



## UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR

|                |                      |                            |             |       |
|----------------|----------------------|----------------------------|-------------|-------|
| DIVISION       | FISICA Y MATEMATICAS |                            |             |       |
| DEPARTAMENTO   | MECANICA             |                            |             |       |
| ASIGNATURA     | MC 8243              | MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO |             |       |
| HORAS / SEMANA | T = 3                | P = 0                      | L = 0       | U = 3 |
| VIGENCIA       | SEPTIEMBRE 1992 -    |                            | APROBACION: |       |

### OBJETIVOS

- **Generales:** Aplicación del Método del Elemento Finito a la solución de problemas de Ingeniería Civil.
- **Específicos:** Hacer que el cursante comprenda y use el Método del Elemento Finito en la solución de problemas de todo tipo del medio continuo, haciéndose especial énfasis en los relacionados con la Teoría de la Elasticidad. Preparar al estudiante para que pueda desarrollar y usar programas de cálculo automatizado.

### PROGRAMA

#### 1 Introducción

El medio continuo. Proceso de discretización, continuidad, funciones de forma, convergencia, condiciones de borde. Métodos numéricos. Método del Elemento Finito, formulación general, analogías y diferencias con los métodos del análisis estructural, principales aplicaciones.

#### 2 Problemas de campo en régimen permanente

Ecuación cuasi-armónica, condiciones de borde, principio variacional. Solución por el Método del Elemento Finito, aproximación de la variación del campo en el elemento finito con funciones de forma supuestas, criterios de convergencia, ecuaciones en el elemento, caso de problemas bi-dimensionales de campo. Ilustración del procedimiento de análisis con el desarrollo de un programa sencillo de cálculo automatizado utilizando elementos triangulares bi-dimensionales. Aplicaciones a la solución de diversos problemas de ingeniería (torsión en barras, transmisión de calor, potencial eléctrico, flujo de fluidos, etc.).

#### 3 Introducción a la teoría lineal de elasticidad

Estado de tensión y las ecuaciones de equilibrio. Estado de deformación y las ecuaciones geométricas. Ecuaciones constitutivas del material elástico lineal. Principio de Saint-Venant. Problemas de deformación plana. Problemas de tensión plana.

#### 4 Problemas del medio continuo elástico

Modelo lineal. Sistemas discretos, subsistema de juntas y subsistema de elementos finitos, coordenadas generalizadas. Principios del trabajo virtual y del trabajo complementario virtual. Principios de la mínima energía potencial total y de la mínima energía potencial complementaria total. Método de Rayleigh-Ritz. Método del Elemento Finito. Formulación basada en el método de los desplazamientos. Problemas primario y complementario. Expresiones de las matrices de masa, de amortiguamiento y de rigidez. La aproximación de la variación del campo con las funciones de forma. Los modelos compatibles, de equilibrio, híbridos y mixtos. Determinación de las propiedades del elemento finito utilizando funciones de forma superpuestas. Ilustración con elemento triangular plano con supuesta variación lineal del campo de los desplazamientos. Aplicaciones a la solución de problemas de tensión plana y de deformación plana.

## **5 Propiedades de los elementos finitos y aplicación de técnicas numéricas**

Integración numérica, fórmulas de cuadratura de Gauss, coordenadas naturales, regiones rectangulares, triangulares, exaédricas y tetraédricas. Fórmulas explícitas de integración. Funciones de interpolación, serie de polinomios, isotropía geométrica, procedimientos de interpolación, interpolación de Lagrange, interpolación hermítica. Elementos lineales de eje rectilíneo, sistemas de coordenadas, derivación e integración, determinación de funciones de forma. Elementos triangulares, sistemas de coordenadas, derivación e integración, funciones de forma, familia de elementos de continuidad  $C^0$ , caso de continuidad superior. Elementos rectangulares, sistemas de coordenadas, derivación e integración, funciones de forma, familias de continuidad  $C^0$ , familias de Lagrange y “serendípita”, caso de continuidad de orden superior. La representación isoparamétrica, conformidad geométrica, transformación de coordenadas, matriz jacobiana, procedimiento de cálculo de las propiedades del elemento finito. Elementos tetraédricos, sistemas de coordenadas, derivación e integración, funciones de forma, casos de continuidad  $C^0$  y  $C^1$ . Elementos exaédricos, paralelepípedo rectangular, funciones de forma, representación isoparamétrica, determinación de propiedades.

## **6 Aplicaciones**

Ejemplos adicionales de aplicación del Método del Elemento Finito en la solución de problemas de ingeniería civil (flexión de placas delgadas, problemas de mecánica de fluidos, etc.).

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Przemieniecki, J. S. *Theory of Matrix Structural Analysis*, McGraw-Hill, 1968
- [2] Bathe, K-J. y Wilson, E. L. *Numerical Methods in Finite Element Analysis*, Prentice-Hall, 1976.
- [3] Zienkiewicz, O. C. *El Método de los Elementos Finitos*, Editorial Reverté, 1980.
- [4] Huebner, K. H. y Thornton, E. A. *The Finite Element Method for Engineers*, John Wiley, 1982.
- [5] Gallagher, K. H. *Finite Element Analysis Fundamentals*, Prentice-Hall, 1975.