

# ÍNDICE

## ÍNDICE DE FIGURAS Y FOTOGRAFÍAS

## ÍNDICE DE TABLAS

	<i>pág.</i>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1.1</b>
1.1 Antecedentes.....	1.1
1.2 Objetivos.....	1.2
1.3 Contenido del documento.....	1.3
<b>2. ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>2.1</b>
2.1 Descripción del fenómeno adherente.....	2.1
2.2 Mecanismos adherentes.....	2.2
2.3 Parámetros que afectan a la adherencia.....	2.5
2.3.1 Parámetros asociados al hormigón.....	2.5
2.3.2 Parámetros asociados a la armadura.....	2.8
2.3.3 Parámetros asociados al diseño.....	2.10
2.3.4 Parámetros asociados al procedimiento de fabricación.....	2.11
2.3.5 Parámetros asociados a la variación del comportamiento adherente con el tiempo.....	2.12
2.4. Métodos experimentales para determinar la longitud de transmisión....	2.22
2.4.1 Simulación de la zona de transmisión.....	2.22
2.4.2 Medición de las deformaciones en la superficie del hormigón....	2.23
2.4.3 Medición del deslizamiento de la armadura pretensada.....	2.25
2.4.4 Medición de la fuerza de pretensado.....	2.26
2.5. Expresiones para calcular las longitudes de transmisión.....	2.28
2.5.1 Cálculo de la longitud de transmisión.....	2.28
2.5.2 Cálculo de la longitud de transmisión a partir de la penetración de la armadura.....	2.33

2.6. Pérdidas de pretensado.....	2.36
2.6.1 Introducción.....	2.36
2.6.2 Estudios previos de la pérdida de fuerza de pretensado.....	2.37
2.6.3 Técnicas experimentales para determinar las pérdidas de pretensado.....	2.51
2.6.4 Métodos de cálculo de las pérdidas de pretensado.....	2.53
<b>3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>3.1</b>
3.1 Variables analizadas.....	3.1
3.2 Parámetros fijos del ensayo de adherencia.....	3.2
3.3 Materiales empleados.....	3.3
3.3.1 Componentes del hormigón.....	3.3
3.3.2 Armaduras.....	3.4
3.4 Dosificaciones de los hormigones.....	3.5
3.4.1 Dosificación del hormigón tradicional.....	3.5
3.4.2 Dosificación del hormigón Autocompactante.....	3.6
3.4.3 Dosificación del hormigón con fibras.....	3.7
3.4.4 Dosificación del hormigón reciclado.....	3.7
3.5 Ensayos de caracterización del hormigón y sus constituyentes.....	3.8
3.5.1 Ensayos de caracterización de los componentes del hormigón...	3.8
3.5.2 Ensayos de caracterización del hormigón en estado fresco.....	3.8
3.5.3 Ensayos de caracterización del hormigón en estado endurecido	3.9
3.6 Caracterización de las propiedades adherentes iniciales.....	3.10
3.7 Determinación del comportamiento adherente diferido.....	3.11
3.8 Programa de ensayos.....	3.12
<b>4. METODOLOGÍA DE ENSAYO (ECADA+).....</b>	<b>4.1</b>
4.1 Fundamentos del método de ensayo.....	4.2
4.2 Descripción del dispositivo de ensayo ECADA+.....	4.3
4.3 Instrumentación adicional.....	4.7

4.4	Procedimiento operativo.....	4.9
4.4.1	Etapa de preparación.....	4.10
4.4.2	Etapa ensayo inicial.....	4.12
4.4.3	Etapa ensayo diferido.....	4.14
4.5	Comprobación del sistema AMA.....	4.15
4.6	Requerimientos del sistema AMA.....	4.18
4.7	Criterio de interpretación de los resultados.....	4.20
4.7.1	Criterio para determinar la longitud de transmisión inicial.....	4.20
4.7.2	Criterio para determinar la longitud de transmisión diferida.....	4.21
4.7.3	Criterio para determinar los valores medios de la deformación del hormigón a lo largo de la longitud de la probeta.....	4.22
<b>5.</b>	<b>PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>5.1</b>
5.1	Resultados de ensayos de caracterización de los hormigones.....	5.1
5.1.1	Caracterización en estado fresco .....	5.1
5.1.2	Caracterización en estado endurecido.....	5.1
5.2	Resultados de caracterización de las propiedades adherentes iniciales..	5.5
5.2.1	Resultados de longitud de transmisión inicial (ECADA+).....	5.5
5.2.1.1	<i>Pérdida de fuerza</i> .....	5.5
5.2.1.2	<i>Fuerza transmitida</i> .....	5.6
5.2.2	Resultados de la longitud de transmisión inicial con el método de deslizamientos.....	5.7
5.2.2.1	<i>Deslizamiento en el extremo libre</i> .....	5.7
5.2.2.2	<i>Deslizamiento en el extremo de arrancamiento</i> .....	5.8
5.2.3	Resultados de longitud de transmisión inicial con el método de deformaciones longitudinales del hormigón (DEMEC).....	5.9
5.2.4	Resultados de la longitud de anclaje.....	5.11
5.2.5	Resumen de resultados.....	5.12
5.3	Resultados del comportamiento adherente diferido.....	5.15
5.3.1	Resultados de la longitud de transmisión diferida (ECADA+).....	5.15
5.3.1.1	<i>Pérdida de fuerza</i> .....	5.16
5.3.1.2	<i>Fuerza transmitida</i> .....	5.17
5.3.2	Resultados de longitud de transmisión diferida método de deslizamientos.....	5.18
5.3.2.1	<i>Deslizamientos en el extremo libre</i> .....	5.19

5.3.3	Resultados de la longitud de transmisión diferida con el método de deformaciones longitudinales del hormigón (DEMEC).....	5.20
5.3.4	Resumen de resultados.....	5.21
5.3.5	Resultados de retracción del hormigón.....	5.23
5.3.6	Resultados pérdida de fuerza de pretensado.....	5.24
5.3.6.1	<i>Pérdida de fuerza de pretensado con el método ECADA+.....</i>	5.24
5.3.6.2	<i>Pérdida de fuerza de pretensado a partir de las deformaciones del hormigón (DEMEC).....</i>	5.25
5.3.7	Resumen de resultados.....	5.27
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>6.1</b>
6.1	Análisis de la longitud de transmisión diferida con el método ensayo ECADA+.....	6.1
6.2	Análisis de la longitud de transmisión diferida a partir de los deslizamientos en el extremo libre.....	6.8
6.2.1	Análisis de los resultados obtenidos por el método ECADA+ y por el criterio de deslizamientos en el extremo libre de la probeta.....	6.9
6.2.2	Comparación de los resultados obtenidos por el método ECADA+ y los resultados obtenidos con por la expresión de Guyon.....	6.11
6.3	Análisis de la longitud de transmisión diferida con el método de deformaciones longitudinales de la probeta de hormigón (DEMEC).....	6.20
6.3.1	Análisis paramétrico de la longitud de transmisión diferida con el método del 95% AMS.....	6.23
6.3.1.1	<i>Edad de destesado.....</i>	6.24
6.3.1.2	<i>Resistencia a compresión del hormigón.....</i>	6.27
6.3.1.3	<i>Sección transversal de la probeta.....</i>	6.29
6.3.1.4	<i>Tipo de destesado.....</i>	6.30
6.3.1.5	<i>Hormigones especiales.....</i>	6.31
6.3.1.6	<i>Resumen.....</i>	6.34
6.3.2	Comparativas de las deformaciones diferidas en el tramo de meseta.....	6.35
6.3.2.1	<i>Edad de destesado.....</i>	6.35
6.3.2.2	<i>Resistencia del hormigón.....</i>	6.37
6.3.2.3	<i>Sección transversal.....</i>	6.38
6.3.2.4	<i>Hormigones especiales.....</i>	6.38

---

6.3.3	Comparación de la longitud de transmisión diferida con el método de ensayo ECADA+ y el método deformaciones longitudinales de la probeta de hormigón (DEMEC).....	6.41
6.4	Propuesta de un factor adicional para la ecuación de la longitud de transmisión diferida.....	6.42
6.5	Análisis de la fuerza de pretensado medida con el método ECADA+.....	6.43
6.5.1	Edad de destesado.....	6.45
6.5.2	Resistencia a compresión del hormigón.....	6.45
6.5.3	Sección transversal de la probeta.....	6.47
6.5.4	Tipo de destesado.....	6.48
6.5.5	Hormigones especiales.....	6.49
6.6	Análisis de la fuerza de pretensado a partir de las deformaciones del hormigón en el tramo de meseta (DEMEC).....	6.51
6.6.1	Edad de destesado.....	6.53
6.6.2	Resistencia del hormigón.....	6.55
6.6.3	Sección transversal de la probeta.....	6.56
6.6.4	Tipo de destesado.....	6.56
6.6.5	Hormigones especiales.....	6.58
6.7	Comparación de la fuerza de pretensado experimental obtenida con el método ECADA+ y a partir de las deformaciones en el tramo de meseta de la probeta de hormigón.....	6.59
6.8	Pérdidas experimentales instantáneas y diferidas de pretensado.....	6.64
6.9	Estimación del módulo de deformación del hormigón a partir de las deformaciones medias del hormigón.....	6.66
6.10	Métodos de calculo de las pérdidas de pretensado.....	6.72
6.10.1	PCI Design Handbook (2010).....	6.72
6.10.2	PCI Committee on prestress losses (1975).....	6.75
6.10.3	AASHTO Standard (2003).....	6.78
6.10.4	AASHTO LRFD (métodos Aproximado y Refinado) (2012).....	6.80
6.10.5	Código Modelo (2010), Eurocódigo 2 (2010), Instrucción de Hormigón Estructural EHE (2008).....	6.84
6.11	Comparación entre las pérdidas de pretensado experimentales y las estimadas mediante métodos de cálculo.....	6.90

<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS</b>	<b>7.1</b>
7.1 Conclusiones.....	7.1
7.1.1 Sobre la metodología de ensayo.....	7.1
7.1.2 Sobre el comportamiento diferido de la longitud de transmisión	7.2
7.1.3 Sobre el comportamiento de la evolución de las pérdidas de pretensado.....	7.3
7.2 Recomendaciones para trabajos futuros.....	7.5

## REFERENCIAS

### ANEJOS

- ANEJO A. Longitud de transmisión inicial. Método de fuerzas (ECADA+)
- ANEJO B. Longitud de transmisión inicial. Método deslizamientos
- ANEJO C. Longitud de transmisión inicial. Método de deformaciones longitudinales en el hormigón (95% AMS)
- ANEJO D. Longitud de anclaje
- ANEJO E. Pérdida de pretensado (Probetas)
- ANEJO F. Pérdida de pretensado (Series)
- ANEJO G. Longitud de transmisión diferida. Método de fuerzas (ECADA+)
- ANEJO H. Evolución de deslizamientos en el extremo libre con el tiempo
- ANEJO I. Longitud de transmisión diferida. Método deslizamientos
- ANEJO J. Longitud de transmisión diferida. Método de deformaciones longitudinales en el hormigón (95% AMS)
- ANEJO K. Retracción del hormigón
- ANEJO L. Evolución de deformaciones longitudinales del hormigón en el tramo de meseta con el tiempo
- ANEJO M. Pérdidas de pretensado en el tramos de meseta
- ANEJO N. Comparación de las pérdidas de pretensado y las pérdidas en el tramo de meseta
- ANEJO O. Cálculo de las pérdidas de pretensado según modelos teóricos

## ÍNDICE DE FIGURAS Y FOTOGRAFÍAS

- Figura 2.2.1. Equilibrio de fuerzas alrededor de una barra corrugada
- Figura 2.2.2. Fallos de la adherencia: (a) por hendimiento; (b) por arrancamiento de la barra
- Figura 2.2.3. Efecto Hoyer producido por la transmisión de la fuerza de pretensado
- Figura 2.2.4. Idealización de la distribución de tensiones a lo largo de un elemento de hormigón pretensado después de la transmisión del pretensado
- Figura 2.4.1.1. Principios de la técnica de push-in test (basado en Keuning et al. según CEB (1981))
- Figura 2.4.2.1. Ejemplo de determinación de la longitud de transmisión (Russell y Burns (1996))
- Figura 2.4.2.2. Esquema de ensayo realizado (Vandewalle y Mortelmans (1994))
- Figura 2.4.3.1. Variación de deformaciones a lo largo de la longitud de transmisión. (a) Distribución constante de tensión adherente. (b) Distribución lineal de la tensión adherente
- Figura 2.4.4.1. Esquema del equipo de ensayo (Martí (2002))
- Figura 3.3.1.1. Granulometría cemento, áridos y finos
- Figura 4.1. Idealización de secciones de probeta para reproducir el método de ensayo ECADA
- Figura 4.1.1. Idealización de la variación de tensión de la armadura pretensa tras el destesado (a) sin variación de  $L_t$  y (b) variando  $L_t$  con el tiempo
- Figura 4.2.1. Esquema general del equipo utilizado
- Figura 4.2.2. Esquema del sistema AMA
- Figura 4.4.1. Esquema en planta de las fases del ensayo ECADA
- Figura 4.5.1. Idealización de las pérdidas de pretensado tras el destesado
- Figura 4.6.1. Idealización de la longitud de transmisión inicial (a) y diferida (b) con el método de ensayo ECADA+
- Figura 4.7.1.1. Determinación de la longitud de transmisión a partir de la fuerza transmitida, mediante el ensayo ECADA. Perfil de fuerzas tras el destesado
- Figura 4.7.2.1. Determinación de la longitud de transmisión diferida, sin variación de la longitud de transmisión
- Figura 4.7.2.2. Determinación de la longitud de transmisión diferida, variando de la longitud de transmisión
- Figura 4.7.3.1. Determinación de la deformación media del hormigón de los puntos medios de las bases de medida

- Figura 5.2.1.1.1. Determinación de la longitud de transmisión inicial por el método de la pérdida de fuerza. Pérdida de fuerza vs. Longitud adherente. Serie HT-B-100-48
- Figura 5.2.1.2.1. Determinación de la longitud de transmisión inicial por el método de la fuerza transmitida. Fuerza transmitida vs. Longitud adherente. Serie HT-B-100-48
- Figura 5.2.2.1.1. Determinación de la longitud de transmisión inicial por el método de deslizamientos en el extremo de transmisión. Deslizamiento vs. Longitud adherente. Probetas HT-B-100-48
- Figura 5.2.2.2.1. Determinación de la longitud de transmisión inicial por el método de deslizamientos en el extremo de arrancamiento. Deslizamiento vs. Longitud adherente. Serie HT-B-100-48
- Figura 5.2.3.1. Determinación de la longitud de transmisión inicial por el método del 95% AMS. Deformación vs. Longitud de probeta. Probeta HT-A-80-24-LS
- Figura 5.2.4.1. Determinación de la longitud de anclaje. Fuerza de arrancamiento vs. Longitud adherente. Series HT-B-100-48
- Figura 5.3.1.1. Fuerza de pretensado vs. Tiempo. Serie de probetas HT-C-80-48
- Figura 5.3.1.1.1. Longitud de transmisión diferida por el método de la pérdida de fuerza. Pérdida de fuerza vs. Longitud adherente. Series HT-B-100-24
- Figura 5.3.1.2.1. Longitud de transmisión diferida por el método de fuerza transmitida. Fuerza transmitida vs. Longitud adherente. Serie HT-B-100-24
- Figura 5.3.2.1. Deslizamiento en el extremo libre vs. Tiempo. Serie HT-C-80-48
- Figura 5.3.2.1.1. Longitud de transmisión diferida por el método de deslizamientos en el extremo libre. Deslizamiento vs. Longitud adherente. Serie HT-B-100-24
- Figura 5.3.3.1. Longitud de transmisión por el método del 95% de la media de las deformaciones máximas. Deformación vs. Longitud de probeta. Probeta HT-B-100-24-LS
- Figura 5.3.5.1. Retracción media del hormigón tipo A. Deformación longitudinal del hormigón vs. Tiempo
- Figura 5.3.6.1.1. Pérdida de fuerza y porcentaje diferido en el sistema AMA. Probeta HT-A-100-24-LS
- Figura 5.3.6.2.1. Deformación media en el tramo de meseta respecto al tiempo. Probeta HT-A-100-24-LS
- Figura 5.3.6.2.2. Pérdida de fuerza y porcentaje diferido en el tramo de meseta. Probeta A-100-24-GA
- Figura 5.3.6.2.3. Deformación media en el tramo de meseta, fluencia y retracción de la probeta HT-A-100-24-LS en el tiempo



- Figura 6.1.1. Fuerza transmitida a lo largo del tiempo para la serie de probetas HT-A-100-24
- Figura 6.1.2. Fuerza transmitida a lo largo del tiempo para la serie de probetas HT-A-80-24
- Figura 6.1.3. Longitud de transmisión sin variación en el tiempo por el método ECADA. Fuerza vs. Longitud adherente. Serie HT-A-100-24
- Figura 6.1.4. Longitud de transmisión diferida con variación en el tiempo por el método ECADA. Fuerza vs. Longitud adherente. Serie HT-A-80-24
- Figura 6.1.5. Porcentaje de incremento de la longitud de transmisión vs. Nivel de tensiones en el hormigón
- Figura 6.2.1. Deslizamiento diferido para la serie de probetas HT-A-80-24
- Figura 6.2.2. Longitud de transmisión diferida por el método del deslizamiento en el extremo libre. Serie de probetas HT-A-80-24
- Figura 6.2.1.1. Longitud de transmisión diferida por el criterio de pérdida de fuerza y deslizamientos en el extremo libre. Serie de probetas HT-A-100-24
- Figura 6.2.1.2. Comparación de la longitud de transmisión inicial y diferida según el criterio de pérdida de fuerza y deslizamientos en el extremo libre para las diferentes series
- Figura 6.2.2.1. Comparativa de los resultados según el criterio de deslizamientos y ECADA+. Serie HT-A-80-24
- Figura 6.2.2.2. Comparativa de los resultados según el criterio de deslizamientos y ECADA+. Serie HT-A-100-12
- Figura 6.2.2.3. Comparativa de los resultados según el criterio de deslizamientos y ECADA+. Serie HT-A-100-24
- Figura 6.2.2.4. Comparativa de los resultados según el criterio de deslizamientos y ECADA+. Serie HT-B-80-24
- Figura 6.2.2.5. Comparativa de los resultados según el criterio de deslizamientos y ECADA+. Serie HT-B-80-48
- Figura 6.2.2.6. Comparativa de los resultados según el criterio de deslizamientos y ECADA+. Serie HT-B-100-24
- Figura 6.2.2.7. Comparativa de los resultados según el criterio de deslizamientos y ECADA+. Serie HT-B-100-48
- Figura 6.2.2.8. Comparativa de los resultados según el criterio de deslizamientos y ECADA+. Serie HT-C-80-48
- Figura 6.2.2.9. Comparativa de los resultados según el criterio de deslizamientos y ECADA+. Serie HT-C-100-24
- Figura 6.2.2.10. Comparativa de los resultados según el criterio de deslizamientos y ECADA+. Serie HT-C-100-48

- Figura 6.2.2.11. Coeficiente  $\alpha$  según los resultados experimentales para las diferentes series dependiendo el tipo de hormigón
- Figura 6.3.1. Longitud de transmisión por el método de la media de las deformaciones máximas (DEMEC). Deformación Vs. Longitud de probeta. Probeta HT-A-100-24-LS
- Figura 6.3.2. Longitud de transmisión por el método de la media de las deformaciones máximas (DEMEC). Deformación vs. Longitud de probeta. Probeta HT-A-100-12-LS
- Figura 6.3.1.1.1. Variación de la longitud de transmisión diferida destesado 6, 12 y 24 horas. Sección 100x100 mm<sup>2</sup>. Hormigón tipo A
- Figura 6.3.1.1.2. Variación de la longitud de transmisión diferida destesado 24 y 48 horas. Sección 100x100 mm<sup>2</sup>. Hormigón tipo B y C
- Figura 6.3.1.1.3. Variación de la longitud de transmisión diferida destesado 12 y 24 horas. Sección 80x80 mm<sup>2</sup>. Hormigón tipo A
- Figura 6.3.1.1.4. Variación de la longitud de transmisión diferida destesado 24 y 48 horas. Sección 80x80 mm<sup>2</sup>. Hormigón tipo B
- Figura 6.3.1.1.5. Variación de la longitud de transmisión diferida destesado 24 y 48 horas. Sección 60x60 mm<sup>2</sup>. Hormigón tipo A
- Figura 6.3.1.2.1. Variación de la longitud de transmisión diferida hormigones tipo A, B y C. Sección 100x100 mm<sup>2</sup>. Destesado 24 horas
- Figura 6.3.1.2.2. Variación de la longitud de transmisión diferida hormigones tipo A, B y C. Sección 100x100 mm<sup>2</sup>, 80x80 mm<sup>2</sup> y 60x60 mm<sup>2</sup>. Destesado 48 horas
- Figura 6.3.1.3.1. Variación de la longitud de transmisión diferida secciones 100x100 mm<sup>2</sup>, 80x80 mm<sup>2</sup> y 60x60 mm<sup>2</sup>. Hormigones tipo A, y B. Destesado 24 horas
- Figura 6.3.1.3.2. Variación de la longitud de transmisión diferida secciones 100x100 mm<sup>2</sup>, 80x80 mm<sup>2</sup> y 60x60 mm<sup>2</sup>. Hormigones tipo B, y C. Destesado 48 horas
- Figura 6.3.1.4.1. Variación de la longitud de transmisión diferida. Destesado súbito y gradual. Destesado 12 y 24 horas. Sección 100x100 mm<sup>2</sup> y 80x80 mm<sup>2</sup>. Hormigón tipo A
- Figura 6.3.1.5.1. Variación de la longitud de transmisión diferida hormigones tipo B y HR. Sección 100x100 mm<sup>2</sup>. Destesado 48 horas
- Figura 6.3.1.5.2. Variación de la longitud de transmisión diferida hormigones tipo A y FA. Sección 60x60 mm<sup>2</sup>. Destesado 24 horas
- Figura 6.3.1.5.3. Variación de la longitud de transmisión diferida hormigones HAC. Sección 100x100 mm<sup>2</sup>. Destesado 48 horas
- Figura 6.3.3. Variación de la pendiente en el tramo discontinuo en función del nivel de tensiones

- Figura 6.3.2.1.1. Influencia de la edad de destesado en la deformación longitudinal en el tramo de meseta para (a) hormigón A y sección 100x100 mm<sup>2</sup>, (b) hormigón A y sección 80x80 mm<sup>2</sup>, (c) hormigón A y sección 60x60 mm<sup>2</sup>, (d) hormigón B y sección 100x100 mm<sup>2</sup>, (e) hormigón B y sección 80x80 mm<sup>2</sup>, (f) hormigón C y sección 100x100 mm<sup>2</sup>
- Figura 6.3.2.2.1. Influencia de la resistencia del hormigón en la deformación longitudinal en el tramo de meseta para (a) HT-A-60-48-LS/ HT-B-60-48-LS, (b) HT-A-80-24-LS/HT-B-80-24-LS, (c) HT-B-80-48-LS/ HT-C-80-48-LS, (d) HT-A-100-24-LS/ HT-B-100-24-LS/ HT-C-100-24-LS
- Figura 6.3.2.3.1. Influencia de la sección transversal en la deformación longitudinal en el tramo de meseta para (a) hormigón A y destesado a 24 horas, (b) hormigón A y destesado a 12 horas, (c) hormigón B y destesado a 48 horas, (d) hormigón B y destesado a 24 horas, (e) hormigón C y destesado a 48 horas
- Figura 6.3.2.4.1. Influencia del tipo de hormigón en la deformación longitudinal en el tramo de meseta para (a) HR-100-48-LS/HT-B-100-48-LS, (b) FA-60-24-LS/HT-A-60-24-LS y (c) HAC-100-48-LS
- Figura 6.3.3.1. Comparación de la longitud de transmisión inicial y diferida según los criterios de fuerzas y 95% AMS
- Figura 6.3.3.2. Relación de la longitud de transmisión inicial y diferida según los criterios de fuerzas y 95% AMS
- Figura 6.5.1. Fuerza de pretensado y porcentaje de pérdidas con el tiempo. Probeta HT-A-100-24-LS
- Figura 6.5.1.1. Influencia de la edad de destesado en la pérdida de fuerza en el sistema AMA para (a) HT-A-100-6-LS/HT-A-100-12-LS/HT-A-100-24-LS, (b) HT-B-100-24-LS/HT-B-100-48-LS, HT-C-100-24-LS/HT-C-100-48-LS, (c) HT-A-80-12-LS/HT-A-80-24-LS, (d) HT-B-80-24-LS/ HT-B-80-48-LS y (e) HT-A-60-24-LS/HT-A-60-48-LS
- Figura 6.5.2.1. Influencia de la resistencia del hormigón en la pérdida de fuerza en el sistema AMA para (a) HT-A-60-48-LS/HT-B-60-48-LS, (b) HT-A-80-24-LS/HT-B-80-24-LS, (c) HT-B-80-48-LS/HT-C-80-48-LS y (d) HT-A-100-24-LS/HT-B-100-24-LS/HT-C-100-24-LS
- Figura 6.5.3.1. Influencia de la sección transversal en la pérdida de fuerza en el sistema AMA para (a) HT-A-100-24-LS/HT-A-80-24-LS/HT-A-60-24-LS, HT-B-100-24-LS/HT-B-80-24-LS (b) HT-B-100-48-LS/ HT-B-80-48-LS/HT-B-60-48-LS, HT-C-100-48-LS/HT-C-80-48-LS y (c) HT-A-100-12-LS/HT-A-80-12-LS
- Figura 6.5.4.1. Influencia del tipo de destesado en la pérdida de fuerza en el sistema AMA para HT-A-100-24-LS/HT-A-100-24-LS-FA, HT-A-

- 100-12-LS/HT-A-100-12-LS-FA, HT-A-80-24-LS/HT-A-80-24-LS-FA
- Figura 6.5.5.1. Influencia del tipo de hormigón en la pérdida de fuerza en el sistema AMA para (a) HR-100-48-LS/HT-B-100-48-LS, (b) FA-60-24-LS/HT-A-60-24-LS y (c) HAC-100-48-LS
- Figura 6.6.1. Perfil bilineal de las deformaciones longitudinales del hormigón
- Figura 6.6.2. Fuerza de pretensado y % de pérdidas en el tramo de meseta. Probeta HT-A-100-24-LS
- Figura 6.6.1.1. Influencia de la edad de destesado en la pérdida de fuerza en el sistema AMA para (a) HT-A-100-6-LS/HT-A-100-12-LS/HT-A-100-24-LS, (b) HT-B-100-24-LS/HT-B-100-48-LS, HT-C-100-24-LS/HT-C-100-48-LS, (c) HT-A-80-12-LS/HT-A-80-24-LS, (d) HT-B-80-24-LS/HT-B-80-48-LS y (e) HT-A-60-24-LS/HT-A-60-48-LS
- Figura 6.6.2.1. Influencia de la resistencia del hormigón en la pérdida de fuerza en el sistema AMA para (a) HT-A-100-24-LS/HT-B-100-24-LS/HT-C-100-24-LS, (b) HT-A-80-24-LS/HT-B-80-24-LS, (c) HT-B-80-48-LS/HT-C-80-48-LS y (d) HT-A-60-48-LS/HT-B-60-48-LS
- Figura 6.6.3.1. Influencia de la sección transversal en la pérdida de fuerza en el sistema AMA para (a) HT-A-100-24-LS/HT-A-80-24-LS/HT-A-60-24-LS, HT-B-100-24-LS/HT-B-80-24-LS (b) HT-B-100-48-LS/HT-B-80-48-LS/HT-B-60-48-LS, HT-C-100-48-LS/HT-C-80-48-LS y (c) HT-A-100-12-LS/HT-A-80-12-LS
- Figura 6.6.4.1. Influencia del tipo de destesado en la pérdida de fuerza en el sistema AMA para HT-A-100-24-LS/HT-A-100-24-LS-FA, HT-A-100-12-LS/HT-A-100-12-LS-FA, HT-A-80-24-LS/HT-A-80-24-LS-FA
- Figura 6.6.5.1. Influencia del tipo de hormigón en la pérdida de fuerza en el sistema AMA para (a) HR-100-48-LS/HT-B-100-48-LS, (b) FA-60-24-LS/HT-A-60-24-LS y (c) HAC-100-48-LS
- Figura 6.7.1. Coeficiente basado en la sección transversal de la probeta para calcular las pérdidas de pretensado (a) instantáneo y (b) diferido.
- Figura 6.7.2. Resultados de la pérdida de pretensado instantánea con las predicciones de la ecuación 6.7.1
- Figura 6.7.3. Resultados de la pérdida de pretensado diferida con las predicciones de la ecuación 6.7.1
- Figura 6.8.1. Deformación media en el tramo de meseta, deformación por retracción y fluencia vs. Tiempo. Probeta HT-A-100-24-LS
- Figura 6.8.2. Pérdidas de pretensado y porcentaje de pérdidas medidas experimentalmente
- Figura 6.9.1. Módulos de elasticidad a partir de las deformaciones medias del hormigón

- Figura 6.9.2. Coeficiente corrector del efecto del tamaño de la sección transversal
- Figura 6.9.3. Comparación del módulo de deformación a 28 días experimental y de acuerdo al CM2010.
- Figura 6.11.1. Comparación de las pérdidas de pretensado medidas experimentalmente entre las pérdidas determinadas por modelos teóricos
- Figura 6.11.2. Relación de las pérdidas de pretensado calculadas por modelos teóricos y medidas medias experimentalmente
- Figura 6.11.3. Relación de efectividad de la tensión medida experimentalmente y determinada por medio de modelos teóricos
- Fotografía 4.2.1. Vista general de los bastidores del ensayo
- Fotografía 4.2.2. Dispositivo mecánico de aproximación. (a) Rosca-tuerca. (b) Gato hidráulico
- Fotografía 4.2.3. Dispositivos de anclaje
- Fotografía 4.2.4. (a) Molde, (b) apoyo desplazable y (c) elementos para vibración
- Fotografía 4.2.5. Gato hidráulico para operación de arrancamiento. (a) Gato hidráulico. (b) Placa de empuje. (c) Varilla de tracción. (d) Elementos de apoyo. (e) Soporte desplazable
- Fotografía 4.2.6. Equipo de presión. (a) Equipo de presión. (b) Sistema de control.
- Fotografía 4.3.7. Captadores de desplazamiento. (a) En extremo de transmisión. (b) En extremo de arrancamiento
- Fotografía 4.3.8. (a) Discos de extensometría mecánica. (b) Equipo de medición DEMEC
- Fotografía 4.3.9. (a) Amplificador de frecuencia. (b) Micrómetro
- Fotografía 4.4.1.1. Hormigonado de la probeta
- Fotografía 4.4.1.2. Traslado de probetas
- Fotografía 4.4.1.3. Almacenamiento de probetas ensayo diferido

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 2.3.5.1. Aportaciones cronológicas de diferentes autores relativa a la longitud de transmisión diferida
- Tabla 2.5.1.1. Ecuaciones propuestas para la longitud de transmisión de la literatura
- Tabla 2.5.1.2. Predicción de los valores de límite inferior y límite superior de longitud de transmisión
- Tabla 2.5.2.1. Valores propuesto del coeficiente de forma  $\alpha$  a partir de la fórmula de Guyon

Tabla 2.5.2.2.	Ecuaciones propuestas para la longitud de transmisión a partir de los deslizamientos en la armadura en el extremo libre
Tabla 2.6.2.1.	Aportaciones cronológicas de diferentes autores relativa a las pérdidas de pretensado
Tabla 3.1.1.	Variables contempladas en el programa experimental
Tabla 3.2.1.	Parámetros fijos en el estudio experimental
Tabla 3.3.1.1.	Características principales de los aditivos utilizados en las diferentes dosificaciones
Tabla 3.3.2.1.	Características del cordón de pretensar utilizado
Tabla 3.4.1.1.	Dosificación hormigón tradicional
Tabla 3.4.2.1.	Dosificación Hormigón Autocompactante
Tabla 3.4.3.1.	Dosificación hormigón con fibras
Tabla 3.4.4.1.	Dosificación hormigón reciclado
Tabla 3.5.3.1.	Cronograma de ensayos de caracterización en estado endurecido.
Tabla 3.6.1.	Tipo de probeta y ensayos de caracterización de las propiedades adherentes.
Tabla 3.7.1.	Ensayos comportamiento adherente diferido
Tabla 3.8.1.	Longitudes adherentes por tipo de probeta y tipo de ensayo
Tabla 5.1.1.1.	Ensayos de caracterización en estado fresco
Tabla 5.1.2.1.	Ensayos de caracterización en estado endurecido. Resistencia a Compresión Cúbica
Tabla 5.1.2.2.	Ensayos de caracterización en estado endurecido. Resistencia a Compresión Cilíndrica
Tabla 5.1.2.3.	Ensayos de caracterización en estado endurecido. Resistencia a Tracción
Tabla 5.1.2.4.	Ensayos de caracterización en estado endurecido. Módulo de deformación
Tabla 5.2.5.1.	Resultados iniciales de longitud de transmisión con el criterio de fuerzas y deslizamientos y resultados de la longitud de anclaje con deslizamiento y sin deslizamiento
Tabla 5.2.5.2.	Resultados iniciales de longitud de transmisión con el criterio de observación y el 95% AMS
Tabla 5.3.4.1.	Resultados por serie de la longitud de transmisión diferida con el método ECADA+ y el método de deslizamientos
Tabla 5.3.4.2.	Resultados por probeta de la longitud de transmisión diferida con el método de las deformaciones longitudinales del hormigón
Tabla 5.3.7.1.	Resultados de la pérdida de pretensado medidas con el ensayo ECADA+
Tabla 5.3.7.2.	Resultados de la pérdida de pretensado medidas a partir de las deformaciones del hormigón en el tramo de meseta

---

Tabla 6.1.1.	Resumen de la variación de la longitud de transmisión diferida para las diferentes series
Tabla 6.3.1.	Resumen de la variación de la longitud de transmisión diferida con el método de deformaciones para las diferentes probetas, según el criterio del 95% AMS y de observación
Tabla 6.7.1.	Comparación de las pérdidas de pretensado medidas en el sistema AMA y calculadas en la probeta de hormigón
Tabla 6.9.1.	Resultados del módulo de deformación del hormigón experimentales y de acuerdo con el MC2010.
Tabla 6.10.1.1.	Pérdidas de pretensado determinadas a partir del modelo teórico PCI DH (2010)
Tabla 6.10.2.1.	Factor de fluencia para la relación volumen superficie
Tabla 6.10.2.2.	Variación de la fluencia con el tiempo después del destesado
Tabla 6.10.2.3.	Factor de retracción para la relación volumen superficie
Tabla 6.10.2.4.	Coefficiente de retracción para varias edades de curado
Tabla 6.10.2.5.	Pérdidas de pretensado determinadas a partir del modelo teórico PCI CPL (1975)
Tabla 6.10.3.1.	Pérdidas de pretensado determinadas a partir del modelo teórico AASHTO Standard (2003)
Tabla 6.10.4.1.	Pérdidas de pretensado determinadas a partir del modelo teórico AASHTO LRFD Aproximado (2012)
Tabla 6.10.4.2.	Pérdidas de pretensado determinadas a partir del modelo teórico AASHTO LRFD Refinado (2012)
Tabla 6.10.5.1.	Valores del coeficiente $K_e$
Tabla 6.10.5.2.	Velocidad de endurecimiento, coeficiente $\alpha_{ds1}$ y $\alpha_{ds2}$
Tabla 6.10.5.3.	Pérdidas de pretensado determinadas a partir del modelo teórico CM (2010), EC-2 (2010) y EHE (2008)

(Esta página se ha dejado intencionalmente en blanco)