

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

| | |
|--|-----------|
| MÉTODO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL | 23 |
| 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

| | |
|--|-----------|
| TRATAMIENTO DEL PRETENSADO EN LA FORMULACIÓN PROPUESTA..... | 51 |
| 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