

Capítulo 7

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

7.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan ejemplos de aplicación del modelo desarrollado e implementado.

En los ejemplos seleccionados se pretende mostrar primordialmente las aplicaciones y posibilidades del modelo más que el hecho de llegar a conclusiones determinadas, que requerirían un estudio más amplio y sistemático que se escapa del planteamiento del capítulo. No obstante, con objeto de situar los resultados que se presentan se ha estimado oportuno hacer comparaciones variando parámetros o confrontándolos con otros métodos. Aun cuando los ejemplos seleccionados corresponden a obras de edificación, es evidente que el uso del modelo no queda circunscrito a estas tipologías estructurales.

El primer ejemplo corresponde al análisis en el tiempo de un forjado constituido por una prelosa pretensada prefabricada y una capa superior de hormigón vertido en obra. Se trata de un caso con construcción evolutiva a nivel seccional, con acero activo y hormigones de distintas propiedades. Se muestran gráficos de la flecha, de tensiones y de deformaciones, así como de la influencia de las propiedades reológicas de los materiales.

El segundo ejemplo corresponde a un pórtico de hormigón armado de cinco vanos y cinco plantas. Siendo el pórtico simétrico, no se ha contemplado ninguna simplificación debida a esta propiedad en su resolución con objeto de mostrar la capacidad de resolución de estructuras de un cierto número de nudos y barras. Se muestra la aptitud para simular procesos constructivos teniendo en cuenta operaciones de cimbrado, descimbrado, hormigones con distintas edades y evolución seccional y estructural.

7.2. EJEMPLO 1:FORJADO CON PRELOSA DE HORMIGÓN PRETENSADO

7.2.1. Características generales

Se analiza el comportamiento en el tiempo de un forjado constituido por una prelosa prefabricada de hormigón pretensado que se completa con una capa de hormigón vertido en obra. Se trata de un sistema constructivo que se ha utilizado preferentemente en construcciones industriales o aparcamientos, aunque su uso puede ser general. Las prelosas suelen tener de 5 a 10 cm de espesor y un ancho de unos 2.5 m, incorporando los conectores cuando se requieran. El sistema permite la eliminación de encofrados y el acabado de los elementos puede ser apto para quedar visto.

En el ejemplo presentado se dimensiona un forjado unidireccional simplemente apoyado, con una luz de 5 m y previsto para uso industrial, utilizando para ello las fichas de características técnicas facilitadas por el fabricante.

Se obtiene un elemento en el que debe tenerse en cuenta el efecto del pretensado y la presencia de dos hormigones con edades y características distintas. Se aplica una determinada historia de cargas, considerando el proceso constructivo y la entrada en servicio de la estructura, analizándose el comportamiento tensodeformacional en el tiempo.

7.2.2. Características seccionales y cargas aplicadas

De acuerdo con el esquema de cargas mostrado en la Tabla 7.1, considerando una situación de servicio en la que no se sobrepase el estado de descompresión, se dispone un forjado con un canto total de 220 mm, formado por una prelosa de hormigón HP-50 de 60 mm de espesor del tipo P6-11 (*ATEFOR*) y una capa de 160 mm de hormigón HA-25 vertido en obra.

Carga	q (kN/m)
Peso propio	6.0
Pavimento	0.5
Sobrecarga uso	5.0
Total	11.5

Tabla 7.1 - Cargas consideradas

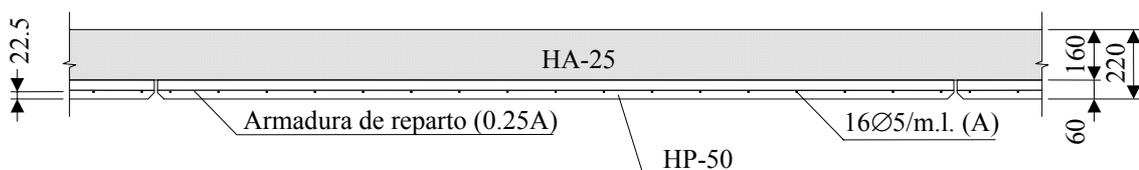


Figura 7.1 - Sección forjado

Las características seccionales y de los materiales se definen en la Figura 7.1 y en la Tabla 7.2.

Hormigón prelosa	HP-50/P/20/IIa
Hormigón vertido en obra	HA-25/B/20/IIa
Acero de pretensado	$f_{m\acute{a}x} = 1860 \text{ MPa}; E_s = 200 \text{ GPa}$
Relajaci3n a 1000 horas ($0.6f_{m\acute{a}x}$, $0.7f_{m\acute{a}x}$, $0.8f_{m\acute{a}x}$)	1.0; 2.0; 5.5
Armadura activa	$16\text{Ø}5/\text{m.l.} = 314 \text{ mm}^2$; $r = 22.5 \text{ mm}$
Tensi3n inicial armadura activa	1300 MPa

Tabla 7.2 - Materiales y armaduras

El ejemplo se refiere a un forjado colocado a media altura en una nave industrial, cuyas cimbras se apoyan en suelo r3gido. El origen de tiempos se toma en el instante del hormigonado de la prelosa y se supone que 3sta queda debidamente almacenada en la planta hasta su transporte a la obra. A la edad de 21 d3as se coloca en obra, se cimbra y se procede al vertido del hormig3n de la capa superior. A los 35 d3as se retiran las cimbras, a los 60 se construye la tabiquer3a superior y a los 75 se realiza el pavimento. Se considera que en el momento de entrada en servicio, a la edad de 100 d3as, se aplica la sobrecarga de uso. Para el estudio de los efectos a largo plazo y para el uso indicado se ha supuesto que la relaci3n entre la carga cuasipermanente y la sobrecarga es de 0.7.

En la Tabla 7.3 se muestra la historia de cargas y tiempos considerada

Operaci3n	t (d3as)	Δq (kN/m ²)
Hormigonado prelosa	0	-
Transferencia	3	-
Colocaci3n en obra		
Cimbrado	21	6.0
Hormigonado		
Descimbrado	35	-
Tabiquer3a	60	0.5
Pavimento	75	0.5
Entrada en servicio (sobrecarga de uso)	100	4.5
Carga cuasipermanente	101	-1.5
Sobrecarga de uso	10000	1.5

Tabla 7.3 - Tiempos y cargas

De acuerdo con ello, la variaci3n en el tiempo del momento flector en la secci3n central del forjado, debido a las cargas exteriores, ser3 la indicada en la Figura 7.2.

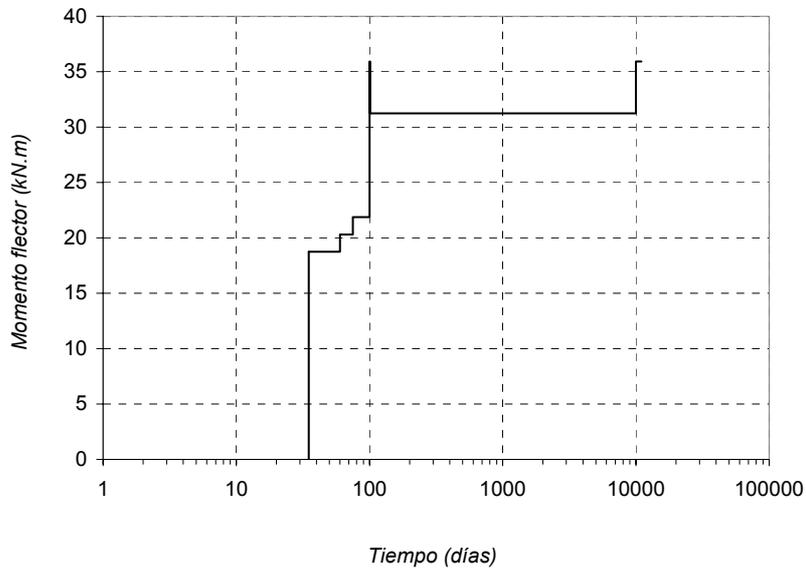


Figura 7.2 - Momento flector de las cargas exteriores en la sección central

Las propiedades reológicas del hormigón se determinan según MC-90 [61], suponiendo una humedad relativa del 60%. El comportamiento seccional diferido vendrá influenciado por la presencia de dos hormigones de distinta resistencia y edad. La Figura 7.3 muestra la variación del coeficiente de retracción para los dos tipos de hormigón y la figura 7.4, a modo de ejemplo, la variación del coeficiente de fluencia $\phi(35,t)$ para cargas aplicadas a 35 días.

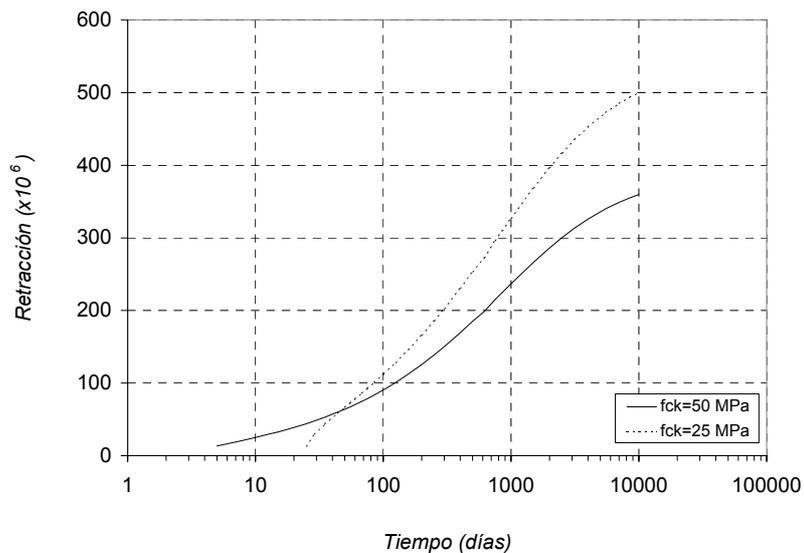


Figura 7.3 -Retracción

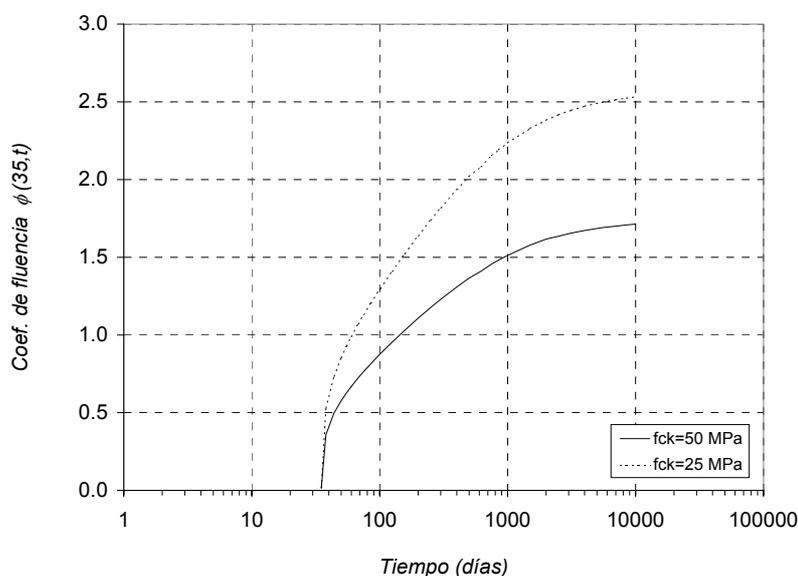


Figura 7.4 -Coeficiente de fluencia $\phi(35,t)$

7.2.3. Resultados del análisis

Para ilustrar las posibilidades del modelo se presentan seis gráficos con la evolución temporal de la flecha, de deformaciones y de tensiones en acero y hormigones.

La Figura 7.5 indica la variación en el tiempo de la flecha en el centro de la luz. Se puede apreciar la rápida evolución de la misma al descimbrar a los 35 días desde un valor instantáneo inicial de 1.39 mm hasta 2.16 mm en el momento de la construcción de la tabiquería a los 60 días. Asimismo se advierten los pequeños incrementos debidos a las cargas de tabiquería y pavimento y el importante aumento hasta 3.93 mm al aplicar la sobrecarga a los 100 días. Después de la retirada de una parte de la sobrecarga se obtiene el valor de 3.56 mm, para ir aumentando hasta 5.50 mm justo antes de la entrada de la sobrecarga a los 10000 días, con una flecha final de 5.85 mm que supone $L/855$.

Las Figuras 7.6 y 7.7 indican las deformaciones y tensiones en las fibras inferior y superior del hormigón de la prelosa. Puesto que la armadura está prácticamente centrada, se parte de unos valores aproximadamente idénticos en el momento de la aplicación del pretensado. Hasta la aplicación del hormigón en obra (25 días) se produce un aumento de las deformaciones debido básicamente a los efectos diferidos en el hormigón. Como consecuencia de ello y de la relajación (1.23 % de σ_{p0}) se originan ligeras disminuciones de tensión en acero y hormigón (del orden del 4 %, aunque en la Figura 7.7 prácticamente no se aprecia). A partir de la aplicación de las cargas exteriores (100 días) continúa produciéndose un acortamiento en las fibras de la prelosa por el efecto de las deformaciones no mecánicas, ya que siguen estando en compresión, aunque debido a la flexión provocada por la carga exterior, éste es menor en la fibra superior. En las tensiones se produce un efecto parecido, descargándose la fibra superior

respecto de la inferior, aunque la variación entre 100 y 10000 días es mucho menos pronunciada, ya que las deformaciones mecánicas son menores que las no mecánicas. Incluso a partir de los 1000 días se aprecia que la variación en la fibra superior se mantiene prácticamente constante, lo cual se corresponde con un ligero aumento de las tensiones en el hormigón “in situ” como se observa en la Figura 7.9.

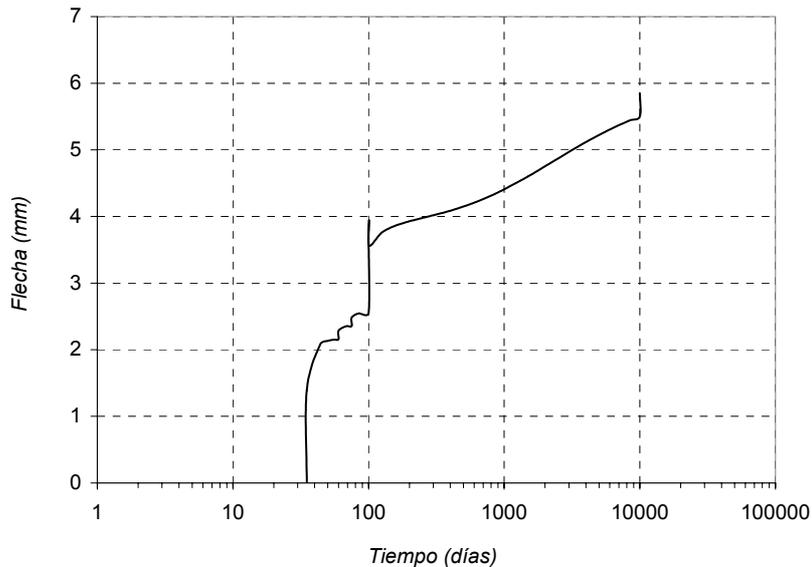


Figura 7.5 - Flecha

En cuanto al comportamiento del hormigón vertido en obra, en la Figura 7.9 se muestra que la fibra inferior permanece en tracción, aunque con valores que no provocan la fisuración, mientras que la superior está comprimida. Las deformaciones son negativas en las dos capas (Figura 7.8) y con aumentos superiores a los acontecidos en la prelosa, ya que los efectos diferidos son mayores tal como se ha indicado en las Figuras 7.2 y 7.3.

Finalmente, en la Figura 7.10, se presenta la variación de la tensión en el acero pretensado. Se advierten pequeños aumentos de tensión cuando se aplican las cargas exteriores, concordantes con los observados en el hormigón circundante y en general se aprecia una disminución paulatina de la tensión debida, a las deformaciones diferidas del hormigón y a la propia relajación del acero. Desde un valor inicial de 1255 MPa, después de la transferencia se llega a 1107 MPa, siendo la parte que corresponde propiamente a la relajación de 41 MPa, que representa un 3.15 % de la tensión inicial.

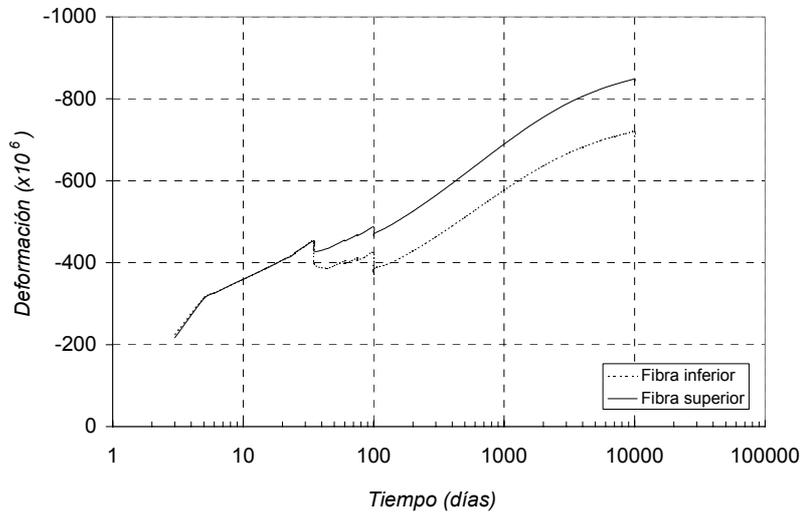


Figura 7.6 - Deformaciones hormigón preloso

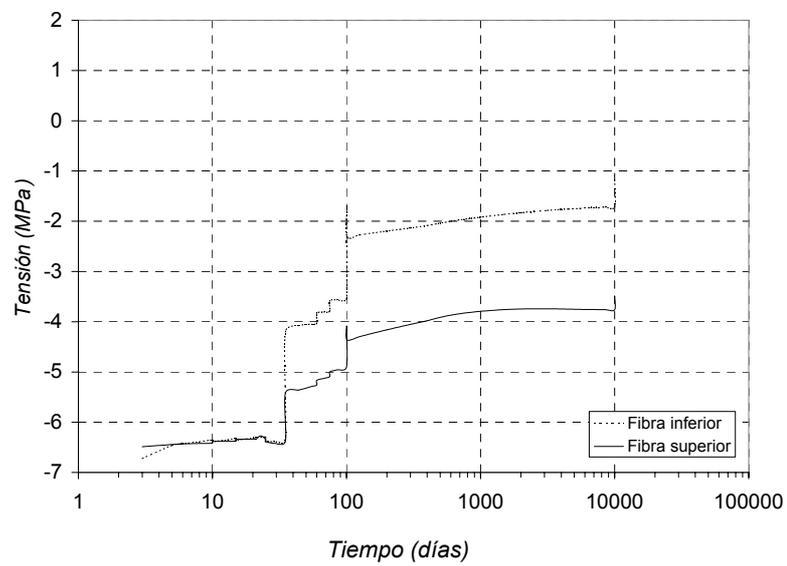


Figura 7.7 - Tensiones hormigón preloso

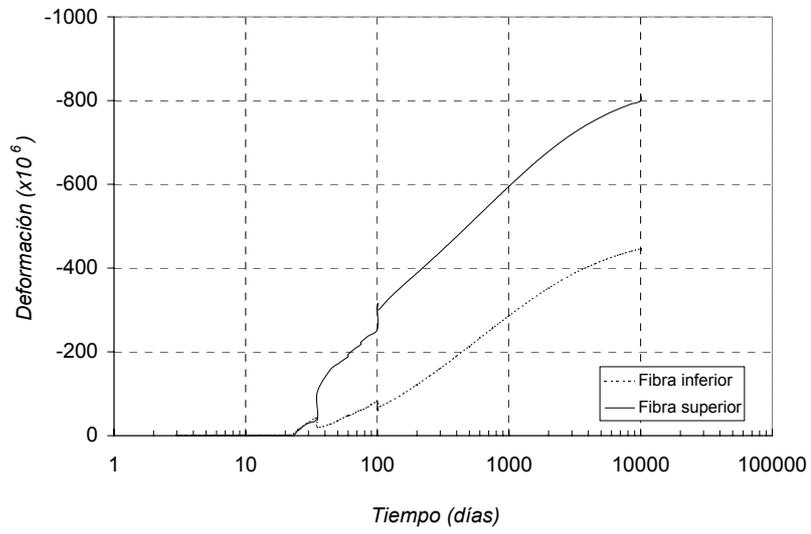


Figura 7.8 - Deformaciones hormigón “in situ”

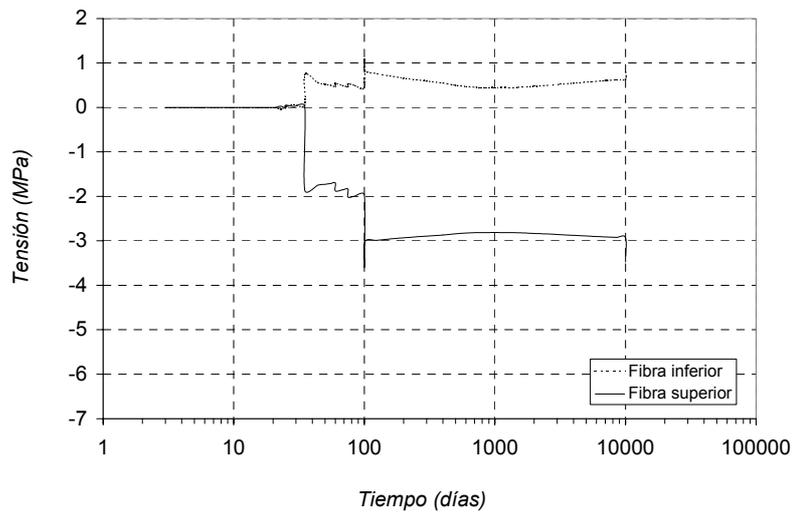


Figura 7.9 - Tensiones hormigón “in situ”

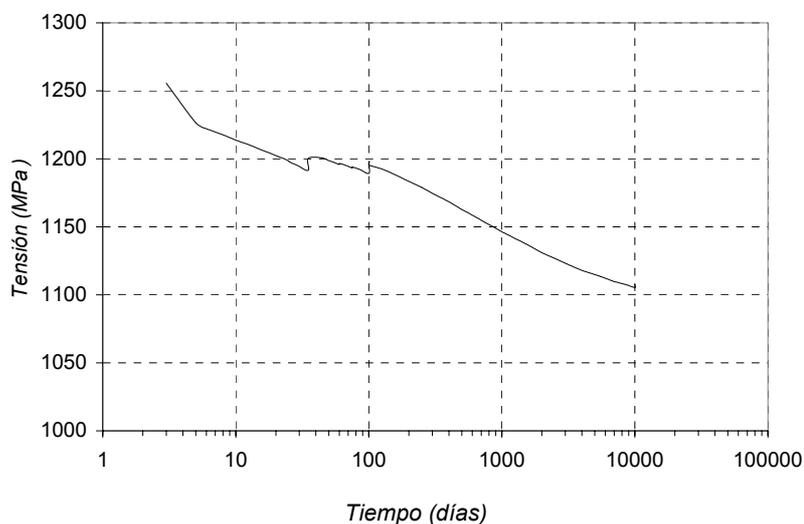


Figura 7.10 - Tensiones acero activo

7.2.4. Influencia de distintos parámetros

Con objeto de ilustrar diversas posibilidades del modelo, se procede a analizar el caso presentado, manteniendo el proceso constructivo indicado y variando distintas características de los materiales. Se estudia la evolución de la curvatura en la sección central (asimilable a la evolución de la flecha) para los seis casos siguientes: 1) análisis de referencia perteneciente al caso presentado en el apartado anterior; 2) supresión del efecto de la retracción; 3) anulación del efecto de la fluencia; 4) eliminación del efecto de la relajación; 5) toda la sección con hormigón de 50 MPa; 6) toda la sección con hormigón de 25 MPa.

Los resultados se indican en la Figura 7.11. Se observa la poca incidencia de la relajación en la evolución de la curvatura y la gran influencia de la retracción, en este caso distinta en los dos hormigones y favorecedora del aumento de curvatura. Cuando se suprime el efecto de la retracción la curvatura tiene tendencia a disminuir en la parte final del período considerado, como consecuencia de la acción de la fluencia en la prelosa, la cual está sometida a mayores tensiones. Es interesante observar que si se construye la sección con hormigón de las mismas características, con la secuencia constructiva descrita, se nota un resultado parecido a la situación anterior, anulándose el efecto de la retracción diferencial, y siendo lógicamente mayor la curvatura para el hormigón que presenta los mayores efectos diferidos (HA-25).

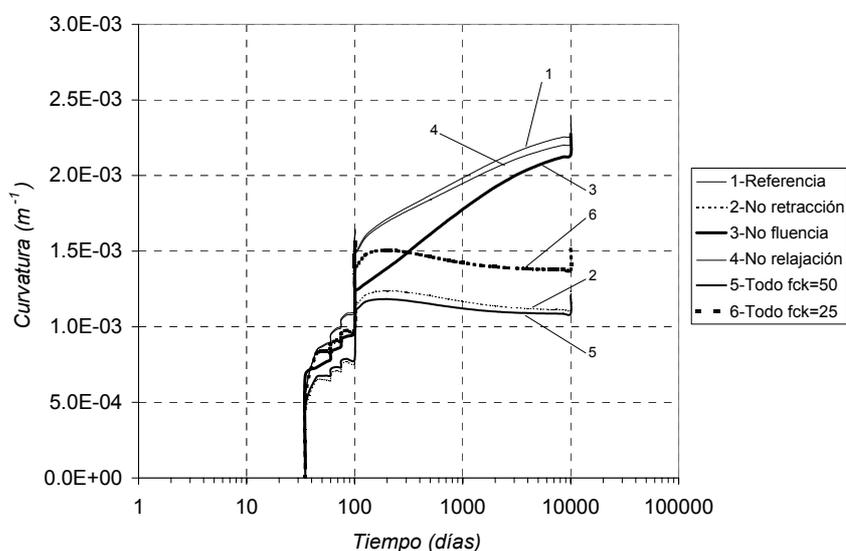


Figura 7.11 - Comparación de curvaturas sección central

7.2.5. Otras comparaciones

En la misma línea indicada, en este apartado se muestran otras posibilidades para efectuar estudios paramétricos o comparaciones entre diversas opciones. En este caso, el forjado se somete a un solo escalón de carga exterior aplicada a los 28 días, eliminando la influencia de la historia de cargas y se compara el incremento de curvatura en la sección central a partir de los 28 días (se resta la posible curvatura anterior) con otras situaciones constructivas y de aplicación del esfuerzo axial. Los casos analizados son: 1) análisis de referencia, con construcción evolutiva de la sección con prelosa pretensada y hormigón en obra a los 14 días; 2) el caso anterior sin el efecto de la retracción; 3) sección no evolutiva, construida a tiempo cero con dos hormigones y sin pretensado (para la comparación no se permite la fisuración de la sección); 4) el caso anterior con un esfuerzo axial similar al inicial del pretensado aplicado en el c.d.g. de la sección compuesta, aplicado a los 3 días; 5) el caso anterior con armadura pretensada colocada en el c.d.g. de la prelosa (se incluye relajación); 6) el caso anterior sin corregir la curvatura negativa ocurrida hasta los 28 días.

Nuevamente, de la comparación de los casos 1 y 2 se aprecia la importancia de la retracción en la evolución de la flecha diferida.

Comparando los casos 1 y 3 se pone de manifiesto el efecto beneficioso del pretensado en las deformaciones ya que permite observar la diferencia entre la situación de referencia y otra sin pretensado en la que se han mantenido los dos hormigones distintos. El coeficiente multiplicativo que proporciona la flecha adicional diferida entre 28 días y 5 años es de $\lambda \cong 1.9$ (calculando la flecha instantánea con $0.85E_{ci}$ -valor secante en EHE [57]-). Para el caso de referencia se tendría $\lambda \cong 1.1$. Recordemos que este factor multiplicativo se ve influenciado por las leyes de fluencia y retracción y por

el comportamiento fisurado de la pieza. El factor propuesto por EHE [57] (previsto para hormigón armado fisurado) tendría el valor $\lambda \cong 1.3$ ($\lambda(1825) - \lambda(28) = 2.0 - 0.7 = 1.3$). En el caso 4 se muestra la influencia de un axil en el baricentro de la sección, observándose una evolución muy parecida, con un ligero incremento de curvatura respecto del caso 3 debido al descenso del baricentro seccional producido por los efectos diferidos. Finalmente, el caso 5 indica el comportamiento de una sección pretensada constituida por dos hormigones distintos aplicados en el mismo instante inicial (sin construcción evolutiva). El comportamiento incremental a largo plazo es ligeramente mejor que el caso 1, aunque el esfuerzo de pretensado introduce un momento negativo que provocaría una fuerte curvatura negativa (y posible fisuración de la parte traccionada), tal como se aprecia en la curva 6 (aunque, a efectos comparativos, se ha despreciado la influencia del peso propio).

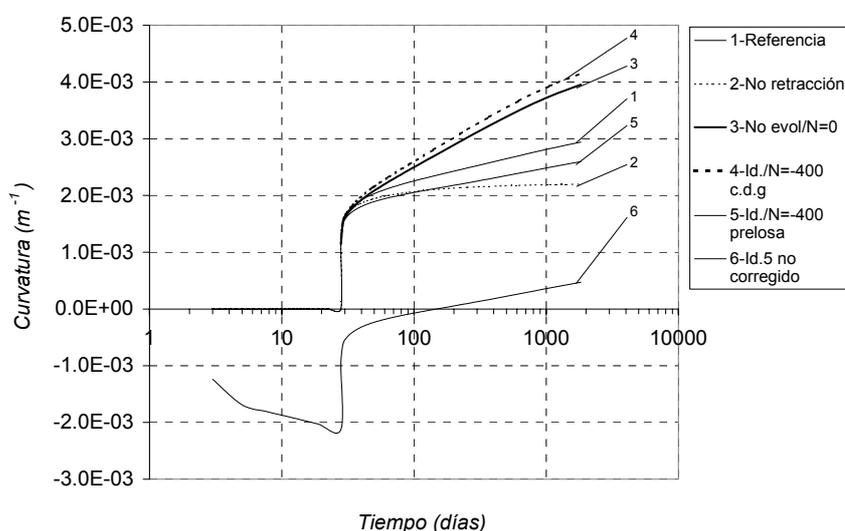


Figura 7.12 - 1 escalón de carga (28 días). Comparación de curvaturas sección central.

Un análisis más exhaustivo del proceso de cálculo permite estudiar con detalle el comportamiento diferido del caso que se ha tomado como referencia (caso 1). Para ello se analizan los esfuerzos ficticios ΔN^0 generados por las deformaciones no mecánicas, de acuerdo con la ec. (3.24). En la Tabla 7.4 se muestran los valores de dichos esfuerzos desglosados en la parte debida a la fluencia (ΔN^0_{flu}) y a la retracción (ΔN^0_{ret}) para las capas inferior y superior de la prelosa y para las capas inferior y superior del hormigón vertido en obra en tres subetapas de cálculo: inicial (28-29 días), intermedia (38-48 días) y final (1061-1825 días).

En la subetapa 28-29, inmediatamente después de la aplicación de la carga instantánea, predomina el efecto de la fluencia producida por dicha carga, con esfuerzos ficticios de tracción en la parte inferior de la sección (toda la prelosa y parte del hormigón “in situ”) y de compresión en la parte superior que ocasionan un aumento de la curvatura positiva. El efecto de la retracción es ligeramente mayor en el hormigón “in

situ” y tendente a curvatura positiva, aunque predomina claramente el efecto de fluencia.

Subetapa (días)	Prelosa				Hormigón “in situ”			
	Capa inferior		Capa superior		Capa inferior		Capa superior	
	N^0_{flu}	N^0_{ret}	N^0_{flu}	N^0_{ret}	N^0_{flu}	N^0_{ret}	N^0_{flu}	N^0_{ret}
28-29	3905	-117	1614	-117	2021	-196	-5451	-196
39-48	149	-864	-814	-864	629	-1254	-2131	-1254
1061-1825	-1090	-5567	-1814	-5567	271	-6769	-1650	-6769

Tabla 7.4 - Esfuerzos ΔN^0 (Newton) en distintas capas (caso 1)

En la subetapa 39-48, se nota un cambio de tendencia en el hormigón de la prelosa, ya que en la capa inferior todavía existen tracciones en el efecto de fluencia (mucho menos que antes), aunque globalmente (incluyendo la retracción) predominan las compresiones, más en la capa superior que en la inferior. Por tanto, la influencia de la prelosa es tendente a curvaturas negativas en la sección. Sin embargo, en el hormigón “in situ” predomina el efecto de curvatura positiva, ya que aunque en todas las capas existe un efecto global de compresión, éste es mayor en las fibras de la parte superior. En conjunto, en la sección prevalece el efecto del hormigón “in situ” produciéndose, por tanto, un aumento de curvatura positiva, pero mucho menor que en la subetapa anterior.

Finalmente, en la subetapa 1061-1825, el efecto de la fluencia es negativo en toda la prelosa y en la mayor parte del hormigón “in situ”, con unos valores que hacen que el resultado quede prácticamente compensado. El incremento de curvatura positiva se debe predominantemente a la acción de la retracción, mayor en el hormigón “in situ”.

La aparición de valores de compresión para el axil ficticio de fluencia en la prelosa, como por ejemplo “-1090” para la subetapa 1061-1825 hace que se reduzca el valor de la curvatura diferida debida a la fluencia. Ello tiene su explicación en el hecho de que prevalece el efecto de la tensión inicial de compresión (transferencia del esfuerzo de pretensado) sobre el efecto de las tracciones ocasionadas por la aplicación de la carga exterior.

7.3. EJEMPLO 2: ESTRUCTURA RETICULAR DE HORMIGÓN, TENIENDO EN CUENTA EL PROCESO CONSTRUCTIVO

7.3.1. Características generales

Se analiza un pórtico plano de edificación compuesto por jácenas planas y pilares de hormigón armado. La estructura consta de 5 vanos y 5 plantas, con un total de 55 elementos. Se supone una distancia entre pórticos de 4.5 m, con forjados unidireccionales constituidos por viguetas prefabricadas de hormigón. Para estas dimensiones y las cargas consideradas, se toma un canto 24 cm, no siendo necesario el cimbrado intermedio de los forjados. El dimensionamiento se ha realizado teniendo en cuenta las cargas y las disposiciones constructivas habituales en edificación. La relación

luz/canto útil (L/d) considerada en las jácenas no cumple los requisitos de la Tabla 50.2.2.1 de EHE [57], lo cual obliga a la comprobación de la flecha.

El análisis se ha efectuado considerando la influencia de la historia de cargas aplicada y el proceso constructivo. Se supone una velocidad de construcción de una planta cada dos semanas. La retirada de correas y tableros de encofrado se produce a los 4 días y el descimbrado a los 25 días del hormigonado. Se dispone un máximo de dos plantas cimbradas consecutivas.

De los posibles resultados que pueden obtenerse con la utilización del método implementado se presentan los esfuerzos en puntales y jácenas durante el proceso constructivo, la comparación con un análisis lineal del pórtico y la evolución de las flechas con el tiempo. Tal como se ha visto en el ejemplo anterior también sería posible la obtención de datos seccionales tanto del hormigón como de las armaduras.

El ejemplo pretende mostrar las posibilidades del modelo para realizar estudios y comparaciones teniendo en cuenta procesos constructivos de una cierta complejidad, cuyos ritmos y características pueden ser variados, considerando los efectos diferidos, la variación de las propiedades resistentes del hormigón y el *tension stiffening*.

7.3.2. Características resistentes

En el diseño de la estructura se han considerado las cargas indicadas en la Tabla 7.5.

Carga	q (kN/m ²)	
	Plantas	Cubierta
Forjado	3.0	3.0
Pavimento	1.1	2.0
Tabiquería	1.0	-
Sobrecarga uso	2.0	1.0
Total	7.1	6.4

Tabla 7.5 - Cargas

Con objeto de simplificar el ejemplo no se ha tomado en cuenta la acción del viento, suponiéndose absorbido por un núcleo resistente central. Para el peso propio se ha adoptado un valor de 25.0 kN/m³.

Las secciones de los elementos son rectangulares, a base de hormigón HA-25 y acero B500S. De una forma simplificada, la disposición de armaduras de las jácenas se define dividiéndolas en tres tramos correspondientes a los armados para momentos negativos y positivos. En los vanos extremos se ha tomado 0.17L-0.63L-0.20L y para el resto 0.20L-0.60L-0.60L, siendo L la longitud de la barra. El diseño de las armaduras se ha llevado a cabo suponiendo una redistribución de momentos negativos del 15 %, tal como permite EHE [57].

En la Figura 7.13 se muestra un esquema de las dimensiones del pórtico. Los números del 1 al 6 indican el tipo de sección definido en la Tabla 7.6, en la que b , h y d' son el ancho, el canto total y la distancia del centro de gravedad de las armaduras, superior o inferior, al borde de la sección más cercano.

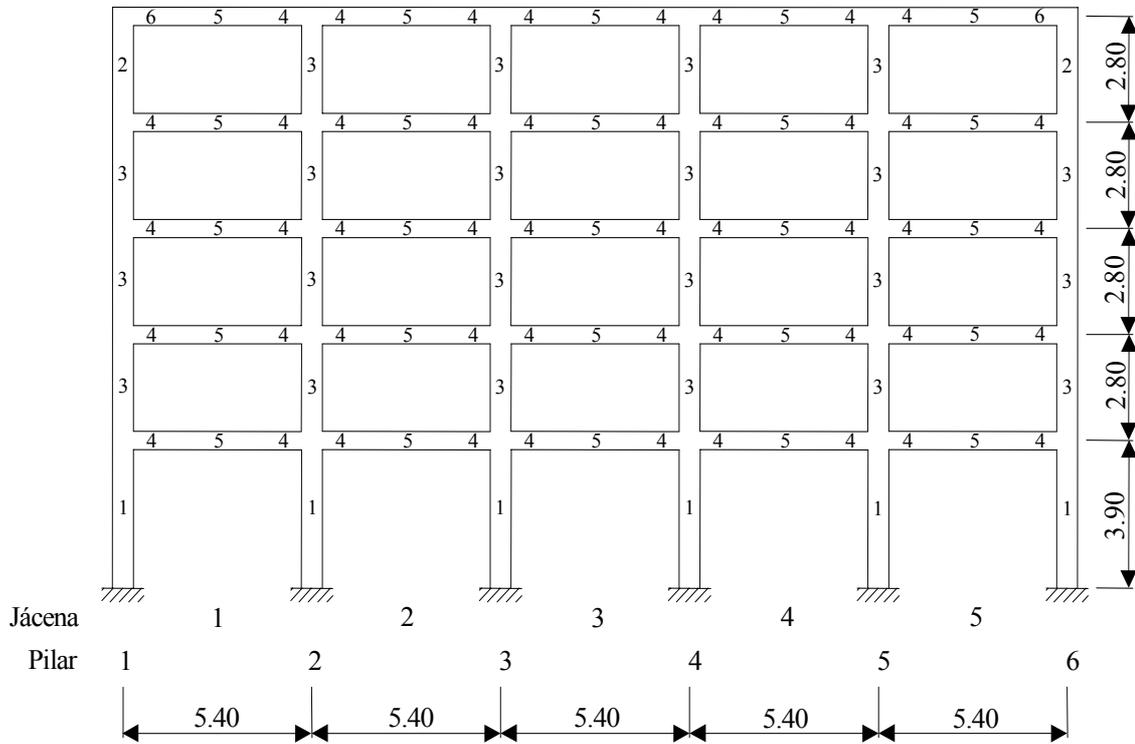


Figura 7.13 - Pórtico de hormigón armado analizado en el ejemplo

Sección	$b \times h$ (m)	Armadura _{inf} (mm ²)	Armadura _{sup} (mm ²)	d' (mm)
1	0.35×0.35	2Ø20 (628)	2Ø20 (628)	45
2	0.30×0.30	3Ø20 (942)	3Ø20 (942)	45
3	0.30×0.30	2Ø20 (628)	2Ø20 (628)	45
4	0.80×0.24	2Ø12+ 2Ø20 (854)	4Ø12+ 4Ø20 (1710)	45
5	0.80×0.24	2Ø12+ 4Ø20 (1482)	4Ø12 (452)	45
6	0.80×0.24	2Ø12+ 2Ø20 (854)	4Ø12+ 2Ø20 (1080)	45

Tabla 7.6 - Características seccionales

7.3.3. Proceso constructivo e historia de cargas

En la Tabla 7.7 se resume el proceso constructivo considerado, indicando las sucesivas operaciones, el tiempo en el que tienen lugar y los incrementos de carga en cada planta.

Operación	t (días)	Δq (kN/m)				
		Pl. 1	Pl. 2	Pl. 3	Pl. 4	Pl. 5
Cimbrado y hormigonado Pl. 1	0	18.30	-	-	-	-
Retirada tableros Pl. 1	4	-	-	-	-	-
Cimbrado y hormigonado Pl. 2	14	-	18.30	-	-	-
Retirada tableros Pl. 2	18	-	-	-	-	-
Descimbrado Pl. 1	25	-	-	-	-	-
Cimbrado y hormigonado Pl. 3	28	-	-	18.30	-	-
Retirada tableros Pl. 3	32	-	-	-	-	-
Descimbrado Pl. 2	39	-	-	-	-	-
Cimbrado y hormigonado Pl. 4	42	-	-	-	18.30	-
Retirada tableros Pl. 4	46	-	-	-	-	-
Descimbrado Pl. 3	53	-	-	-	-	-
Hormigonado Pl. 5	56	-	-	-	-	18.30
Retirada tableros Pl. 5	60	-	-	-	-	-
Descimbrado Pl. 4	67	-	-	-	-	-
Descimbrado Pl. 5	81	-	-	-	-	-
Pavimento Pl. 5 (cubierta)	100	-	-	-	-	10.80
Tabiquería Pl. 1	114	4.50	-	-	-	-
Tabiquería Pl. 2	128	-	4.50	-	-	-
Tabiquería Pl. 3	142	-	-	4.50	-	-
Tabiquería Pl. 4	156	-	-	-	4.50	-
Pavimento Pl. 1	170	4.95	-	-	-	-
Pavimento Pl. 2	184	-	4.95	-	-	-
Pavimento Pl. 3	198	-	-	4.95	-	-
Pavimento Pl. 4	212	-	-	-	4.95	-
Sobrecarga de uso	300	9.00	9.00	9.00	9.00	4.50
Carga permanente	302	-9.00	-9.00	-9.00	-9.00	-4.50
Sobrecarga de uso	10000	9.00	9.00	9.00	9.00	4.50

Tabla 7.7 - Proceso constructivo

En este caso no se ha tenido en cuenta ningún incremento de carga debido al propio proceso constructivo ni la permanencia de una parte de la sobrecarga carga como cuasipermanente, aunque ello podría hacerse sin ninguna dificultad.

La carga total acumulada en las plantas tiene la evolución indicada en la Figura 7.14.

Se disponen siete pares de puntales en cada vano entre ejes de pilares, tal como se indica en la figura 7.15. Estos elementos se han modelizado como barras articuladas en sus extremos que no soportan tracciones, con una rigidez seccional de 6×10^4 kN.

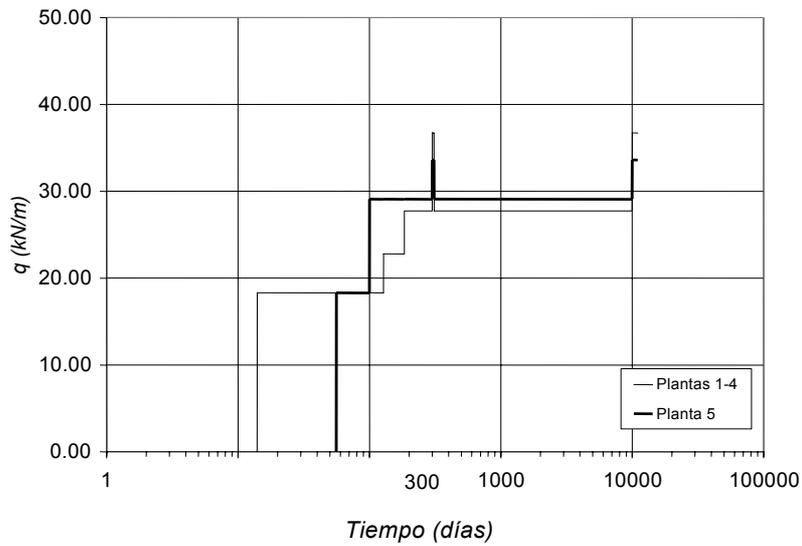


Figura 7.14 - Cargas en plantas

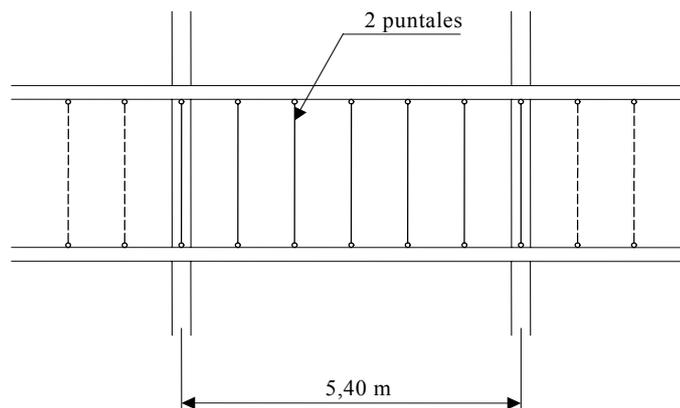


Figura 7.15 - Disposición de puntales

7.3.4. Resultados del análisis

Distribución de momentos flectores

La redistribución de momentos en el tiempo proporcionada por el análisis tiene poca importancia, a parte de las variaciones que se producen durante el proceso constructivo (que finaliza a los 300 días) que se comentarán más adelante.

Sin embargo puede tener interés la comparación de los momentos flectores finales obtenidos con los que proporcionaría un análisis estándar lineal y no evolutivo.

Las Tablas 7.8 y 7.9 muestran los resultados en valor absoluto para jácenas y pilares respectivamente, quedando definidos los elementos de acuerdo con la Figura 7.13.

Jácena	Planta	Análisis lineal			Análisis modelo			Comparaciones		
		M_i	M_c	M_d	M_i	M_c	M_d			
		a	b	c	d	e	f	d/a	e/b	f/c
1	1	74.30	49.63	94.37	86.05	42.73	96.39	1.16	0.86	1.02
2	1	90.30	44.34	88.93	92.13	41.34	93.09	1.02	0.93	1.05
3	1	89.25	44.70	89.25	92.55	41.41	92.55	1.04	0.93	1.04
1	2	77.05	49.28	92.31	83.23	44.13	96.42	1.08	0.89	1.04
2	2	89.56	44.54	89.27	92.90	41.29	92.43	1.04	0.93	1.04
3	2	89.30	44.66	89.30	92.51	41.45	92.51	1.03	0.93	1.04
1	3	77.97	49.54	90.86	81.95	44.78	96.40	1.05	0.90	1.06
2	3	89.61	44.51	89.28	93.53	41.17	92.04	1.04	0.92	1.03
3	3	89.29	44.66	89.29	92.55	41.41	92.55	1.04	0.93	1.04
1	4	81.52	48.50	89.38	81.37	44.25	98.03	0.99	0.91	1.10
2	4	88.54	44.85	89.75	92.03	41.45	92.99	1.04	0.92	1.04
3	4	89.38	44.57	89.38	92.43	41.49	92.47	1.03	0.93	1.03
1	5	57.88	49.93	87.19	59.82	45.40	94.33	1.03	0.91	1.08
2	5	83.44	40.13	81.24	84.95	38.19	83.61	1.02	0.95	1.03
3	5	81.43	41.05	81.43	83.55	38.92	83.55	1.03	0.95	1.03

M_i = Momento en extremo izquierdo (kN·m)

M_d = Momento en extremo derecho (kN·m)

M_c = Momento en centro (kN·m)

Tabla 7.8 - Momentos en jácenas

Pilar	Planta	Análisis lineal		Análisis modelo		Comparaciones	
		M_i	M_d	M_c	M_d		
		a	b	c	D	c/a	d/b
1	1	18.03	35.60	22.33	43.55	1.24	1.22
2	1	0.81	1.88	0.11	0.55	0.14	0.29
1	2	38.70	38.23	42.50	47.26	1.10	1.24
2	2	2.19	1.69	30.71	3.84	1.69	2.27
1	3	38.82	39.49	35.97	45.97	0.93	1.16
2	3	1.05	1.12	0.32	1.46	0.30	1.30
1	4	31.15	36.98	35.98	42.47	1.16	1.15
2	4	0.13	0.71	1.41	1.08	10.8	1.52
1	5	45.12	57.88	38.74	59.82	0.86	1.03
2	5	1.65	3.75	6.91	9.38	4.19	2.50

M_i = Momento en extremo inferior (kN·m)

M_d = Momento en extremo superior (kN·m)

Tabla 7.9 - Momentos en pilares

A la vista de los resultados se observa que en el caso de las jácenas, las mayores diferencias para momentos negativos son de un 16 % y un 10%, mientras que en los positivos son de un 14% y 11% (del lado de la seguridad).

Para el caso de los pilares, se aprecian variaciones porcentuales importantes, que sin embargo corresponden a valores absolutos pequeños con respecto a su capacidad resistente.

Cargas en jácenas durante el cimbrado y descimbrado

Las operaciones a considerar en el análisis de los procesos de cimbrado y descimbrado quedan definidas en la Tabla 7.10.

Operación	Simbología
1- Cimbrado Pl.1	
2- Cimbrado Pl.2	
3- Descimbrado Pl. 1 + Cimbrado Pl. 3	
4- Descimbrado Pl. 2 + Cimbrado Pl. 4	
5- Descimbrado Pl. 3 + Cimbrado Pl. 5	
6- Descimbrado Pl. 4	

Tabla 7.10 - Operaciones de cimbrado y descimbrado

En primer lugar se ha realizado un estudio comparativo entre los resultados proporcionados por el análisis y los que se obtendrían de la mediante el método simplificado propuesto por Grundy y Kabaila [126]. El procedimiento es aplicable para determinar la carga en los forjados de edificios varias plantas debida a los procesos cimbrado y descimbrado. Ha sido tomado como referencia para análisis comparativos en numerosos trabajos que estudian el comportamiento de forjados durante el proceso constructivo [84,155,178,220] y se describe de manera detallada en el texto de Calavera y García Dutari [41].

El método se basa en las siguientes suposiciones: 1) Se consideran los puntales infinitamente rígidos; 2) los puntales de la planta inferior se apoyan en un suelo absolutamente rígido; 3) los forjados inferiores tienen todos la misma rigidez, aunque sus edades sean distintas; 4) se desprecian los efectos de la fluencia y la retracción; 5) las cargas de los puntales (todas iguales) son asimiladas a cargas uniformemente repartidas sobre los forjados.

De acuerdo con ello, se pueden determinar las cargas que se transmiten a los forjados y las que soportan los puntales, teniendo en cuenta distintas secuencias de cimbrado, descimbrado y recimbrado.

En la Tabla 7.11 se presentan los resultados obtenidos con dicho método y se comparan con los del análisis numérico. El método simplificado proporciona directamente el axil en los puntales P y la carga q que puede considerarse que soporta cada planta como consecuencia de la que transmiten los puntales. Los momentos M se han obtenido empleando dicha carga en cada uno de los esquemas indicados en la Tabla 7.10, pero empleando un análisis matricial estándar. Los valores indicados son relativos, tomando como referencia para q el peso estructura (18.30 kN/m), para P el equivalente a repartir la carga uniformemente entre los puntales (16.47 kN) y para M el valor máximo por planta en un análisis lineal con todo el pórtico cargado con la carga q ($M_{pl1}=46.97$, $M_{pl2}=45.92$, $M_{pl3}=45.18$, $M_{pl4}=44.73$, $M_{pl5}=47.75$, en kN·m).

Operación	Planta	Método simplificado			Análisis modelo		Comparaciones	
		q	P	$M_{m\acute{a}x}$	$P_{m\acute{a}x}$	$M_{m\acute{a}x}$	d/b	e/c
		a	b	c	d	e		
1 	1	0.00	1.00	-	1.09	0.03	1.09	0.03/0
2 	2	0.00	1.00	-	1.19	0.04	1.19	0.04/0
	1	0.00	2.00*	-	2.09	0.31	1.05	0.31/0
3 	3	0.00	1.00	-	1.59	0.12	1.59	0.12/0
	2	1.50	0.50	1.57	1.84	1.41	3.68	0.90
	1	1.50	-	1.52	-	1.56	-	1.03
4 	4	0.00	1.00	-	1.58	0.11	1.58	0.11/0
	3	0.75	1.25	0.74	2.09	1.05	1.67	1.42
	2	2.25*	-	2.38*	-	2.06*	-	0.86
5 	5	0.00	1.00	-	1.60	0.11	1.60	0.11/0
	4	1.12	0.85	1.15	2.14*	1.25	2.43	1.09
	3	1.88	-	1.99	-	1.90	-	0.95
6 	5	0.44	0.56	0.42	1.87	0.58	3.34	1.38
	4	1.56	-	1.67	-	1.56	-	0.93

q = Carga equivalente en la planta; P = Carga puntal; M = Momento jácena (valor absoluto)

* = Valores máximos

Tabla 7.11 - Esfuerzos en cimbrado y descimbrado

Con el método simplificado la carga máxima P en los puntales se produce en la Planta 1 con un valor relativo de 2.0. La máxima carga q (2.25) y, por tanto el momento, en la Planta 2 (la última hormigonada con puntales hasta el terreno), con un valor relativo de 2.38. Con la aplicación del modelo $P_{m\acute{a}x}$ se produce en la operación número 5, con un resultado de 2.14 (puntal junto a pilar) que representa un incremento

del 7 % respecto del máximo con el método simplificado (2.00). Por lo que respecta al momento M , el valor máximo se obtiene en la misma operación y planta que con el método simplificado aunque con un valor un 14% menor. Dichos momentos máximos se producen en los extremos de las jácenas.

Aun siendo menor el momento máximo obtenido con el modelo que con el método simplificado es de destacar la importancia que adquieren estos esfuerzos en el proceso constructivo. El valor absoluto correspondiente sería de 94.1 kN·m y según cual sea el coeficiente γ_G de mayoración de cargas adoptado puede darse una situación determinante para la comprobación de la capacidad resistente. En el caso analizado se obtendría 141 kN·m ($\gamma_G = 1.50$), 127 kN·m ($\gamma_G = 1.35$) o 118 kN·m ($\gamma_G = 1.25$), correspondientes a control normal, intenso o al coeficiente mínimo indicado en EF-96 [75] para proceso constructivo, respectivamente. Cabe indicar que el dimensionamiento del elemento donde se produjo el valor máximo se realizó con un valor de cálculo de 119 kN·m ($\gamma_G = 1.50$, $\gamma_Q = 1.60$), luego redistribuido un 15 %.

A modo de ejemplo, la distribución de cargas en la segunda planta para la situación en la que se produce el momento máximo se muestra en la Figura 7.16. En el caso a) se indica la carga equivalente de cálculo con el método simplificado y en b) el peso propio de la planta y las cargas en los puntales obtenidas con el análisis numérico.

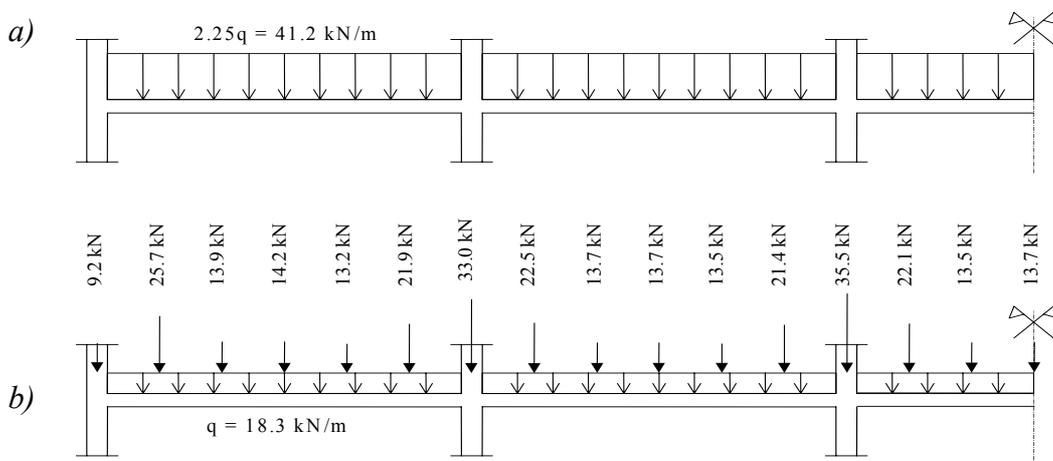


Figura 7.16 - Distribución de cargas en Planta 2: a) Método simplificado; b) Modelo numérico.

Todo ello muestra la importancia de la correcta determinación de los esfuerzos en esta fase, tanto para mantener la seguridad adecuada, como para no sobredimensionar excesivamente la estructura.

Por lo que respecta a los puntales se observa un comportamiento distinto en la primera y en las restantes plantas. En la Figura 7.17 se presenta una comparación entre la evolución de la carga en los puntales de la Planta 1 obtenida con el modelo y la del

método simplificado. Los gráficos corresponden al puntal situado junto al pilar número 2 y al colocado en el centro de la Jácena 2 (Figura 7.13). El análisis numérico proporciona un comportamiento distinto de puntales según que estén situados cerca de las columnas o en el centro de los vanos. Para esta planta, con base infinitamente rígida se observa una respuesta parecida entre los dos procedimientos en el período inmediato al cimbrado de la Planta 1 (0 días), con un ligero incremento de carga en los puntales junto a columnas debido a los efectos diferidos. Es en el cimbrado de la segunda planta cuando difieren notablemente en el comportamiento, de manera que los puntales centrales se asemejan a la previsión del método simplificado, mientras que los laterales no se cargan tanto ya que las columnas se llevan una parte de la carga. El comportamiento diferido lleva a un ligero incremento de carga, mayor en los puntales junto a columnas.

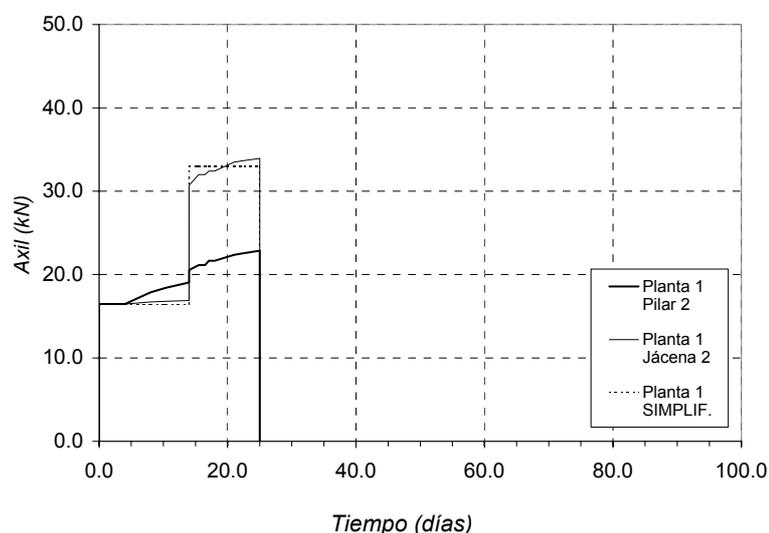


Figura 7.17 - Cargas en puntales Planta 1

En la Figura 7.18 se muestra la evolución de la carga en los puntales de la Planta 4 que según se ha visto resultan ser los más cargados. En este caso las cargas iniciales en los dos tipos de puntales son distintas, consecuencia de estar apoyados en la estructura (a diferencia del caso anterior). Se observa que el puntal central tiene un comportamiento parecido al previsto por el método simplificado, aunque con cargas menores, mientras que el situado junto a las columnas se va cargando como consecuencia de los efectos diferidos y de llevarse una parte de la carga que las jácenas transmiten a los pilares, incluso en el descimbrado de la Planta 3 (53 días).

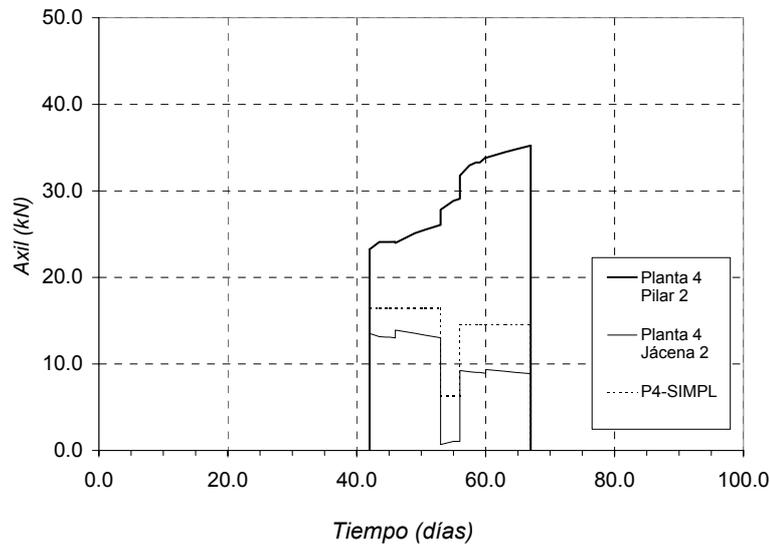


Figura 7.18 - Cargas en puntales Planta 4

Evolución de la flecha

Finalmente se muestra la evolución de la flecha en los elementos en que ésta adquiere valores significativos.

Las Figuras 7.19, 7.20 y 7.21 indican la evolución de las flechas en las jácenas del vano extremo del pórtico, correspondientes a las Plantas 3, 4, y 5 respectivamente. En estos elementos se han obtenido las flechas máximas totales en plantas de piso (Pl.3) o en cubierta (Pl.5) y la flecha activa máxima que afecta a la tabiquería (Pl.4), con resultados que presentan pocas diferencias entre ellos. Los valores se obtienen restando la media de los desplazamientos verticales en los extremos del elemento del obtenido en el centro del mismo.

La flecha activa¹ se indica solamente en las Plantas 3 y 4, suponiendo la inexistencia de tabiquerías en la planta de cubierta.

En los gráficos de la Figuras 7.19 y 7.20 se observa una evolución parecida quedando claramente marcada la flecha máxima obtenida durante el proceso de cimbrado y descimbrado y la carga y descarga producida por la aplicación de la sobrecarga de uso a los 300 días de acuerdo con el esquema propuesto en la Tabla 7.7. Se pueden apreciar los sucesivos escalones correspondientes a la entrada sucesiva de cargas y la evolución de las flechas diferidas correspondientes. La planta de cubierta

¹ En el ejemplo se ha incluido en la flecha activa la instantánea de la tabiquería (del orden de 1.3 mm). Esta puede no ser tenida en cuenta (se resta el valor anterior) si considera acopio previo de los materiales en la planta. Estos temas han sido muy detallados por Calavera y García Dutari [56] y por el Grupo de Trabajo G.T. III/1 del GEHO [181].

difiere ligeramente debido a una secuencia de aplicación de cargas distinta. En la Figura 7.22 se agrupan los tres gráficos a título comparativo.

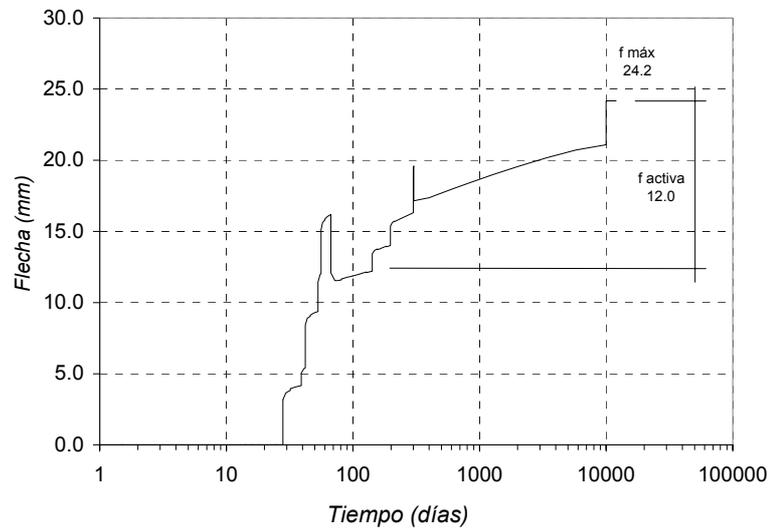


Figura 7.19 - Evolución de la flecha en vano extremo Planta 3

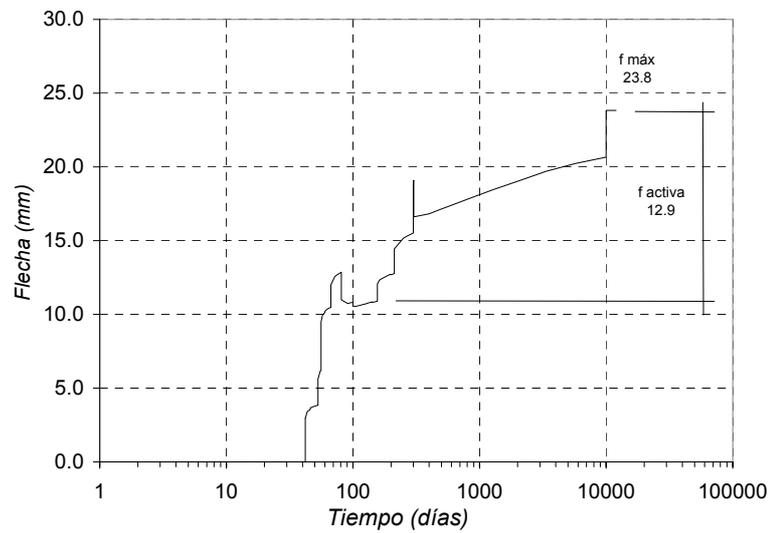


Figura 7.20 - Evolución de la flecha en vano extremo Planta 4

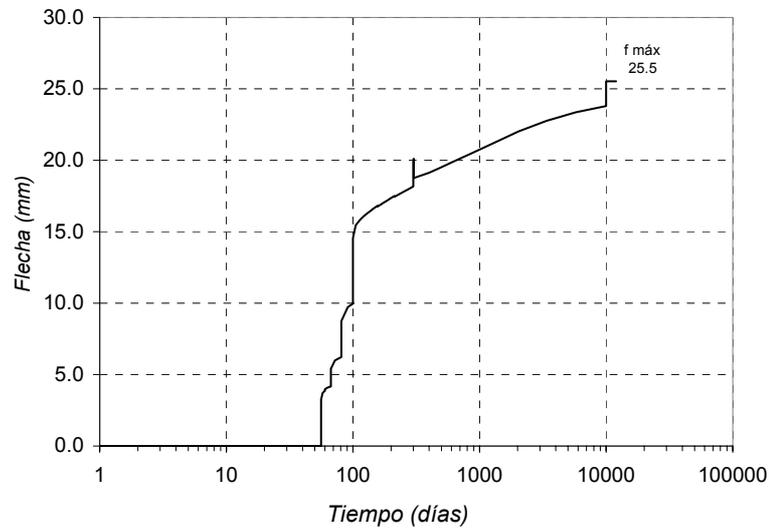


Figura 7.21 - Evolución de la flecha en vano extremo Planta 5 (cubierta)

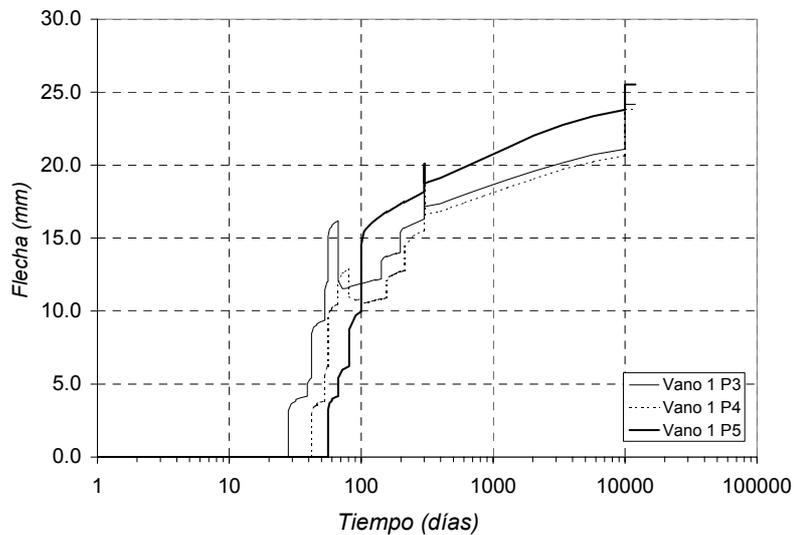


Figura 7.22 - Evolución de la flecha en vano extremo (comparativo)

El valor máximo de flecha total obtenido es de 25.5 mm en la planta de cubierta y de 24.2 mm en la Planta 3, mientras que la flecha activa máxima es de 12.9 mm en la Planta 4. Como referencia se puede indicar que los valores límites aconsejados en la Instrucción EHE [57] para procedimientos usuales de cálculo serían de 21.6 mm ($L/250$) para la flecha total y de 10 mm (el menor de $L/400$ ó 1 cm) o para la flecha activa.

Como dato adicional se puede señalar que un cálculo efectuado mediante el procedimiento simplificado de EHE [57], usando $E_c(28)$ y la carga máxima para la determinación de I_e , tal como se sugiere en [104], proporciona un valor de 20.7 mm para la flecha total de la Planta 3.

Finalmente para valorar la influencia de la existencia de una cierta parte de la sobrecarga de uso como carga cuasipermanente, se indica que en este caso la consideración de un 30% de la misma a partir de los 300 días proporcionaría una flecha para la Planta 3 de 24.5 mm según el modelo numérico y de 21.2 mm según EHE [57].

