



CARRERA: INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA			
DEPARTAMENTO DE: MECANICA			
ASIGNATURA: –ELASTICIDAD APLICADA - (Código F 38)			
APROBADO POR RESOLUCION N° 161/07 – C.D. (09/10/2007)			
AREA: OPTATIVAS			
CARACTER DE LA ASIGNATURA		OBLIGATORIA SEGÚN OPCION	
REGIMEN	HORAS DE CLASE	PROFESORES	
Cuatrimestral	Por Semana	Total	Titular : Ing. Carlos G. MICUZZI
	6	90	Aux. graduado: Ing. Gustavo C. VEROLI Aux. graduado: Ing. Gustavo A. MICUZZI
ASIGNATURAS CORRELATIVAS PRECEDENTES			
Aprobadas		Regularizadas	
Resistencia de Materiales		Ciencia de los Materiales	

### PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

#### 1. OBJETIVOS

Se pretende que el estudiante adquiera los conocimientos necesarios que le permitan:

- Complementar el curso de Resistencia de Materiales
- Dimensionar o verificar piezas mecánicas en el dominio elástico, en especial cuando no sean aplicables las fórmulas elementales de la Resistencia de Materiales
- Ponderar efectos de esfuerzos localizados
- Aplicar el Método de los Elementos Finitos en Mecánica estructural y en Mecánica de los sólidos continuos
- Aplicar la teoría de la Mecánica de Fractura para dimensionar o predecir vida remanente de elementos de máquinas en función de defectos detectables mediante técnicas de ensayos no destructivos
- Conocer los principios teóricos de diseño en el dominio elastoplástico y calcular la reserva plástica del material cuando trabaja en el límite elástico.

#### 2. CONTENIDOS

##### 2.1. CONTENIDOS MÍNIMOS

- El Problema Elástico y las ecuaciones que lo rigen
- Esfuerzos localizados: por Contacto y por Discontinuidades
- Las Ecuaciones de la Elasticidad en coordenadas cilíndricas y su aplicación a problemas que presenten simetría geométrica respecto del eje axial
- El Método de los Elementos Finitos y su aplicación a Mecánica Estructural y Mecánica de los Medios Continuos
- Teoría de la Mecánica de Fractura y su aplicación al dimensionado o predicción de la duración de piezas mecánicas
- Comportamiento de los materiales en el dominio elastoplástico
- Casos de la Elasticidad

##### 2.2. CONTENIDO ANALÍTICO

##### Unidad I: INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS:

- I.1. Concepto de Elasticidad y Plasticidad.
- I.2. El Problema Elástico:
  - Planteo General del Problema Elástico.
  - Ecuaciones de la Elasticidad.
  - Formulación del Problema Elástico en términos de Desplazamientos.
  - Formulación del Problema Elástico en términos de Esfuerzos.
- I.3. Evolución de la Teoría de la Elasticidad — El principio de Saint Venant — Importancia actual de la teoría de la Elasticidad.
- I.4. Soluciones continuas (ó "exactas") versus soluciones aproximadas de las ecuaciones de gobierno del problema elástico

##### Unidad II: ESFUERZOS LOCALIZADOS:

- II.1. Origen de los Esfuerzos Localizados — El principio de Saint Venant.



- II.2. Concentración de Esfuerzos:
  - Determinación mediante la teoría matemática de la elasticidad de ecuaciones diferenciales de gobierno en discontinuidades que provocan concentración de esfuerzos
  - Métodos experimentales y analogías de auxilio para resolver las ecuaciones diferenciales
  - Factores que inciden en la redistribución de picos de esfuerzos localizados
  - Relación entre factores teóricos y efectivos de concentración de esfuerzos. Índice de sensibilidad
- II.3. Esfuerzos de Contacto:
  - Origen de los esfuerzos de contacto
  - Estado de esfuerzos en la zona de contacto — Hipótesis.
  - Ecuaciones de cálculo de esfuerzos superficiales y subsuperficiales :
  - Contacto entre piezas esféricas.
  - Contacto entre cilindros de ejes paralelos.
  - Contacto entre piezas de radios de curvatura distintos en el punto de contacto.
  - Consideraciones sobre el coeficiente de seguridad.
  - Influencia de la fricción en el contacto deslizante.
- II.4. Ejemplos de aplicación:
  - Determinación de Factores Teóricos de concentración de Esfuerzos para distintos tipos de Concentradores y Solicitaciones con auxilio de ábacos y tablas
  - Estimación del Índice de Sensibilidad en función de la geometría del concentrador y de la pieza; tipo de material; sollicitación y otras condiciones de servicio
  - Cálculo de la presión en el centro de la zona de contacto de piezas comprimidas por carga normal (sin fricción). Distribución y valor del esfuerzo tangencial máximo y del esfuerzo tangencial octaédrico
- II.5. Trabajos Prácticos:
  - Graficación y tabulación en planillas electrónicas de fórmulas empíricas de la teoría de la elasticidad para la determinación de factores teóricos de concentración de esfuerzos
  - Graficación en planilla electrónica de la distribución de tensiones subsuperficiales para casos de contacto puntual, lineal y general.

### **Unidad III: ECUACIONES DE LA ELASTICIDAD EN COORDENADAS CILÍNDRICAS:**

- III.1. Casos de la Elasticidad que conviene tratar con ecuaciones de la elasticidad en coordenadas cilíndricas
- III.2. Estado general de esfuerzos
  - Tensor de esfuerzos — Ecuaciones de equilibrio
  - Tensor de Deformaciones. Desplazamientos. Relación entre Deformaciones y Desplazamientos
  - Relación entre Esfuerzos y Deformaciones
- III.3. Ejemplos de aplicación:
  - Determinación del tensor de esfuerzo para estados de deformación plana
  - Determinación del tensor de deformación para estados de esfuerzo plano

### **Unidad IV: CILINDROS DE ESPESOR GRUESO:**

- IV.1. Generalidades sobre piezas cilíndricas solicitadas a presión interior y/o exterior, gradiente térmico, fuerza centrífuga.
- IV.2. Ecuaciones de la elasticidad en coordenadas cilíndricas para el estado plano de deformación
- IV.3. Ecuación diferencial rectora para cilindros. Constantes de integración. Condiciones de borde
- IV.4. Particularización de la ecuación rectora para distintos tipos de sollicitaciones simples
- IV.5. Efecto de las condiciones de los extremos en los esfuerzos y deformaciones — Extremos cerrados o abiertos, con deformación axial libre o restringida
- IV.6. Cilindros compuestos. Camisas montadas por contracción
- IV.7. Ejemplos de aplicación:
  - Cálculo de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos en cilindros hidráulicos y tuberías solicitadas a:
    - Presión interior y/o presión exterior
    - Gradientes térmicos
    - Estados combinados de sollicitaciones
  - Cálculo de esfuerzos, deformaciones y desplazamientos en ejes de grandes dimensiones por efecto de la fuerza centrífuga
- IV.8. Trabajos Prácticos:



- Relevamiento métrico y de las condiciones de servicio de cilindros hidráulicos de máquinas viales o agrícolas y verificación de su estabilidad y deformación.
- Montar un buje por contracción sobre una tubería o eje y calcular el estado de esfuerzos iniciales en tubería y camisa.

#### **Unidad V: DISCOS DE ROTACIÓN:**

- V.1. Generalidades sobre discos de rotación delgados de espesor constante, solicitados a presión interior y/o exterior, gradiente térmico, fuerza centrífuga.
- V.2. Ecuaciones de la elasticidad en coordenadas cilíndricas para el estado plano de esfuerzos
- V.3. Ecuación diferencial rectora para discos. Constantes de integración. Condiciones de borde
- V.4. Particularización de la ecuación rectora para distintos tipos de solicitaciones simples
- V.5. Ejemplos de aplicación:
  - Cálculo de esfuerzos y deformaciones en discos de espesor constante solicitados a:
    - Presión interior por efecto de montajes por contracción sobre un eje
    - Presión exterior generada por álabes en discos de turbinas
    - Fuerza centrífuga por efecto de la rotación
    - Gradientes térmicos
    - Estados combinados de solicitaciones
- V.6. Trabajos Prácticos:
  - Relevamiento métrico y de las condiciones de trabajo de un volante montado por contracción y cálculo de la "velocidad de afloje"

#### **Unidad VI: PLACAS:**

- VI.1. Generalidades y Clasificación
- VI.2. Esfuerzo membranal y teoría de Flexión de las Placas
- VI.3. Flexión de Placas de espesor mediano con flecha pequeña apoyadas en los bordes
  - Hipótesis y planteo teórico para obtención de la Ecuación Diferencial de las Placas
    - En Coordenadas rectangulares
    - En coordenadas cilíndricas
- VI.4. Ejemplos de aplicación:
  - Cálculo de solicitaciones, desplazamientos y esfuerzos en placas circulares y rectangulares, apoyadas o empotradas en los bordes con distintos tipos de cargas.
  - Cálculo del desplazamiento necesario del vástago de "válvulas placas" para producir su apertura
  - Cálculo del espesor de la chapa de recipientes con y sin rigidizadores
- VI.5. Trabajos Prácticos:
  - Relevamiento de solicitaciones y verificación, por condición de resistencia y de deformación, de pasarelas metálicas.

#### **Unidad VII: INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS**

- VII.1. Fundamentos del Método
  - Modelización y expresión matemática de problemas físicos
  - Formulación del método
  - Formulación variacional (Método de Rayleigh – Ritz)
  - Formulación residual (Método de Galerkin)
  - Discretización; Funciones de forma; Vector Desplazamientos Nodales y Vector Fuerzas Nodales
  - Matriz de Rigidez Elemental; Ensamblaje; Matriz de Rigidez Global
- VII.2. Estados Uni y Bidimensionales:
  - Aplicaciones Estructurales:
    - Barras con solicitación axial
    - Estructuras de barras articuladas
    - Vigas
    - Estructuras aporticadas
- VII.3. Estados Axisimétricos
  - Aplicaciones estructurales:
    - Cilindros hidráulicos
    - Discos y volantes
- VII.4. Ejemplos de aplicación:



- Cálculo de esfuerzos y deformaciones en elementos estructurales; cerchas y marcos
  - Determinación del valor y distribución de esfuerzos localizados en discontinuidades
  - Determinación del valor y distribución de esfuerzos en sólidos de revolución
- VII.5. Trabajos Prácticos:
- Comparar resultados y aproximación lograda en determinación de deformaciones, desplazamientos, esfuerzos y fuerzas nodales usando:
    - Ecuaciones de la Elasticidad (solución analítica)
    - Planillas electrónicas de cálculo
    - Programas comerciales

#### **Unidad VIII: INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE FRACTURA:**

- VIII.1. Consideraciones generales sobre defectos e imperfecciones preexistentes en los materiales reales.
- VIII.2. Consideraciones generales sobre la rotura dúctil y la fractura frágil.
- VIII.3. Factores y/o condiciones de servicio que propician la fractura por fragilidad en los materiales dúctiles.
- VIII.4. Mecánica de Fracturas Elásticas Lineales:
- Análisis bidimensional de material con comportamiento elástico lineal, estado de deformación plana y fluencia localizada de pequeña escala.
  - Estado de esfuerzos alrededor de la grieta.
  - Modos básicos de desplazamiento de las superficies de la grieta.
  - Factor de Intensidad de Esfuerzos.
- VIII.5. Tenacidad a la fractura:
- Determinación en la condición de deformación plana.
  - Factores que inciden en el valor de la tenacidad a la fractura.
- VIII.6. Diseño basado en la Mecánica de la Fractura.
- VIII.7. Método de la Mecánica de la Fractura para predecir el tiempo de duración a la fatiga.
- VIII.8. Introducción a técnicas de la Mecánica de la Fractura en el régimen elástico – plástico (zonas plásticas de gran escala)
- VIII.9. Ejemplos de aplicación:
- Determinación del tamaño crítico de la grieta.
  - Determinación de la carga crítica para distintas geometría, tamaño y orientación de la grieta.
  - Determinación de la profundidad crítica de la grieta en tuberías de espesor grueso solicitadas a presión interior.
- VIII.10. Trabajos Prácticos:
- Determinación experimental de la Tenacidad de Fractura. Normas de ensayos
  - Detección y medición de grietas superficiales mediante técnicas de ensayos no destructivo y cálculo de la duración remanente en función de las condiciones de carga y de servicio.

#### **Unidad IX: INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE LA PLASTICIDAD:**

- IX.1. Concepto de plasticidad. Deformación irreversible y deformación elástica
- IX.2. Componentes del tensor de Tensiones y de Deformaciones:
- Estado Esférico y Estado Desviador
  - Independencia de la Tensión hidrostática
- IX.3. Relación entre las componentes del Tensor de Tensiones y del Tensor de Deformaciones
- IX.4. Componentes de la Energía de Deformación
- IX.5. Inicio de la Fluencia en un estado complejo de tensiones:
- Superficie de Fluencia
  - Criterios de Fluencia:
    - Criterio de Tresca – Saint Venant
    - Criterio de Von Mises
- IX.6. Endurecimiento por deformación plástica
- IX.7. Relación entre Tensiones y Deformaciones en el campo plástico
- IX.8. Teoría del Flujo plástico
- IX.9. Teoría de la deformación de Hencky
- IX.10. Relación entre la teoría del flujo plástico y la teoría de la Deformación
- IX.11. Reserva Plástica en materiales elastoplásticos:
- Plasticidad con pequeña deformación
  - Diagramas plásticos simplificados



- Reserva Parcialmente Plástica y Reserva Plástica en:
  - Torsión Elastoplástica
  - Flexión Elastoplástica
  - Tracción plástica en barras con concentradores de tensiones
  - Sistemas hiperestáticos compuestos por barras
- Esfuerzos residuales.
- IX.12. Ejemplos de aplicación:
  - Cálculo de la reserva parcialmente plástica y plástica en árboles torsionados y los esfuerzos residuales resultantes
  - Cálculo de la reserva parcialmente plástica y plástica en ejes flexionados y los esfuerzos residuales resultantes
  - Cálculo de penetración plástica y el gradiente de tensiones por concentración de esfuerzos
  - Cálculo de la reserva parcialmente plástica y plástica en sistemas hiperestáticos compuestos por barras y los esfuerzos residuales resultantes
- IX.13. Trabajos Prácticos:
  - Graficación de criterios de fluencia

#### **Unidad X: CASOS DE LA ELASTICIDAD:**

Temas complementarios a desarrollar en función del tiempo disponible. Planteo físico-matemático y ejemplos de aplicación

- X.1. Estabilidad de barras con carga axial y lateral
- X.2. Verificación al pandeo total y local de columnas de secciones compuestas. Cálculo de presillas y/o diagonales
- X.3. Discos de rotación de espesor variable. Disco de igual resistencia
- X.4. Barras curvas hiperestáticas. Anillos y eslabones de cadena
- X.5. Cilindros de pared delgada con devanado de cinta o alambre metálico pretensado
- X.6. Cilindros de pared gruesa con devanado de cinta o alambre metálico pretensado
- X.7. Cilindros de pared gruesa con plastificación parcial
- X.8. Análisis experimental de esfuerzos:
  - Medición de deformaciones. Calibres de deformación
  - Métodos fotoelásticos
  - Otros métodos
- X.9. Diseño de árboles de transmisión empleando combinación de las principales teorías de falla estática de los materiales y criterios de falla a la fatiga. Ponderación de esfuerzos localizados

#### **3. BIBLIOGRAFÍA**

- La bibliografía actualizada, básica y de consulta, junto con apuntes y ayudas didácticas de la cátedra se suministra anualmente al comienzo del curso.
- **Bibliografía básica:**
  - Elasticidad — Berrocal — McGraw Hill — 3° edic. — 1998
  - Curso de Elasticidad — Quiroga — Bellisco — 1990
  - Elasticidad para Técnicos — Dugdale y Ruiz — Reverté — 1973
  - Fundamentos de Elasticidad y su Programación por Elementos Finitos — Ramón Álvarez — Bellisco — 1992
  - Análisis de Estructuras — McCormac – Elling — Alfaomega — 1994
  - Apuntes y Planillas de cálculo de la cátedra.
- **Bibliografía de consulta:**
  - Theory of Elasticity — Timoshenko – Goodier — McGraw Hill — 1951
  - Diseño en Ingeniería Mecánica — Shigley – Mischke — Mc Graw Hill — 1990
  - Curso Superior de Resistencia de Materiales — Seely / Smith — NIGAR S.R.L. 1967
  - Fundamentos de Diseño p/ Ingeniería Mecánica — Juvinall — Limusa — 1997

#### **4. METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA**

El desarrollo del programa se realizará mediante “Clases Teóricas”; “Clases Teóricas – Prácticas”; “Clases Prácticas”; y desarrollo de “Trabajos Prácticos”, según el tema a tratar. A tal efecto se distingue:

- **Clases Teóricas:** Se asigna especial importancia a las clases teóricas procurando familiarizar al estudiante con el vocabulario técnico. En general se estructuran de la siguiente manera :



- Motivación al tema a tratar con ejemplificación de casos reales y comunes de la mecánica.
  - Mención, análisis, alcance y cumplimiento práctico de las hipótesis con que se abordará el tema.
  - Planteo y justificación física y matemática del tema.
- Clases Teóricas – Prácticas:  
Similares a las clases teóricas, pero sin la deducción matemática de las ecuaciones que gobiernan el problema físico que se trata. En su reemplazo se recurre a graficar las ecuaciones que representan el problema físico en planillas electrónicas de cálculo, de manera que permitan visualizar rápidamente el efecto del cambio de las variables que intervienen en las ecuaciones rectoras del problema. Se procura incentivar al alumno en el empleo de técnicas numérica para resolver matemáticamente el problema, resaltando las ventajas de ocuparse más del planteo del problema que de su resolución matemática, la que es relegada, en casos, a resoluciones iterativas con auxilio de herramientas informáticas.
- Clases Prácticas: Se desarrollarán un mínimo de tres (3) ejercicios numérico por tema, que serán resueltos íntegramente en clase, en pizarrón, y con auxilio de computadora cuando la complejidad de los cálculos así lo requiera o cuando se quiera ponderar la importancia de las variables del problema. En todos los casos los trabajos prácticos se desarrollarán a continuación del tratamiento teórico del tema, es decir en la clase inmediata siguiente. Para garantizar este cometido se asigna un mínimo de dos clases a cada tema del programa: una clase teórica ó teórica – práctica, seguida de una clase práctica. Para el desarrollo de las clases prácticas se provee al estudiante:
- Un "formulómetro" con las ecuaciones de cálculo a utilizar, remarcando las hipótesis en que se basan.
  - Un soporte magnético conteniendo planillas de cálculo preparadas específicamente para cada tema, para facilitar su uso progresivo con el desarrollo del programa, permitiendo también el uso vinculado en los trabajos prácticos finales.
- Trabajos Prácticos: Los alumnos realizarán un relevamiento métrico y de las condiciones de trabajo de elementos de máquinas o elementos estructurales existentes en el Taller de Mecánica o el Campus Resistencia a los fines de calcular la seguridad estructural de los mismos.

## 5. EVALUACIÓN

— Alumnos regulares: Para acceder al examen final como alumno regular se debe cumplir con el 80% de asistencia a todas las clases ("teóricas", "teóricas – prácticas" y "prácticas") y la presentación al final del curso de todos los trabajos prácticos realizados.

En estas condiciones el examen final consiste en la realización de uno o más ejercicios de cálculo. En función de la complejidad del problema, eventualmente el planteo del problema debe ser aprobado en el día del examen y la presentación completa con cálculos detallados y gráficos a las 48 horas del día de examen, en cuya oportunidad, y de no mediar objeciones a la resolución del problema práctico, se debe aprobar un coloquio, conceptual, sobre temas del programa de la asignatura.

— Promoción: Se podrá promocionar la parte práctica de la materia y acceder a un examen final consistente en coloquio teórico, conceptual, sobre temas del programa de la asignatura.

Para ello, además de cumplir con las condiciones de regularidad antes mencionadas, se deberá aprobar dos (2) exámenes parciales con un puntaje acumulativo de cien (100) puntos, con un mínimo por parcial de cuarenta (40) puntos. Esta modalidad se fundamenta por la fuerte concatenación de los temas del programa.

— Alumnos libres: Para acceder al examen final, similar al de los alumnos regulares, se debe convenir con los responsables de la cátedra, con suficiente anterioridad a la fecha de examen, la realización, como mínimo, de tres (3) trabajos teóricos – prácticos que deben ser expuestos en forma oral previo al examen final.