

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

NOTACIÓN Y ABREVIATURAS

CAPITULO 1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

1.2. Objetivos

1.3. Contenido

CAPITULO 2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

2.1. Introducción

2.2. Sistemas y procesos de cimbrado para forjados de edificación hormigonados in situ

2.2.1. Apuntalamiento en un proceso de cimbrado y descimbrado

2.2.2. Apuntalamiento en un proceso de cimbrado, recimbrado y descimbrado

2.2.3. Apuntalamiento en un proceso de cimbrado, clareado y descimbrado

2.3. Transmisión de cargas durante la construcción

2.3.1. Modelos Teóricos

2.3.1.1. Método simplificado de Grundy y Kabaila (1963)

2.3.1.2. Método simplificado para recimbrado Taylor (1967)

2.3.1.3. Modelo de Liu et al. (1985, 1986)

2.3.1.4. Modelo EFM de Stivaros y Halvorsen (1990)

2.3.1.5. Modelo de Mosallam y Chen (1991)

2.3.1.6. Método simplificado de Modificado Mosallam y Chen (1991)

2.3.1.7. Modelo de Moragues et al. (1992, 1994, 1996)

2.3.1.8. Método Simplificado de Duan y Chen (1995)

2.3.1.9. Método simplificado de Fang et al. (2001)

2.3.1.10. Métodos propuestos por Beeby (2001)

2.3.1.11. Estudio realizado por Díaz (2008)

2.3.2. Estudios Experimentales

2.3.2.1. Medidas realizadas por Agarwal y Gardner (1974)

2.3.2.2. Medidas realizadas por Lasisi (1979)

2.3.2.3. Medidas realizadas por Moragues et al. (1992)

2.3.2.4. Medidas realizadas por Ambrose et al. (1994)

2.3.2.5. Medidas realizadas por Rosowsky et al. (1997)

2.3.2.6. Medidas realizadas por Beeby (2001)

2.3.2.7. Medidas realizadas por Fang et al. (2001)

2.3.2.8. Medidas realizadas por Puente et al. (2007)

2.4. Estimación del plazo de descimbrado

2.4.1. Condición de descimbrado

2.4.1.1. Método propuesto por Calavera (1981) y Fernández (1986)

2.4.1.2. Método propuesto por Marí (1995)

2.4.1.3. Método por comprobación de coeficientes de carga

2.4.2. Estimación del plazo de descimbrado

2.4.2.1. Método mediante el ensayo de probetas de hormigón.

2.4.2.2. Método de las curvas de referencia

2.4.2.3. Aplicación del método de la madurez al descimbrado de forjados de hormigón

2.4.2.4. Método de Díaz (2008)

2.4.3. Recomendaciones de la normativa para estimar los plazos de descimbrado

2.4.3.1. Instrucción de hormigón estructural (EHE)

2.4.3.2. Eurocódigo EC-2 (1992)

2.4.3.3. ACI 347 (American Concrete Institute, Guide to formwork for concrete) (2001)

2.4.3.4. Código modelo CEB-FIP 1990 (1995)

2.5. Conclusiones relativas al estado del arte

CAPITULO 3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO EXPERIMENTAL

3.1. Introducción

3.2. Descripción de la estructura

3.2.1. Materiales

3.2.2. Terreno de cimentación

3.2.3. Coeficientes de seguridad

3.2.4. Acciones

3.2.5. Cálculos estructurales

3.3. Estimación del plazo de operaciones de hormigonado, clareado y descimbrado

3.3.1. Datos de partida

3.3.2. Condición

- 3.3.3. Estimación de cargas método simplificado (Grundy y Kabaila, 1963)
- 3.3.4. Estimación de cargas coeficientes de Moragues et al. (1992, 1994)
- 3.4. Proceso constructivo
- 3.5. Descripción del sistema de cimbrado
 - 3.5.1. Puntales
 - 3.5.2. Sopandas principales
 - 3.5.3. Sopandas intermedias
 - 3.5.4. Basculantes
 - 3.5.5. Tableros de encofrado
 - 3.5.6. Portasopandas
- 3.6. Instrumentación
 - 3.6.1. Puntales
 - 3.6.1.1. Proceso de instrumentación
 - 3.6.1.2. Distribución de puntales instrumentados en las fases de construcción
 - 3.6.2. Temperatura
 - 3.6.3. Deformación de los forjados
 - 3.6.4. Sistemas de adquisición de datos
- 3.7. Plan de ensayos de laboratorio
 - 3.7.1. Ensayos previos a la ejecución del edificio
 - 3.7.2. Ensayos durante la construcción del edificio
- 3.8. Conclusiones relativas al planteamiento del modelo experimental

CAPITULO 4. RESULTADOS DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL

- 4.1. Introducción
- 4.2. Cargas instantáneas
 - 4.2.1. Hormigonado forjado 1
 - 4.2.2. Clareado forjado 1
 - 4.2.3. Hormigonado forjado 2
 - 4.2.4. Clareado del forjado 2
 - 4.2.5. Descimbrado forjado 1
 - 4.2.6. Hormigonado forjado 3
 - 4.2.7. Clareado forjado 3
 - 4.2.8. Carga en el forjado 3
 - 4.2.9. Descimbrado forjado 2
 - 4.2.10. Resumen medición instantánea

4.3. Cargas en medición continua

4.3.1. Hormigonado del forjado 1

4.3.2. Clareado del forjado 1

4.3.3. Hormigonado del forjado 2

4.3.4. Clareado del forjado 2

4.3.5. Descimbrado del forjado 1

4.3.6. Hormigonado del forjado 3

4.3.7. Clareado del forjado 3

4.3.8. Carga en el forjado 3

4.3.9. Descimbrado del forjado 2

4.3.10. Resumen medición continua

4.4. Conclusiones relativas a los resultados del estudio experimental

CAPITULO 5. ESTUDIO POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

5.1. Introducción

5.2. Hipótesis del modelo de EF

5.3. Descripción del modelo de EF

5.3.1. Tipos de EF y mallado empleado

5.3.2. Desarrollo del modelo

5.4. Verificación y análisis del modelo de EF

5.4.1. Paso de carga 1 (Hormigonado del forjado 1)

5.4.2. Paso de carga 2 (Clareado del forjado 1)

5.4.3. Paso de carga 3 (Hormigonado del forjado 2)

5.4.4. Paso de carga 4 (Clareado del forjado 2)

5.4.5. Paso de carga 5 (Descimbrado del forjado 1)

5.4.6. Paso de carga 6 (Hormigonado del forjado 3)

5.4.7. Paso de carga 7 (Clareado del forjado 3)

5.4.8. Paso de carga 8 (Carga en el forjado 3)

5.4.9. Paso de carga 9 (Descimbrado del forjado 2)

5.4.10. Resumen de la verificación del modelo de EF

5.5. Comparación del proceso de CCD con un proceso de CD

5.5.1. Paso de carga 1 (Hormigonado del forjado 1)

5.5.2. Paso de carga 2 (Hormigonado del forjado 2)

5.5.3. Paso de carga 3 (Descimbrado del forjado 1)

- 5.5.4. Paso de carga (Hormigonado del forjado 3)
- 5.5.5. Paso de carga 5 (Carga en el forjado 3)
- 5.5.6. Paso de carga 6 (Descimbrado del forjado 2)
- 5.5.7. Resumen de la comparación entre el proceso de CD, y el proceso de CCD.
- 5.6. Comparación del proceso de CCD con un proceso de CRD
 - 5.6.1. Paso de carga 1 (Hormigonado del forjado 1)
 - 5.6.2. Paso de carga 2 (Recimbrado del forjado 1)
 - 5.6.3. Paso de carga 3 (Hormigonado del forjado 2)
 - 5.6.4. Paso de carga 4 (Recimbrado del forjado 2)
 - 5.6.5. Paso de carga 5 (Descimbrado del forjado 1)
 - 5.6.6. Paso de carga 6 (Hormigonado del forjado 3)
 - 5.6.7. Paso de carga 7 (Recimbrado del forjado 3)
 - 5.6.8. Paso de carga 8 (Carga en el forjado 3)
 - 5.6.9. Paso de carga 9 (Descimbrado del forjado 2)
 - 5.6.10. Resumen de la comparación entre el proceso de CRD y el proceso de CCD
- 5.7. Conclusiones relativas al estudio por el método de los EF

CAPITULO 6. COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y LAS ESTIMACIONES DE MODELOS TEÓRICOS

- 6.1. Introducción
- 6.2. Métodos teóricos analizados
 - 6.2.1. Método simplificado de Duan y Chen (1995)
 - 6.2.2. Método simplificado de Fang et al. (2001)
 - 6.2.3. Método simplificado de Beeby (2001)
 - 6.2.4. Resumen de la aplicación de métodos teóricos simplificados
- 6.3. Comparación de los resultados obtenidos
 - 6.3.1. Método simplificado de Duan y Chen (1995)
 - 6.3.2. Método simplificado de Fang et al. (2001)
 - 6.3.3. Método simplificado de Beeby (2001)
- 6.4. Conclusiones relativas a la comparación entre los resultados obtenidos y las estimaciones de modelos teóricos

CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE NUEVAS INVESTIGACIONES

- 7.1. Conclusiones
- 7.2. Aportación original de la Tesis Doctoral
- 7.3. Propuesta de nuevas investigaciones

REFERENCIAS

APÉNDICES

Apéndice I. Planos del modelo experimental

Apéndice II. Reportaje fotográfico del estudio experimental

Apéndice III. Deformaciones en los forjados durante la construcción del modelo experimental

Apéndice IV. Resultados de los ensayos del hormigón de los forjados

Apéndice V. Aplicación de la técnica de la madurez para predecir la evolución del módulo de elasticidad de cada uno de los forjados

INDICE DE FIGURAS

- Fig. 2.1 Sistema de losas (ALSINA 2009)
- Fig. 2.2 Sistema para reticulares (ALSINA 2009)
- Fig. 2.3 Sistema de puntales con arriostramiento lateral (ALSINA 2009)
- Fig. 2.4 Sistema de mesas
- Fig. 2.5 Proceso de cimbrado y descimbrado
- Fig. 2.6 Proceso de cimbrado, recimbrado, descimbrado
- Fig. 2.7 Proceso de cimbrado, clareado y descimbrado
- Fig. 2.8 Mecanismo para realizar el clareado (ALSINA 2009)
- Fig. 2.9 Operaciones de cimbrado y descimbrado $n=3$
- Fig. 2.10 Coeficientes de carga para puntales y forjados $n=2$
- Fig. 2.11 Coeficientes de carga para puntales y forjados $n=3$
- Fig. 2.12 Coeficientes de carga para puntales y forjados considerando la variación del módulo de elasticidad $n=3$
- Fig. 2.13 Coeficientes de carga para puntales y forjados $n=2$ (Recimbrado)
- Fig. 2.14 Modelo estructural Modelo de Liu et al. (1985)
- Fig. 2.15 Influencia de la rigidez de la cimentación
- Fig. 2.16 Resultados del modelo EMF comparado con distintos modelos numéricos
- Fig. 2.17 Coeficientes de carga máximos para un forjado recimbrado
- Fig. 2.18 Coeficientes de carga máximos para dos forjados recimbrados
- Fig. 2.19 Historial de cargas para los primeros tres forjados (a) Caso “A” (b) Caso “B”
- Fig. 2.20 Comparación de resultados entre el método simplificado de Grundy y Kabaila (1963) y el modelo de Mosallam et al. (1991)
- Fig. 2.21 Coeficientes de carga modelo Moragues et al. (1996) para dos plantas cimbradas
- Fig. 2.22 Coeficientes de carga modelo Moragues et al. (1996) para tres plantas cimbradas
- Fig. 2.23 Operaciones de (a) Hormigonado del último forjado (b) Descimbrado del primer forjado
- Fig. 2.24 Sistema de puntales para dos niveles de cimbrado
- Fig. 2.25 Evolución de cargas en puntales medida por Fang et al.
- Fig. 2.26 Evolución de carga en puntales medida por Puente et al. (2007)
- Fig. 2.27 Evolución de la resistencia a tracción, en función de la resistencia a tracción a 28 días (Cemento P-450 ARI)
- Fig. 2.28 Evolución de la resistencia a tracción, en función de la resistencia a tracción a 28 días (Cemento P-350)
- Fig. 2.29 Evolución de la resistencia a tracción, en función de la resistencia a tracción a 28 días (Cemento PA-350 Adición escoria)
- Fig. 2.30 Evolución de la resistencia a tracción, en función de la resistencia a tracción a 28 días (Cemento PA-350 Adición puzolana)
- Fig. 2.31 Relación de β con respecto a la relación entre $f_{ck,j}/f_{ck,28}$

- Fig. 2.32 Curvas para determinar el plazo de descimbrado (Hormigón de 25 MPa. y cemento de endurecimiento rápido $s= 0.20$)
- Fig. 2.33 Curvas para determinar el plazo de descimbrado (Hormigón de 25 MPa., y cemento de endurecimiento normal $s= 0.25$)
- Fig. 2.34 Curvas para determinar el plazo de descimbrado (Hormigón de 25 MPa., y cemento de endurecimiento lento $s= 0.38$)
- Fig. 2.35 Curva para estimar el plazo de descimbrado en función de la evolución de la resistencia a tracción Díaz (2008)
- Fig. 3.1 Vista 3D del edificio proyectado
- Fig. 3.2 Curva para determinar el plazo de descimbrado (Hormigón de 25 MPa., y cemento de endurecimiento normal $s = 0.25$)
- Fig. 3.3 Proceso constructivo día “0”
- Fig. 3.4 Proceso constructivo día “3”
- Fig. 3.5 Proceso constructivo día “7”
- Fig. 3.6 Proceso constructivo día “8”
- Fig. 3.7 Proceso constructivo día “14”
- Fig. 3.8 Proceso constructivo día “17”
- Fig. 3.9 Proceso constructivo día “20”
- Fig. 3.10 Proceso constructivo día “24”
- Fig. 3.11 Proceso constructivo día “25”
- Fig. 3.12 Puntal empleado en el estudio experimental
- Fig. 3.13 Descripción de las sopandas principales
- Fig. 3.14 Extracción del basculante de las sopandas principales
- Fig. 3.15 Distribución de sopandas principales y secundarias en los forjados
- Fig. 3.16 Proceso de pulido de puntales (a) Pulido de la superficie del puntal para el pegado de las galgas (b) Superficie del puntal una vez pulido
- Fig. 3.17 Replanteo de bandas extensométricas (a) Posicionamiento de plantilla para el replanteo (b) Marcado de la superficie del puntal
- Fig. 3.18 Pegado de bandas extensométricas (a) Banda extensométrica suministrada por HBM (b) Galga pegada en la superficie del puntal
- Fig. 3.19 Protección de bandas extensométricas (a) Aplicación del esmalte de poliuretano (b) Armaflex sometido a presión de agua
- Fig. 3.20 Conexión de bandas extensométricas (a) Conector para tres bandas extensométricas (b) Cables prolongadores de las bandas extensométricas al sistema de adquisición de datos
- Fig. 3.21 Distribución de puntales instrumentados forjado 1 (a) Hormigonado (b) Clareado
- Fig. 3.22 Distribución de puntales instrumentados forjado 2 (a) Hormigonado (b) Clareado
- Fig. 3.23 Distribución de puntales instrumentados forjado 3 (a) Hormigonado (b) Clareado
- Fig. 3.24 Termopar tipo J (a) Termopar con conector tipo J (b) Termopar embebido en el hormigón
- Fig. 3.25 Distribución de termopares en los forjados

- Fig. 3.26 Deformación de los forjados (a) LVDT instalado en la pértiga (b) Pértiga instalada entre los forjados 1 y 2
- Fig. 3.27 Distribución de los LVDTs en los forjados
- Fig. 3.28 Módulos de adquisición de datos (a) Módulo de red FP-1601 (b) Trenes de módulos de adquisición de datos con cables prolongadores a los instrumentos de medición
- Fig. 3.29 Sistema adquisición y almacenamiento de datos (a) Disposición de los equipos en la caseta (b) Lectura en tiempo real del hormigonado del primer forjado
- Fig. 3.30 Marco metálico y puntal listo para ser ensayado
- Fig. 3.31 Ensayo puntal 1 (a) Rotura del pasador del puntal (b) Diagrama fuerza acortamiento
- Fig. 3.32 Ensayo puntal 2 (a) Rotura del pasador del puntal (b) Diagrama fuerza acortamiento
- Fig. 3.33 Ensayo puntal 3 (a) Rotura del pasador del puntal (b) Diagrama fuerza acortamiento
- Fig. 4.1 Resultados medición instantánea. Hormigonado del forjado 1
- Fig. 4.2 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 1. Hormigonado del forjado 1 (kN)
- Fig. 4.3 Resultados medición instantánea. Clareado del forjado 1
- Fig. 4.4 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 1. Clareado del forjado 1 (kN)
- Fig. 4.5 Resultados medición instantánea. Hormigonado del forjado 2
- Fig. 4.6 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 1. Hormigonado del forjado 2 (kN)
- Fig. 4.7 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 2. Hormigonado del forjado 2 (kN)
- Fig. 4.8 Resultados medición instantánea. Clareado del forjado 2
- Fig. 4.9 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 1. Clareado del forjado 2 (kN)
- Fig. 4.10 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 2. Clareado del forjado 2 (kN)
- Fig. 4.11 Resultados medición instantánea. Descimbrado del forjado 1
- Fig. 4.12 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 2. Descimbrado forjado 1 (kN)
- Fig. 4.13 Resultados medición instantánea. Hormigonado del forjado 3
- Fig. 4.14 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 2. Hormigonado del forjado 3 (kN)
- Fig. 4.15 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 3. Hormigonado del forjado 3 (kN)
- Fig. 4.16 Resultados medición instantánea. Clareado del forjado 3
- Fig. 4.17 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 2. Clareado del forjado 3 (kN)
- Fig. 4.18 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 3. Clareado del forjado 3 (kN)
- Fig. 4.19 Resultados medición instantánea. Carga en el forjado 3 (Carga de 3.70 kN/m^2)
- Fig. 4.20 Resultados medición instantánea. Carga en el forjado 3 (Carga de 5.64 kN/m^2)
- Fig. 4.21 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 2. Carga en el forjado 3 (kN)
- Fig. 4.22 Isolíneas de carga en puntales bajo el forjado 3. Carga en el forjado 3 (kN)
- Fig. 4.23 Resultados medición instantánea. Carga en el forjado 3
- Fig. 4.24 Isolíneas de carga en puntales Forjado 3. Descimbrado forjado 2 (kN)
- Fig. 4.25 Coeficientes de carga media en el forjado 1
- Fig. 4.26 Coeficientes de carga media en puntales bajo el forjado 1
- Fig. 4.27 Coeficientes de carga media en el forjado 2
- Fig. 4.28 Coeficientes de carga media en puntales bajo el forjado 2
- Fig. 4.29 Coeficientes de carga media en el forjado 3
- Fig. 4.30 Coeficientes de carga media en puntales bajo el forjado 3

- Fig. 4.31 Resultados medición continua. Hormigonado del forjado 1
- Fig. 4.32 Resultados medición continua. Entre el hormigonado y antes del clareado del forjado 1
- Fig. 4.33 (a) Coeficiente de carga media en puntales entre el hormigonado y antes del clareado del forjado 1. (b) Carga en puntales más cargados entre el hormigonado y antes del clareado del forjado 1
- Fig. 4.34 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 1. (a) Hormigonado del forjado 1. (b) Antes del clareado del forjado 1 (kN)
- Fig. 4.35 Resultados medición continua. Clareado del forjado 1
- Fig. 4.36 Resultados medición continua. Entre el hormigonado y antes del hormigonado del forjado 2
- Fig. 4.37 (a) Coeficiente de carga media en puntales del forjado 1 antes del hormigonado del forjado 2. (b) Carga en el puntal 48 antes del hormigonado del forjado 2
- Fig. 4.38 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 1. (a) Clareado del forjado 1. (b) Antes del hormigonado del forjado 2 (kN)
- Fig. 4.39 Resultados medición continua. Hormigonado del forjado 2
- Fig. 4.40 Resultados medición continua. Entre el hormigonado y antes del clareado del forjado 2
- Fig. 4.41 Coeficiente de carga media en puntales del forjado 1 antes del clareado del forjado 2
- Fig. 4.42 Carga en el puntal 45 antes del Clareado del forjado 2
- Fig. 4.43 (a) Coeficiente de carga media en puntales del forjado 2 antes del clareado del forjado 2. (b) Carga en el puntal 18 antes del clareado del forjado 2
- Fig. 4.44 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 1. (a) Hormigonado del forjado 2. (b) Antes del clareado del forjado 2 (kN)
- Fig. 4.45 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 2. (a) Hormigonado del forjado 2. (b) Antes del clareado del forjado 2 (kN)
- Fig. 4.46 Resultados medición continua. Clareado del forjado 2
- Fig. 4.47 Resultados medición continua. Entre el clareado del forjado 2 y antes del descimbrado del forjado 1
- Fig. 4.48 Coeficiente de carga media en puntales del forjado 1 antes del descimbrado del forjado 1
- Fig. 4.49 Carga en el puntal 45 antes del descimbrado del forjado 1
- Fig. 4.50 (a) Coeficiente de carga media en puntales del forjado 2 antes del descimbrado del forjado 1. (b) Carga en el puntal 35 antes del descimbrado del forjado 1
- Fig. 4.51 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 1. (a) Clareado del forjado 2. (b) Antes del descimbrado del forjado 1 (kN)
- Fig. 4.52 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 2. (a) Clareado del forjado 2. (b) Antes del descimbrado del forjado 2 (kN)
- Fig. 4.53 Resultados medición continua. Descimbrado del forjado 1
- Fig. 4.54 Resultados medición continua. Entre el descimbrado del forjado 1 y antes del hormigonado del forjado 3
- Fig. 4.55 (a) Coeficiente de carga media en puntales del forjado 2 antes del hormigonado del forjado 3. (b) Carga en el puntal 35 antes del hormigonado del forjado 3

- Fig. 4.56 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 2. (a) Descimbrado del forjado 1. (b) Antes del hormigonado del forjado 3 (kN)
- Fig. 4.57 Resultados medición continua. Hormigonado del forjado 3
- Fig. 4.58 Resultados medición continua. Entre el hormigonado del forjado 3 y antes del clareado del forjado 3
- Fig. 4.59 Coeficiente de carga media en puntales del forjado 2 antes del clareado del forjado 3
- Fig. 4.60 Carga en el puntal 35 antes del clareado del forjado 3
- Fig. 4.61 (a) Coeficiente de carga media en puntales del forjado 3 antes del clareado del forjado 3. (b) Carga en el puntal 18 antes del clareado del forjado 3
- Fig. 4.62 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 2. (a) Hormigonado del forjado 3. (b) Antes del clareado del forjado 3 (kN)
- Fig. 4.63 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 3. (a) Hormigonado del forjado 3. (b) Antes del clareado del forjado 3 (kN)
- Fig. 4.64 Resultados medición continua. Clareado del forjado 3
- Fig. 4.65 Resultados medición continua. Entre el clareado del forjado 3 y antes la carga en el forjado 3
- Fig. 4.66 Coeficiente de carga media en puntales del forjado 2 antes de la carga en el forjado 3
- Fig. 4.67 Carga en el puntal 35 antes de la carga en el forjado 3
- Fig. 4.68 (a) Coeficiente de carga media en puntales del forjado 3 antes de la carga en el forjado 3. (b) Carga en el puntal 28 antes de la carga en el forjado 3
- Fig. 4.69 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 2. (a) Clareado del forjado 3. (b) Antes de la carga en el forjado 3 (kN)
- Fig. 4.70 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 3. (a) Clareado del forjado 3. (b) Antes de la carga en el forjado 3 (kN)
- Fig. 4.71 Resultados medición continua. Carga en el forjado 3
- Fig. 4.72 Resultados medición continua. Entre la carga del forjado 3 y antes del descimbrado del forjado 2
- Fig. 4.73 Coeficiente de carga media en puntales del forjado 2 antes del descimbrado del forjado 2
- Fig. 4.74 Carga en el puntal 35 antes del descimbrado del forjado 2
- Fig. 4.75 Coeficiente de carga media en puntales del forjado 3 antes del descimbrado del forjado 2
- Fig. 4.76 Carga en el puntal 28 antes del descimbrado del forjado 2
- Fig. 4.77 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 2. (a) Carga en el forjado 3. (b) Antes del descimbrado del forjado 2 (kN)
- Fig. 4.78 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 3. (a) Carga en el forjado 3. (b) Antes del descimbrado del forjado 2 (kN)
- Fig. 4.79 Resultados medición continua. Descimbrado del forjado 2
- Fig. 4.80 Coeficiente de carga media en puntales del forjado 3 hasta el final de las operaciones constructivas
- Fig. 4.81 Carga en el puntal 28 hasta el final de las operaciones constructivas
- Fig. 4.82 Resultados medición continua isolíneas de carga en puntales del forjado 3. Descimbrado forjado 2
- Fig. 5.1 Elemento SHELL63 (ANSYS 11.0 2007)

- Fig. 5.2 Elemento LINK10 (ANSYS 11.0 2007)
- Fig. 5.3 Elemento BEAM44 (ANSYS 11.0 2007)
- Fig. 5.4 Vista tridimensional del modelo de EF
- Fig. 5.5 Hormigonado del forjado 1
- Fig. 5.6 Clareado del forjado 1
- Fig. 5.7 Hormigonado del forjado 2
- Fig. 5.8 Clareado del forjado 2
- Fig. 5.9 Descimbrado del forjado 1
- Fig. 5.10 Hormigonado del forjado 3
- Fig. 5.11 Clareado del forjado 3
- Fig. 5.12 Clareado del forjado 3
- Fig. 5.13 Clareado del forjado 3
- Fig. 5.14 Resultados del modelo numérico. Paso de carga 1 (Hormigonado del forjado 1)
- Fig. 5.15 Distribución de cargas en puntales del forjado 1. Hormigonado del forjado 1. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.16 Resultados del modelo numérico. Paso de carga 2 (Clareado del forjado 1)
- Fig. 5.17 Distribución de cargas en puntales del forjado 1. Clareado del forjado 1. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.18 Resultados del modelo numérico. Paso de carga 3 (Hormigonado del forjado 2)
- Fig. 5.19 Distribución de cargas en puntales del forjado 1. Hormigonado del forjado 2. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.20 Distribución de cargas en puntales del forjado 2. Hormigonado del forjado 2. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.21 Resultados del modelo numérico. Paso de carga 4 (Clareado del forjado 2)
- Fig. 5.22 Distribución de cargas en puntales del forjado 1. Clareado del forjado 2. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.23 Distribución de cargas en puntales del forjado 2. Clareado del forjado 2. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.24 Resultados del modelo numérico. Paso de carga 5 (Descimbrado del forjado 1)
- Fig. 5.25 Distribución de cargas en puntales del forjado 2. Descimbrado del forjado 1. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.26 Resultados del modelo numérico. Paso de carga 6 (Hormigonado del forjado 3)
- Fig. 5.27 Distribución de cargas en puntales del forjado 2. Hormigonado del forjado 3. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.28 Distribución de cargas en puntales del forjado 3. Hormigonado del forjado 3. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.29 Resultados del modelo numérico. Paso de carga 7 (Clareado del forjado 3)
- Fig. 5.30 Distribución de cargas en puntales del forjado 2. Clareado del forjado 3. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)

- Fig. 5.31 Distribución de cargas en puntales del forjado 3. Clareado del forjado 3. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.32 Resultados del modelo numérico. Paso de carga 8 (Carga en el forjado 3)
- Fig. 5.33 Distribución de cargas en puntales del forjado 2. Carga en el forjado 3. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.34 Distribución de cargas en puntales del forjado 3. Carga en el forjado 3. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.35 Resultados del modelo numérico. Paso de carga 9 (Descimbrado del forjado 2)
- Fig. 5.36 Distribución de cargas en puntales del forjado 3. Descimbrado del forjado 2. (a) Cargas medidas experimentalmente. (b) Cargas del modelo de EF (kN)
- Fig. 5.37 Pasos de carga del modelo de EF para el proceso de CD
- Fig. 5.38 Resultados del proceso de CD, y del proceso de CCD. Paso de carga 1 (Hormigonado del forjado 1)
- Fig. 5.39 Distribución de cargas en puntales del forjado 1 Hormigonado del forjado 1. Proceso de CD, y proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.40 Resultados del proceso de CD. Paso de carga 2 (Hormigonado del forjado 2)
- Fig. 5.41 Resultados del proceso de CCD. Paso de carga 3 (Hormigonado del forjado 2)
- Fig. 5.42 Distribución de cargas en puntales del forjado 1 Hormigonado del forjado 2. (a) Proceso de CD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.43 Distribución de cargas en puntales del forjado 2 Hormigonado del forjado 2. (a) Proceso de CD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.44 Resultados del proceso de CD. Paso de carga 3 (Descimbrado del forjado 1)
- Fig. 5.45 Resultados del proceso de CCD. Paso de carga 5 (Descimbrado del forjado 1)
- Fig. 5.46 Distribución de cargas en puntales del forjado 2 Descimbrado del forjado 1. (a) Proceso de CD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.47 Resultados del proceso de CD. Paso de carga 4 (Hormigonado del forjado 3)
- Fig. 5.48 Resultados del proceso de CCD. Paso de carga 6 (Hormigonado del forjado 3)
- Fig. 5.49 Distribución de cargas en puntales del forjado 2 Hormigonado del forjado 3. (a) Proceso de CD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.50 Distribución de cargas en puntales del forjado 3. Hormigonado del forjado 3. (a) Proceso de CD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.51 Resultados del proceso de CD. Paso de carga 5 (Carga en el forjado 3)
- Fig. 5.52 Resultados del proceso de CCD. Paso de carga 8 (Carga en el forjado 3)
- Fig. 5.53 Distribución de cargas en puntales del forjado 2. Carga en el forjado 3. (a) Proceso de CD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.54 Distribución de cargas en puntales del forjado 3. Carga en el forjado 3. (a) Proceso de CD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.55 Resultados del proceso de CD. Paso de carga 6 (Descimbrado del forjado 2)
- Fig. 5.56 Resultados del proceso de CCD. Paso de carga 9 (Descimbrado del forjado 2)
- Fig. 5.57 Distribución de cargas en puntales del forjado 3 Descimbrado del forjado 2. (a) Proceso de CD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.58 Coeficientes de carga media del forjado 1

- Fig. 5.59 Coeficientes de carga en puntales bajo el forjado 1
- Fig. 5.60 Coeficientes de carga media del forjado 2
- Fig. 5.61 Coeficientes de carga en puntales bajo el forjado 2
- Fig. 5.62 Coeficientes de carga media del forjado 3
- Fig. 5.63 Coeficientes de carga en puntales bajo el forjado 3
- Fig. 5.64 Pasos de carga del modelo de EF para el proceso de CRD
- Fig. 5.65 Resultados proceso de CRD, y proceso de CCD. Paso de carga 1 (Hormigonado del forjado 1)
- Fig. 5.66 Distribución de cargas en puntales del forjado 1 Hormigonado del forjado 1. Proceso de CRD y proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.67 Resultados proceso de CRD. Paso de carga 2 (Recimbrado del forjado 1)
- Fig. 5.68 Resultados proceso de CCD. Paso de carga 2 (Clareado del forjado 1)
- Fig. 5.69 Resultados del proceso de CRD. Paso de carga 3 (Hormigonado del forjado 2)
- Fig. 5.70 Resultados del proceso de CCD. Paso de carga 3 (Hormigonado del forjado 2)
- Fig. 5.71 Distribución de cargas en puntales del forjado 1 Hormigonado del forjado 2. (a) Proceso de CRD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.72 Distribución de cargas en puntales del forjado 2 Hormigonado del forjado 2. (a) Proceso de CRD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.73 Resultados del proceso de CRD. Paso de carga 4 (Recimbrado del forjado 2)
- Fig. 5.74 Resultados del proceso de CCD. Paso de carga 4 (Clareado del forjado 2)
- Fig. 5.75 Resultados del proceso de CRD. Paso de carga 5 (Descimbrado del forjado 1)
- Fig. 5.76 Resultados del proceso de CCD. Paso de carga 5 (Descimbrado del forjado 1)
- Fig. 5.77 Resultados del proceso de CRD. Paso de carga 6 (Hormigonado del forjado 3)
- Fig. 5.78 Resultados del proceso de CCD. Paso de carga 6 (Hormigonado del forjado 3)
- Fig. 5.79 Distribución de cargas en puntales del forjado 2. Hormigonado del forjado 3. (a) Proceso de CRD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.80 Distribución de cargas en puntales del forjado 3. Hormigonado del forjado 3. (a) Proceso de CRD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.81 Resultados del proceso de CRD. Paso de carga 7 (Recimbrado del forjado 3)
- Fig. 5.82 Resultados del proceso de CCD. Paso de carga 7 (Clareado del forjado 3)
- Fig. 5.83 Resultados del proceso de CRD. Paso de carga 8 (Carga en el forjado 3)
- Fig. 5.84 Resultados del proceso de CCD. Paso de carga 8 (Carga en el forjado 3)
- Fig. 5.85 Distribución de cargas en puntales del forjado 2. Carga en el forjado 3. (a) Proceso de CRD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.86 Distribución de cargas en puntales del forjado 3. Carga en el forjado 3. (a) Proceso de CRD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.87 Resultados del proceso de CRD. Paso de carga 9 (Descimbrado del forjado 2)
- Fig. 5.88 Resultados del proceso de CCD. Paso de carga 9 (Descimbrado del forjado 2)

- Fig. 5.89 Distribución de cargas en puntales del forjado 3. Descimbrado del forjado 2. (a) Proceso de CRD (b) Proceso de CCD (kN)
- Fig. 5.90 Coeficientes de carga media del forjado 1
- Fig. 5.91 Coeficientes de carga en puntales bajo el forjado 1
- Fig. 5.92 Coeficientes de carga media del forjado 2
- Fig. 5.93 Coeficientes de carga en puntales bajo el forjado 2
- Fig. 5.94 Coeficientes de carga media del forjado 3
- Fig. 5.95 Coeficientes de carga en puntales bajo el forjado 3
- Fig. 6.1 Coeficientes de carga método simplificado de Duan y Chen (1995)
- Fig. 6.2 Coeficientes de carga método simplificado de Fang et al. (1995)
- Fig. 6.3 Coeficientes de carga método simplificado de Beeby (2001)

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Coefficientes máximos en puntales modelos Liu, Chen y Bowman (1985)
Tabla 2.2	Comparación entre los modelos de Grundy y Kabaila (1963) y los modelos de Mosallam y Chen (1991) para el caso de tres plantas cimbradas
Tabla 2.3	Comparación entre los modelos de Grundy y Kabaila (1963) y los modelos de Mosallam y Chen (1991) para el caso de dos plantas cimbradas y una recimbrada
Tabla 2.4	Coefficientes máximos de carga en forjados
Tabla 2.5	Coefficientes máximos de carga en puntales (Cimentación)
Tabla 2.6	Coefficientes máximos de carga en puntales (Casos Restantes)
Tabla 2.7	Comparación entre los métodos simplificados de Grundy y Kabaila y de Duan y Chen para el caso de dos forjados cimbrados y uno recimbrado.
Tabla 2.8	Comparación de coeficientes de carga en forjados por diferentes modelos y el modelo de Fang et al. para el caso de dos forjados cimbrados y uno recimbrado
Tabla 2.9	Porcentaje de distribución de cargas durante el proceso constructivo
Tabla 2.10	Comparación entre los coeficientes de carga en vigas (vano central), durante el proceso constructivo para puntales con rigidez finita e infinita Díaz (2008)
Tabla 2.11	Coefficientes máximos de carga en forjados
Tabla 2.12	Coefficientes máximos de carga en puntales (Cimentación)
Tabla 2.13	Coefficientes máximos de carga en puntales (casos restantes)
Tabla 2.14	Distribución de cargas en puntales y forjados (Hormigonado forjado 2)
Tabla 2.15	Distribución de cargas en puntales y forjados (Descimbrado forjado 1 y forjado 2)
Tabla 2.16	Distribución de cargas en puntales y forjados (Montaje cimbra y acero forjado 3)
Tabla 2.17	Distribución de cargas en puntales y forjados (Recimbrado forjado 2)
Tabla 2.18	Distribución de cargas en puntales y forjados (Hormigonado forjado 3)
Tabla 2.19	Distribución de cargas en puntales y forjados (Descimbrado forjados 3 y 2):
Tabla 2.20	Coefficientes de carga en puntales y forjados medidos por Fang et al. (2001)
Tabla 2.21	Comparación entre las medidas experimentales de Puente et al. con diferentes métodos de estimación de cargas
Tabla 2.22	Relación de resistencias en función de la resistencia a compresión del hormigón (Considerando la relación pésima, que se obtiene para el hormigón de menor resistencia para edificación según la EHE, $f_{ck} = 25$ MPa.)
Tabla 2.23	Criterios para establecer plazos de descimbrado propuestos por Mari
Tabla 2.24	Relación $f_{ckt}(f_{ck})$ para diversos tipos de cementos
Tabla 2.25	Periodos mínimos de desencofrado y descimbrado de elementos de hormigón armado según la EHE.
Tabla 2.26	Periodos mínimos de descimbrado, recomendados por el Código modelo
Tabla 3.1	Coefficientes parciales de seguridad de los materiales

Tabla 3.2	Cargas estimadas aplicando el método simplificado
Tabla 3.3	Cargas estimadas aplicando coeficientes de Moragues et al. (1996)
Tabla 3.4	Características geométricas del puntal empleado en el estudio experimental
Tabla 3.5	Resistencia del puntal según la atura de uso
Tabla 3.6	Características de las bandas extensométricas
Tabla 3.7	Plan de ensayos de laboratorio losa de cimentación
Tabla 3.8	Plan de ensayos de laboratorio primer forjado
Tabla 3.9	Plan de ensayos de laboratorio segundo forjado
Tabla 3.10	Plan de ensayos de laboratorio tercer forjado
Tabla 4.1	Resumen medición instantánea
Tabla 4.2	Resumen medición continua
Tabla 4.3	Variación de carga respecto a la variación máxima de temperatura entre dos operaciones constructivas en los puntales de los forjados 1, 2 y 3
Tabla 5.1	Características geométricas y mecánicas de los puntales considerados en el modelo
Tabla 5.2	Características geométricas y mecánicas de los tableros de encofrado considerados en el modelo
Tabla 5.3	Características geométricas y mecánicas de las sopandas consideradas en el modelo
Tabla 5.4	Comparación entre las medidas experimentales y los resultados del modelo numérico
Tabla 6.1	Parámetros del forjado para el método simplificado de Duan y Chen (1995)
Tabla 6.2	Parámetros de los puntales para el método simplificado de Duan y Chen (1995)
Tabla 6.3	Parámetros del forjado para el método simplificado de Fang et al. (2001)
Tabla 6.4	Parámetros de los puntales para el método simplificado de Fang et al. (2001)
Tabla 6.5	Parámetros del forjado para el método simplificado de Beeby (2001)
Tabla 6.6	Parámetros de los puntales para el método simplificado de Beeby (2001)
Tabla 6.7	Coefficientes de carga media y máxima en puntales obtenidos a partir de los métodos simplificados
Tabla 6.8	Coefficientes de carga en forjados obtenidos a partir de los métodos simplificados
Tabla 6.9	Comparación de coeficientes de carga media entre el método simplificado de Duan y Chen con las medidas experimentales y con los resultados del modelo de EF
Tabla 6.10	Comparación de coeficientes de carga media entre el método simplificado de Fang et al. con las medidas experimentales y con los resultados del modelo de EF
Tabla 6.11	Comparación de coeficientes de carga media entre el método simplificado de Beeby con las medidas experimentales y con los resultados del modelo de EF

