

## INDICE

### AGRADECIMIENTOS

### RESUMEN

#### *CAPÍTULO 1*

### INTRODUCCIÓN ..... 1

#### *CAPÍTULO 2*

### PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS ..... 5

#### *CAPÍTULO 3*

### ESTADO DEL CONOCIMIENTO ..... 9

- 3.1.- Desarrollo histórico ..... 9
- 3.2.- Tecnología y realizaciones ..... 11
  - 3.2.1.- Perspectiva americana ..... 11
  - 3.2.2.- Perspectiva europea ..... 13
- 3.3.- Métodos de análisis ..... 15
  - 3.3.1.- Métodos aproximados ..... 16
  - 3.3.2.- Métodos exactos ..... 16
- 3.4.- Experimentación ..... 17
  - 3.4.1.- Construction Technology Laboratory (Dallas, USA) ..... 17
  - 3.4.2.- Laboratorio del C.E.B.T.P. en Saint-Rémy-lès-Chevreuse .18
  - 3.4.3.- Ferguson Structural Engineering Laboratory. The University of Texas at Austin. .... 19
- 3.5.- Normativa ..... 20

## CAPÍTULO 4

<b>MÉTODO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....</b>	<b>23</b>
4.1.- Introducción .....	23
4.2.- El método de los elementos finitos .....	23
4.2.1.- Modelización geométrica .....	24
4.2.2.- Principio de los Trabajos Virtuales .....	25
4.2.3.- Ecuación de equilibrio de un elemento .....	26
4.2.4.- Ecuación de equilibrio de un sólido .....	29
4.2.5.- Formulación de la no linealidad geométrica en el Método de los Elementos Finitos .....	30
4.2.6.- Técnica empleada en la resolución del sistema de ecuaciones no lineales .....	33
4.3.- Descripción del elemento viga de hormigón armado .....	35
4.3.1.- Geometría y campo de desplazamientos .....	36
4.3.2.- Discretización de la sección transversal e integración .....	38
4.3.3.- Obtención de la matriz de rigidez del elemento .....	41
4.3.4.- Modelización mecánica de los materiales .....	41
4.3.4.1.- Hormigón .....	42
4.3.4.2.- Acero pasivo .....	44
4.3.4.3.- Comportamiento a torsión del hormigón armado .....	45
4.3.4.4.- Fisuración del hormigón armado .....	45

## CAPÍTULO 5

<b>TRATAMIENTO DEL PRETENSADO EN LA FORMULACIÓN PROPUESTA.....</b>	<b>51</b>
5.1.- Introducción .....	51
5.2.- Discretización del tendón de pretensado en elementos finitos .....	52
5.3.- Fuerzas equivalentes de pretensado .....	54
5.3.1.- Valor de la fuerza de pretensado .....	54
5.3.1.1.- Pérdidas por rozamiento .....	55
5.3.1.2.- Pérdidas por penetración de cuñas .....	55
5.3.1.3.- Pérdidas por acortamiento elástico .....	57
5.3.2.- Obtención del vector de fuerzas equivalentes de pretensado .....	58
5.4.- Evaluación de las deformaciones y tensiones en los tendones de pretensado.....	59
5.4.1.- Tendones interiores adherentes .....	59
5.4.2.- Tendones exteriores no adherentes .....	61
5.4.3.- Evaluación de las tensiones .....	64

5.5.- Colaboración del pretensado a la rigidez global de la estructura .....	65
5.5.1.- Matriz de rigidez de los tendones adherentes .....	65
5.5.2.- Matriz de rigidez de los tendones no adherentes .....	67

## *CAPÍTULO 6*

### **MODELIZACIÓN DE LAS JUNTAS ENTRE DOVELAS PREFABRICADAS .....**

6.1.- Introducción .....	69
6.2.- Modelos de junta existentes .....	70
6.2.1.- Modelo propuesto por Muller .....	70
6.2.2.- Modelo propuesto por Kreger .....	72
6.2.3.- Modelo propuesto por Rezendre .....	73
6.3.- Modelos de junta estudiados .....	76
6.3.1.- Muelle rotacional .....	76
6.3.2.- Muelle rotacional con condensación estática .....	79
6.3.3.- Método de la rotación impuesta .....	81
6.3.4.- Método propuesto en este trabajo .....	84

## *CAPÍTULO 7*

### **VERIFICACIÓN DE LA FORMULACIÓN PROPUESTA .....**

7.1.- Introducción .....	91
7.2.- Estudio de puentes continuos de hormigón pretensado ...	93
7.3.- Estudio sobre columnas pretensadas .....	93
7.4.- Ensayos sobre vigas con pretensado exterior .....	96
7.4.1.- Comparación con la viga monolítica NM9 .....	97
7.4.2.- Comparación con la viga por dovelas NM2 .....	101
7.4.3.- Comparación con la viga por dovelas NM5 .....	107

## *CAPÍTULO 8*

### **EJEMPLOS DE APLICACIÓN .....**

8.1.- Introducción .....	113
8.2.- Ejemplo puente isostático .....	113
8.2.1.- Descripción del ejemplo .....	114
8.2.2.- Dimensionamiento del pretensado necesario .....	116

8.2.3.- Verificación del Estado Límite Último frente a solicitaciones normales .....	116
8.2.3.1.- Normativas europeas (BPEL, Model Code, etc.)	116
8.2.3.2.- Normativa A.A.S.H.T.O. ....	117
8.2.3.3.- Normativa A.C.I. ....	118
8.2.3.4.- Método aproximado .....	119
8.2.4.- Análisis no lineal .....	123
8.3.- Ejemplo puente continuo .....	134
8.3.1.- Descripción del puente .....	134
8.3.2.- Resultados obtenidos .....	139

## *CAPÍTULO 9*

### **CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN 157**

9.1.- Conclusiones .....	157
9.1.1.- Conclusiones referentes al MODELO DE ANÁLISIS ....	157
9.1.2.- Conclusiones referentes al COMPORTAMIENTO de tableros de puente con pretensado exterior .....	160
9.1.3.- Conclusiones globales referentes a la utilización del PRETENSADO EXTERIOR EN PUENTES .....	165
9.2.- Futuras líneas de investigación .....	167

## *ANEJO 1*

### **OBTENCIÓN DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE UN ELEMENTO DE HORMIGÓN ARMADO .....**

171

## *ANEJO 2*

### **MATRIZ DE RIGIDEZ DE UN SEGMENTO DE PRETENSADO 177**

## *ANEJO 3*

### **SOLUCIONES A LA ECUACIÓN ADHERENCIA - DESLIZAMIENTO ENTRE HORMIGÓN Y ACERO .....**

181

*ANEJO 4*

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 189**