5. El método de las fuerzas como aplicación del P.M.E.P.C.

## **SEGUNDA PARTE - MÉTODO DE RIGIDEZ**

### **Unidad N° 4 - INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE RIGIDEZ - RETICULADOS**

1. Objeto de análisis estructural.
2. Solución completa de problemas de análisis estructural.
3. Los dos grandes métodos de cálculo.
4. Reticulados. Matriz de rigidez de una barra. Matriz de rigidez del conjunto.
5. Reticulados: esfuerzos en barras y reacciones de apoyo.

### **Unidad N° 5 - PRINCIPIO DE MÍNIMA ENERGÍA POTENCIAL TOTAL**

1. Principio de Mínima Energía Potencial Total (P.M.E.P.T.).
2. El método de rigidez como aplicación del P.M.E.P.T.
3. Problemas no lineales. Otras aplicaciones

### **Unidad N° 6 - PÓRTICOS PLANOS**

1. Matriz de rigidez de una barra prismática. Matriz de rigidez del conjunto.
2. Determinación de esfuerzos y reacciones de apoyo.
3. Carga en el interior de un tramo.
4. Efectos térmicos. Desplazamientos prefijados. Defectos de montaje.

### **Unidad N° 7 - TEMAS COMPLEMENTARIOS**

1. Emparrillado plano.
2. Pórticos tridimensionales.
3. Partición en subestructuras.
4. Estructuras simétricas. Cargas simétricas y antisimétricas.

## **TERCERA PARTE - DINÁMICA ESTRUCTURAL y VIBRACIONES**

### **Unidad N° 8 - GENERALIDADES. RESPUESTA DE UN OSCILADOR SIMPLE**

1. Respuesta a cargas variables en el tiempo. Importancia de la masa en problemas dinámicos.
2. Fuerzas disipativas. Características dinámicas de una estructura.
3. Oscilador simple. Vibraciones libres. Excitación periódica.
4. Oscilador simple. Integral de Duhamel. Integración Numérica.

### **Unidad N° 9 - VIBRACIONES LIBRES EN SISTEMAS MÚLTIPLES**

1. Grado de libertad dinámico y equilibrio dinámico. Matriz de rigidez condensada.
2. Vibraciones libres. Vibraciones libres-libres.
3. Modos de vibrar y sus propiedades.
4. Determinación práctica de modos y frecuencias.

### **Unidad N° 10 - MÉTODO DE RESPUESTA EN EL TIEMPO**

1. Método de descomposición modal.
2. Integración directa de las ecuaciones de movimiento.
3. Excitación dinámica por movimiento de apoyos.

### **Unidad N° 11 - MÉTODO DE RESPUESTA EN FRECUENCIA**

1. Introducción al Método de Respuesta en Frecuencia. Generalidades.
2. Propiedades de la transformada discreta de Fourier. Transformada rápida.
3. Respuesta en Frecuencia para único grado de libertad dinámico.
4. Respuesta en Frecuencia para múltiples grados de libertad dinámicos

**ACTIVIDADES PRÁCTICAS Y/O DE LABORATORIO:**

**DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA HORARIA:**

ACTIVIDAD	HORAS
TEÓRICA	36
FORMACIÓN PRÁCTICA:	
○ FORMACIÓN EXPERIMENTAL	
○ RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	28
○ ACTIVIDADES DE PROYECTO Y DISEÑO	8
○ PPS	
<b>TOTAL DE LA CARGA HORARIA</b>	<b>72</b>

El objetivo de la información a colocar en el cuadro que se muestra abajo, es conocer con razonable precisión la cantidad de horas que le insume al alumno promocionar la asignatura. Por ello se solicita completar con las horas de reloj, que el docente encargado de la actividad curricular estima necesita, un alumno que **estudia tiempo completo**, para promocionar la asignatura discriminadas según las actividades que les corresponda realizar de manera no presencial.

DEDICADAS POR EL ALUMNO FUERA DE CLASE

ACTIVIDAD	HORAS
PREPARACION TEÓRICA	50
PREPARACION PRÁCTICA	
EXPERIMENTAL DE LABORATORIO	
EXPERIMENTAL DE CAMPO	
RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS	45
PROYECTO Y DISEÑO	15
<b>TOTAL DE LA CARGA HORARIA</b>	<b>110</b>

**BIBLIOGRAFÍA**

**Métodos de las fuerzas.**

- **Massa, Julio y Prato, Carlos.** Método de las Fuerzas. Apuntes de la cátedra. *Cooperadora del Departamento de Estructuras. U.N.C.*
- **Hibbeler, Russell.** Structural Analysis. *Macmillan Publishing.* 1990

**Método de la rigidez.**

- **Massa, Julio y Prato, Carlos.** Método de la rigidez. Apuntes de la cátedra. *Cooperadora del Departamento de Estructuras. U.N.C.*
- **Kardestuncer, Hayrettin.** Introducción al análisis estructural con matrices. *McGraw Hill.* 1975.
- **Livesley, R.K.** Matrix Methods of Structural Analysis, *Pergamon Press, Oxford.* 2o Ed. 1969.
- **Massa Julio.** "Manual del Usuario del Programa PORTI"
- **Massa Julio.** "Manual del Usuario del Programa TRITE"
- **Massa Julio.** "Manual del Usuario de los Programas REFRE1 y REFRE2"
- **Massa Julio.** "Manual del Usuario de los Programas STODOLA y HOLZER"

**Dinámica estructural.**

- **Massa, Julio y Prato, Carlos.** Dinámica estructural. *Apuntes de la cátedra. Cooperadora del Departamento de Estructura de la U.N.C.*
- **Humar, Jagmohan L.** Dynamics of Structures. *Taylor & Francis.* 2º Ed. 2002.
- **Paz, Mario & Leigh Williams.** Estructural Dynamics – Theory and Computation. *Springler* 5º Ed.. 2006.

**Software disponible para la realización de trabajo prácticos.**

- **Programa "PORTI".** Analiza PÓRTICOS PLANOS en régimen elástico lineal bajo cargas estáticas.
- **Programa "TRITE".** Analiza PÓRTICOS ESPACIALES en régimen elástico lineal bajo cargas estáticas.
- **Programa "REFRE1".** Cálculo de respuesta en frecuencia para un oscilador simple.
- **Programa "REFRE2".** Cálculo de respuesta en frecuencia para dos grados de libertad.
- **Programa "STODOLA".** Cálculo de las frecuencias naturales de vibrar por el método de Stodola.
- **Programa "HOLZER".** Cálculo de las frecuencias naturales de vibrar por el método de Holzer.