

# Aproximación a las pérdidas de pretensado en viguetas de cemento aluminoso

## Losses approximation of alumina concrete pre-stressed small beams

V. Alegre

Ingeniero de Caminos. Director Técnico de COTCA

T. Antonio

Ingeniero de Caminos. Director del Departamento de Estructuras de COTCA

E. Carrasco

Departamento de Estructuras de COTCA

J. Terzán

Ingeniero Industrial. Director del Laboratorio de COTCA

### RESUMEN

Los hormigones aluminosos son ampliamente conocidos por características como la resistencia a los sulfatos y/o al agua del mar, además de su rápido endurecimiento. Concretamente esta última propiedad fue la que propició su uso en elementos prefabricados (se alcanza en un par de días la resistencia que con cemento Pórtland se alcanza en un mes), aunque en determinadas condiciones ambientales se producen fenómenos de deterioro.

El retraso de la prohibición del uso de las viguetas con cemento aluminoso pretensadas trajo consigo su aplicación como elemento resistente en forjados, principalmente entre los años 1947 y 1965.

La reología del cemento aluminoso plantea la pregunta de si las pérdidas de pretensado no serán mayores con la transformación del aluminato y el aumento de la porosidad en el tiempo.

Para evaluar el comportamiento en servicio de los forjados de viguetas pretensadas de cemento aluminoso es necesario ensayar estas viguetas para definir el estado actual de los forjados de este tipo en edificaciones de entre 35 y 50 años de vida útil. Esto dio lugar en 1995 a un proyecto de investigación sobre metodologías de ensayo para la evaluación de pérdidas de pretensado en viguetas y semiviguetas pretensadas de cemento aluminoso para la CIRIT (1). Se ha considerado de interés poner en conocimiento los pocos resultados relativos a las posibles pérdidas adicionales de pretensado y algunas

conclusiones derivadas para concienciar de la importancia de su determinación para valorar cómo afectan principalmente al comportamiento en servicio.

### SUMMARY

*The alumina concrete is largely known by properties as sulphates and/or seawater resistance, as well as its quick hardening. Specifically the last, was the one which contributed to the alumina concrete use in prefabricated elements (the resistance of Portland concrete at 30 days is reached by alumina concrete in only a couple of days). Although in determined environmental conditions damage phenomena are produced as is described further on.*

*The delay in the prohibition on the use of alumina concrete pre-stressed small beams brought about its application as resistant element in slab floor, mainly in the 50's (1947-1965).*

*The reology of alumina concrete arise us a question: are the pre-stressed losses greater after the transformation of aluminates and the increase of porosity?*

*To evaluate service limit state behaviour is necessary to test the small beams to define the current conditions of security in buildings of 35 to 50 years old. In 1995 it motivated an investigation about pre-stressed losses in alumina concrete pre-stressed small beams for the CIRIT (1). It is considered interesting to inform about the results on the pre-stressed losses and some conclusions resulted from.*

## EL CEMENTO ALUMINOSO EN FORJADOS

El colapso el 11 de Noviembre de 1990 de un forjado de cubierta con viguetas armadas de cemento aluminoso en Barcelona constituyó un punto de inflexión en varios aspectos relacionados con el mundo de la construcción, y con la sociedad en general.

En el mundo de la construcción, como positivo, ha obligado a los técnicos a desarrollar los conocimientos sobre un material que era poco conocido para la mayoría, y a incorporar paulatina y principalmente, entre otros, el concepto de mantenimiento...("las estructuras no son eternas").

En general no se realiza un estudio en profundidad del comportamiento del forjado (estudio técnico), ni ensayos que ayuden delimitar con precisión las variables del modelo de cálculo que permita definir la situación actual del forjado. A pesar de los esfuerzos por crear una metodología no se ha impuesto, en general, el criterio técnico de analizar el estado actual y el comportamiento en servicio del forjado, imponiéndose sin embargo el realizar refuerzos que, si no se analiza el problema, deberían plantearse como sustitutivos. Por otra parte en general estos refuerzos transmiten esfuerzos excéntricos a las paredes de carga en que se apoyan que también deben considerarse. Eso tampoco quiere decir que no hay circunstancias en las que no se hayan encontrado soluciones claramente necesarias, drásticas y eficaces para resolver las mermas de seguridad.

Desde el punto de vista técnico, en relación al cemento aluminoso quedan temas por avanzar en su conocimiento. De entre los múltiples interrogantes técnicos que en este caso quedan por resolver o en los que se podría avanzar más, se pueden destacar los siguientes: ¿Es posible medir la degradación del hormigón de cemento aluminoso a partir de la relación agua/cemento? o ¿Cómo evoluciona la degradación de una viga en la que se produce una hidrólisis alcalina? o ¿Qué influencia tienen los áridos y cemento más comúnmente empleados en dicho proceso? o ¿Qué diferencias de comportamiento tiene el hormigón de cemento aluminoso de una viga armada, pretensada o cerámica? o ¿Cómo influye la porosidad en la resistencia, con los cementos y áridos de cada zona y de cada tipología de forjado?

En este documento se pretende avanzar en la respuesta de una última pregunta: ¿Qué pérdida adicional de pretensado ha supuesto la transformación de los aluminatos en viguetas y semiviguetas pretensadas?. Se comentan datos puntuales de forjados en los que ha sido posible establecer una metodología que permite avanzar en el conocimiento del comportamiento en servicio residual del forjado de viguetas de cemento aluminoso pretensadas, midiendo las pérdidas de pretensado actual tras un periodo de vida útil elevado.

Los datos obtenidos de ensayos son pocos, pero significativos y suficientes para abrir el camino a ensayos de este tipo que permitan caracterizar mejor las pérdidas.

## LOS INICIOS

Las viguetas pretensadas nacen en España en 1947 para hacer competencia a las viguetas armadas que estaban en manos de los monopolios de las acerías, ya que en esa época se precisaban certificados de pedidos oficiales para obtener cemento y hierro. Esto hacía imposible crear empresas de prefabricados de ámbito mediano.

En 1948 se empiezan a fabricar viguetas prefabricadas pretensadas de cemento aluminoso, bajo el nombre de viga AYSA. Entre las ventajas que señala el informe entregado en la D.G.A. destacan:

- "No precisa certificados ni pedidos oficiales de cemento y hierro".
- "Supresión de encofrados". Como ya se ha comentado el hormigón aluminoso es de rápido fraguado, de manera que permitía cortar los alambres a las 48 h y utilizar de nuevo los bancos para seguir fabricando viguetas.

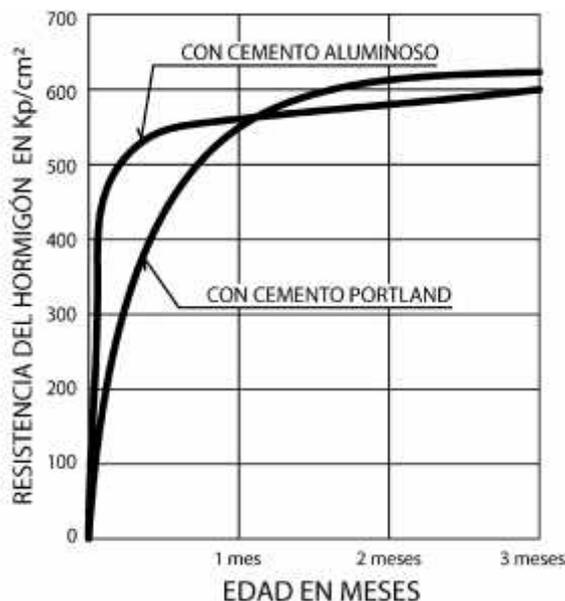


Figura1. En esta gráfica se representa la rápida ganancia de resistencia a corta edad y 2°C (2)

La memoria indicaba una dosificación de 450 Kg/m<sup>3</sup>, una relación agua/cemento de 0.3 a 0.4, los áridos dosificados según la curva de FULLER, siendo el cuidado del curado exquisito: "en agua o, al menos, intensamente regada los siete primeros días"

El desarrollo en Cataluña fue mayor, con gran proliferación de fábricas de viguetas prefabricadas pretensadas con cemento aluminoso.

Como consecuencia de esto hay que hacer notar que el trabajo del hormigón con cemento aluminoso, en el caso de estos prefabricados era realmente dominado. Sólo la falta de tecnología en fábrica podría tener un riesgo añadido. No hay que olvidar, en cualquier caso, que al cortar los alambres de

pretensado en el banco a las 48 horas, se producía una prueba de carga que podría romper la vigueta si la fabricación era mala (el hormigón debía alcanzar una resistencia a compresión de 30 Mpa). En fábricas tecnificadas tenían un banco de pruebas para muestrear la producción.

## EL DETERIORO

En las viguetas pretensadas fabricadas con cemento aluminoso existen varios factores de riesgo a considerar en su vida útil:

Como consecuencia de mezclar el cemento aluminoso con agua se produce:

- La "conversión", que consiste en un cambio de la estructura cristalina del sistema hexagonal al cúbico produciendo un incremento de porosidad que puede llegar al 20% y una disminución de la resistencia con el tiempo.

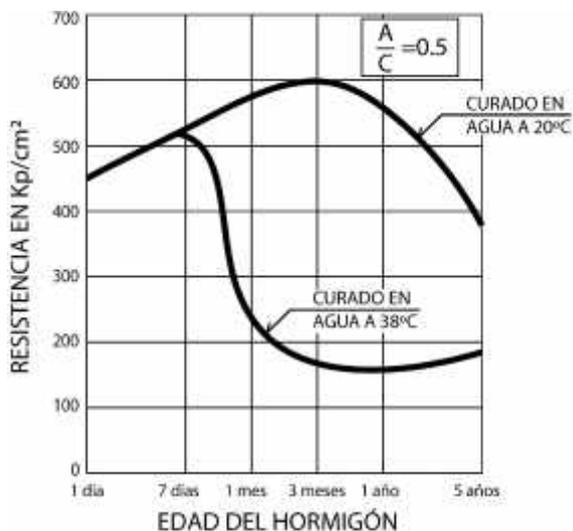


Figura 2. Evolución de la resistencia del hormigón con cemento aluminoso en el tiempo (2)

- La hidrólisis alcalina, en la que los álcalis de los áridos o del cemento, cuando existen, reaccionan con  $\text{CO}_2$  y humedad, descomponiendo los aluminatos de calcio hidratados en  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , lo que conlleva a una pulverización.
- La carbonatación rebaja el pH y se dejan las armaduras desprotegidas al no quedar en un ambiente alcalino que evite su oxidación.
- Como consecuencia de la mayor porosidad y el bajo pH el acero de las armaduras vuelve a su estado natural oxidándose y perdiendo sección y por lo tanto resistencia al igual que el hormigón.

- En el caso del pretensado el fenómeno llevará acompañado una pérdida de pretensado a acotar y sumar a las pérdidas habituales instantáneas y diferidas (retracción, fluencia y relajación del acero). Este aspecto es el que se analiza en el presente documento.

Existe por último otro grupo de factores de riesgo a tener en cuenta (influencia de cloruros, iones agresivos, humedad del ambiente, temperatura...).

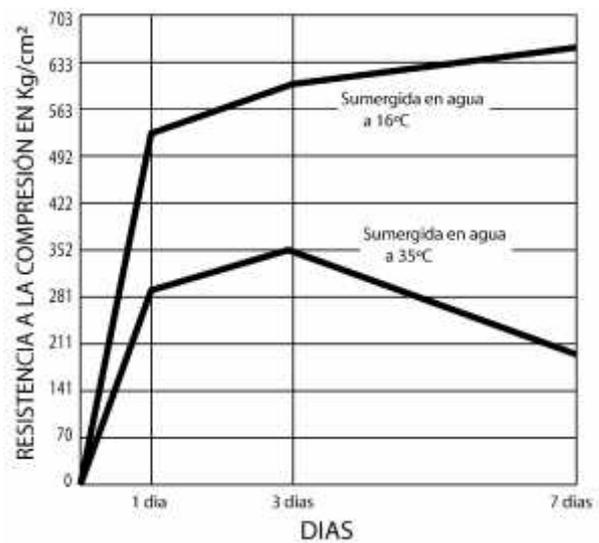


Figura 3. Influencia de la temperatura en la resistencia en cementos aluminosos. (3)

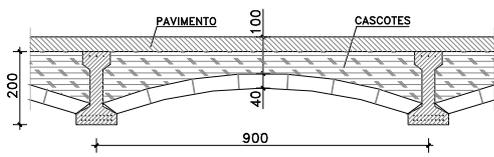
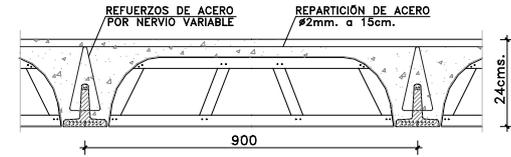
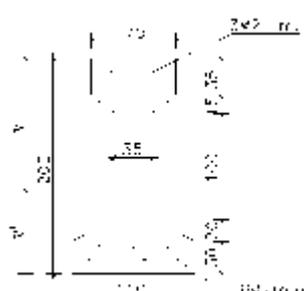
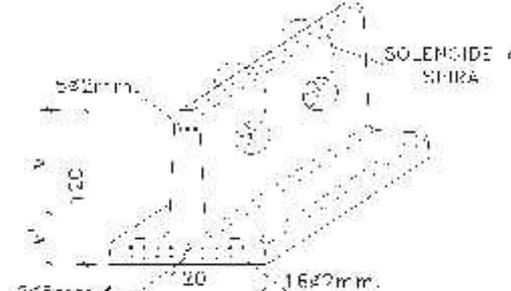
## DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

Para la evaluación de las pérdidas de tensión en los alambres de pretensado se ha podido disponer de dos tipos de forjado unidireccional del cual se han utilizado las viguetas para ensayar los alambres. En la tabla 1 se indican los datos referentes a los mismos.

El forjado A, es un forjado de vigueta completa y revoltón y el único ensayo realizado consiste en cortar un alambre de una vigueta que posteriormente será sustituida funcionalmente, para, a partir del acortamiento de un trozo de alambre, valorar las pérdidas de pretensado.

Los ensayos están basados en la extensometría (se trata de un método semidestructivo) y permiten obtener la tensión de los alambres. Existe otro método semidestructivo que a partir de la frecuencia de vibración de un alambre obtiene la tensión del mismo. Su validez se demuestra en la investigación que se hizo para la CIRIT (1) en 1995 pero son necesarios más ensayos para acotar la precisión.

Tabla 1. Datos referentes a los dos tipos de viguetas y forjados.

	FORJADO DE VIGUETAS PRETENSADAS (A)	FORJADO DE SEMIVIGUETAS PRETENSADAS (B)
DETALLE FORJADO		
DETALLE VIGUETA		
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA SECCIÓN	$A_c = 109.125 \text{ cm}^2$ $A_p = 0.0942 \text{ cm}^2$ (superior) $A_p = 0.5655 \text{ cm}^2$ (inferior) $I = 5041.08 \text{ cm}^4$ $v = 11.86 \text{ cm}$ $v' = -8.14 \text{ cm}$	$A_c = 55.5 \text{ cm}^2$ $A_p = 0.1571 \text{ cm}^2$ (superior) $A_p = 0.8953 \text{ cm}^2$ (inferior) $I = 613.1 \text{ cm}^4$ $v = 8.15 \text{ cm}$ $v' = -3.85 \text{ cm}$
EDAD DE LA VIGUETA	40 años (en 1995)	35 años (en 1995)
RESISTENCIA DEL HORMIGÓN	$f_{ck} = 40 \text{ Mpa}$	$f_{ck} = 37.5 \text{ Mpa}$
TENSIÓN INICIAL DE PRETENSADO SEGÚN CERTIFICADO DE USO	1200 MPa	1270 MPa
LONGITUD DE LA VIGUETA	4.4 m	6.6 m
HIPÓTESIS DE CÁLCULO	Humedad: 60% Edad comienzo retracción: 0 días Edad de puesta en carga: 28 días Relajación final: 9.4% Cargas: forjado ( $2 \text{ KN/m}^2$ ) + cargas muertas ( $1.5 \text{ KN/m}^2$ )	Humedad: 60% Edad comienzo retracción: 0 días Edad de puesta en carga: 28 días Relajación final: 16.3% Cargas: forjado ( $2 \text{ KN/m}^2$ ) + cargas muertas ( $1.5 \text{ KN/m}^2$ )

El procedimiento consiste en eliminar el recubrimiento mecánicamente sin dañar los cables en una longitud suficiente, y colocar dos galgas extensométricas en el centro de la zona de estudio y en los lados diametralmente opuestos del alambre a fin de estimar posibles componentes de flexión.

El montaje utilizado para las galgas ha sido el de cuarto de puente a tres hilos, habiéndose utilizado galgas de 1 mm de rejilla.

En todos los casos los alambres ensayados eran de 2 mm de diámetro.

En cada viga, una vez realizada la instalación de las galgas y antes de empezar a cortar, se ha procedido a establecer el cero inicial de referencia para las lecturas. Seguidamente se han cortado los alambres vecinos al estudiado a fin de poder acceder a él con comodidad y cierta precisión. Durante el proceso de corte de los vecinos se han registrado las variaciones de carga en el alambre instrumentado.

Se comprobó que los alambres estaban sometidos a cierta componente de flexión ya que una vez cortados se curvaban de manera que los valores de tensión resultantes del ensayo son los correspondientes a valores medios de la deformación. La flexión mencionada podría provenir del hecho de que los alambres estuvieran bobinados antes de utilizarse para la fabricación de las vigas.

Los ensayos realizados sobre el forjado B de semiviga pretensada son de dos tipos, por un lado se ensaya la pérdida de pretensado de un alambre de seis semivigas previamente instrumentadas con galgas extensométricas, como en el caso anterior y por otra parte se realizan pruebas de carga en servicio y en rotura sobre 16 tramos de forjado realizado con este tipo de semivigas, que correspondían a lotes similares a los de las semivigas de ensayos anteriores. Para ello se cortaron con máquina de disco y se transportaron a un banco de pruebas situado en el patio del edificio. El objeto era estudiar la posible repercusión de las pérdidas adicionales de pretensado.

## ANÁLISIS NUMÉRICO

### Pérdidas de pretensado en alambres

Hay que tener en cuenta que los ensayos se realizaron sobre elementos en los que ya se había producido la transformación total de los aluminatos y por lo tanto, salvo disfunciones o agresiones externas sobre las vigas, no habrá un aumento de la porosidad. Las pérdidas de pretensado por esta razón se habrán desarrollado por completo.

En principio, de forma general, las semivigas deben tener valores de pérdidas de pretensado instantáneas y diferidas mayores que las vigas pretensadas ya que la precompresión es mucho mayor en las primeras, y son de esperar para esas mayores fuerzas de pretensado y mayores pérdidas de relajación del acero.

El cálculo de las pérdidas totales teóricas (suma de instantáneas y diferidas) se llevó a cabo con las hipótesis de partida que mejor modelizaran el comportamiento real de cada tipo de viga, y a partir de certificados de uso de la época que definían la tensión inicial de los cables de pretensado.

El cálculo de las pérdidas de los dos casos se realizó en base a lo dispuesto en la EHE teniendo en cuenta las hipótesis descritas anteriormente.

Según la norma se contemplan las siguientes pérdidas:

- instantáneas, debidas al acortamiento elástico del hormigón.
- diferidas, debidas a los fenómenos de retracción y fluencia del hormigón y a la relajación del acero.

De acuerdo con esto, los cálculos reflejan las pérdidas en una viga que no ha sufrido ningún tipo de deterioro, ningún tipo de descenso de la resistencia.

Los resultados teóricos son los siguientes:

Caso (A): Las pérdidas teóricas resultan del 19.7%

Caso (B): Las pérdidas teóricas resultan del 36%

Al calcular las pérdidas diferidas, es necesario el cálculo de los coeficientes de retracción y fluencia. Para tener en cuenta la influencia de la temperatura: en el coeficiente de retracción se debe multiplicar por un factor corrector, y en el caso de la fluencia se debe modificar el tiempo de puesta en carga por un tiempo equivalente. Este modelo también permite considerar la influencia del tipo de cemento, aunque para el caso del cemento aluminoso no se conoce dicha influencia en la bibliografía consultada.

El modelo no tiene en cuenta la influencia de la relación agua/cemento.

Tampoco hace referencia al tipo de árido y la relación árido/cemento lo que evitaría la sobrestimación de la retracción ya que, al contrario que la pasta, el árido no sufre retracción. Con respecto a la fluencia, el tipo de árido y la relación árido/cemento juegan un papel importante ya que a mayor módulo de deformación del árido, menos deformación por fluencia.

## RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Los resultados obtenidos en los alambres de las semivigas y el alambre de la viga se resumen en la tabla adjunta (tabla 2).

Tabla 2. Resultados de los ensayos sobre los alambres de 6 semiviguetas y una vigueta.

Identificación	Lecturas $\mu$	Tensiones (Mpa)
AL 3/2 Forjado JA	-3755 -3755	774
AL 1/1 Forjado JA	-1928 -4521	664
AL 2/2 Forjado JA	-4198 -3724	890
AL 4/3 Forjado JA	-5157 -2100	747
IL 1/2 Forjado I.I	-3555 -3555	732
IL 4/1 Forjado I.I	-3660 -3660	754
RA 1 Forjado R.A.	-5000	1000
<ul style="list-style-type: none"> <li>· El módulo de elasticidad del acero en los 6 primeros es 206000M Pa</li> <li>· El módulo de elasticidad del acero de la vigueta es de 200000 MPa</li> <li>· En tres alambres se observa la presencia de una componente de flexión que ha sido contrastado por el hecho de que los alambres se curvan una vez cortados. El orden de magnitud de este efecto se ha evaluado por cálculo encontrándose valores perfectamente concordantes con los observados.</li> <li>· Las semiviguetas se ensayaron tras su extracción y la vigueta "in situ"</li> </ul>		

Caso (A): Las pérdidas teniendo en cuenta la tensión inicial de 1200 Mpa resultan de un 16.6%

Caso (B): Las pérdidas teniendo en cuenta la tensión inicial de 1270 Mpa resultan de un 40% a 50%

Los resultados de las pruebas de carga en servicio y en rotura para el forjado de semivigas se adjuntan en la tabla 3. Las semivigas en las que se cortaron los alambres corresponden a tramos de forjado equivalentes, y se extrajeron de tramos adyacentes a los ensayados.

Tabla 3. Resultados de las pruebas de carga de los forjados.

	Momento (m.kp)	Contraflecha (mm)	Fisuración ( )	Rotura ( f )	Relación entre rot/fis.
FORJADOS EDIFICIO I.I	2035	2	1,7	2,87	1,67
	2035	4	2,16	2,75	1,27
	3337	11	1,16	2,05	1,7
	3337	2	1	1,54	1,5
FORJADOS EDIFICIO J.A	3277	2	1,25	1,89	1,15
	3557	10,5	1	1,33	1,33
	3557	2,5	0,75	1,14	1,8
	2577	5	1,25	1,8	1,67
FORJADOS EDIFICIO J.C.	3446	13,5	1,22	1,51	1,45
	3337	12,5	1	1,38	1,38
	2787	3	1,25	2	1,6
	2787	6	1,1	1,92	1,73
	2787	3	1,22	2	1,64
	2787	9	1,11	2	1,8
	1815	1	1,6	3,2	2
	1815	7	1,89	3	1,6

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Como se puede observar en el primer caso las pérdidas teóricas son superiores a las realmente medidas en el ensayo. Al obtener este resultado se volvió a realizar el cálculo teniendo en cuenta la pérdida de resistencia del hormigón de cemento aluminoso con el tiempo y también variando las sollicitaciones, pero esto no supuso una variación importante en el resultado final.

En el primer caso (A) las pérdidas teóricas son mayores que las obtenidas en el ensayo: ¿no se ha producido ningún deterioro, ninguna pérdida de resistencia? es más, ¿se ha ganado resistencia?. En absoluto, lo único que ha sucedido es que las pérdidas reales son menores y no se conoce formulación específica que dé resultados más aproximados a los reales, porque a pesar de los numerosos estudios sobre el comportamiento del hormigón con cemento aluminoso, su comportamiento en viguetas pretensadas apenas es conocido: ¿cómo afecta el ambiente a estos elementos?, ¿cómo se deben evaluar las pérdidas?, ¿afecta a las pérdidas que sea semivigueta o vigueta?, ¿cómo afecta la historia de cargas?

Al realizar un solo ensayo el resultado solo sirve para abrir la discusión y proponer ampliar los ensayos de este tipo.

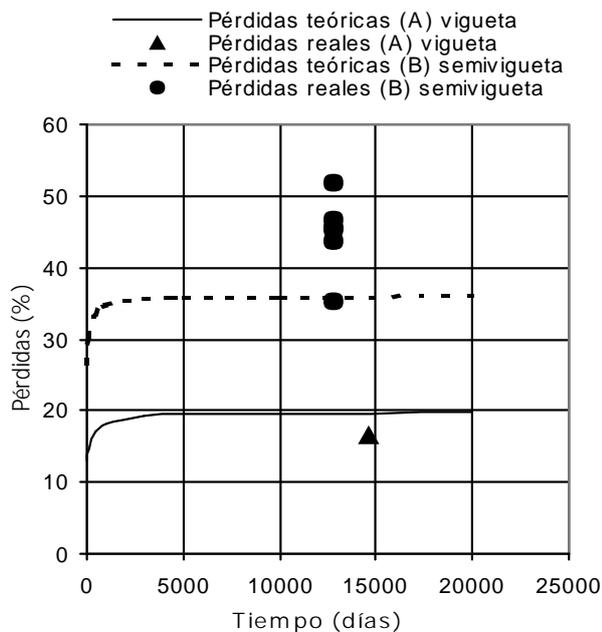


Figura 4 – Gráfica comparativa entre las pérdidas teóricas y las pérdidas reales.

En el segundo caso (B) las pérdidas son realmente importantes, siendo las teóricas menores que las reales, con lo que es posible que la diferencia pueda deberse a alguno de los mecanismos de degradación vistos anteriormente, en especial al aumento de porosidad por la conversión de los aluminatos. Se pudieron hacer 16 pruebas de carga en las que se midieron las deformaciones en forjados de semiviguetas pretensadas de cemento aluminoso, en servicio y hasta llevarlos a rotura. Los momentos de fisuración medidos en los forjados resultaron ser mayores que los teóricos calculados. Las flechas teóricas en servicio calculadas fueron mayores que las medidas. De lo mismo se deduce que a pesar de las pérdidas obtenidas, otros mecanismos resistentes no considerados diluyen la importancia de las pérdidas.

Los valores obtenidos en los ensayos de rotura por flexión, donde por otra parte ya no tienen influencia las pérdidas de pretensado, tienen mucha dispersión. Estas pérdidas podrían afectar, en todo caso a una rotura por esfuerzo de corte en los apoyos, que aquí no se produce.

Tabla 4. Comparación de los resultados de los ensayos con los cálculos teóricos

FORJADO B		VALORES TEÓRICOS		ENSAYOS	
	Luz (m)	Momento de fisuración teórico (mxkg)	Flecha teórica (cm)	Momento de fisuración (mxkg)	Flecha (cm)
FORJADOS EDIFICIO I.I.	5,6	2.690	0,50	3.290	0,41
	5,6		0,50	4.600	0,3
	5,5		0,46	4.300	0,4
	5,6		0,50	3.270	0,53
	5,5		0,46	4.900	0,26
FORJADOS EDIFICIO J.A.	5,7		0,60	3.120	0,43
	6		0,73	1.870	0,5
	5,7		0,60	3.120	0,41
	5,8		0,64	2.890	0,44
	5,7		0,60	2.980	0,7
FORJADOS EDIFICIO J.C.	5,8		0,70	4.030	0,53
	6,2		0,91	3.580	0,76
	6,2		0,91	3.880	0,62
	6,3		0,97	3.600	0,60
	6,2		0,91	3.300	0,51
	6,4		1,04	3.800	0,7

## CONCLUSIONES

De los ensayos realizados en las semiviguetas y la vigueta para evaluar la pérdida de pretensado de los cables, y sobre tramos de forjado para estudiar la repercusión de dichas pérdidas, se puede concluir lo siguiente:

- Se ha establecido una metodología para medir las pérdidas de pretensado en alambres de viguetas y semiviguetas pretensadas de cemento aluminoso con una vida útil de más de 30 años.
- Se ha constatado en el caso de vigueta completa valores normales de pérdidas, y en el caso de semiviguetas valores altos, algo superiores a los teóricos. Al ser el número de viguetas ensayado escaso, no se pueden extrapolar conclusiones que permitan definir órdenes de magnitud de pérdidas adicionales por el hecho de ser viguetas fabricadas con cemento aluminoso.
- El desconocimiento de la historia de cargas y los valores medios dados como hipótesis de partida suponen una limitación a la validación de los modelos de comportamiento, constatándose con los ensayos realizados una buena respuesta en servicio, a pesar de las pérdidas adicionales.
- Se considera importante ampliar este tipo de ensayos que permite definir la capacidad residual en servicio. Mientras no existan modelos que consideren esta posible pérdida adicional, se considera técnicamente adecuado medirla en

cada caso con ensayos semidestructivos como los planteados para valorar el coeficiente de mayoración de acciones en servicio.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores quieren agradecer a la “Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica” (CIRIT) de la Generalitat de Catalunya la financiación concedida para la realización del presente trabajo a través del proyecto de innovación tecnológica “Diagnosi mitjançant mètodes destructius i semidestructius a elements constructius. Aplicació a bigues i forjats pretensats”.

### **REFERENCIAS**

(1) COTCA, Proyecto de investigación: “Diagnosi mitjançant mètodes destructius i semidestructius a elements constructius. Aplicació a bigues i forjats pretensats” para la “Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica” (CIRIT) 1995. Barcelona.

(2) CALAVERA, J. “Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado”. TOMO I. INTEMAC. 1996. Madrid.

(3) E.M. LEA y DESCH. “Química del cemento y el hormigón” 3ª edición. Edward Arnold Editores, 1970. Londres.

(4) Comisión Permanente del Hormigón. “Instrucción de Hormigón Estructural EHE”, Ministerio de Fomento. 1999. Madrid.

(5) Grupo Español del Hormigón. "Caracterización de las propiedades diferidas del hormigón y su incidencia estructural", Boletín Nº 22. 1998.