

Desarrollo de un nuevo sistema de anclajes planos de postesado para losas de espesor reducido

Development of a new thin slab post-tensioning system

Mariela CORDERO VERGE^a, Rafael DE LA SOTILLA CLARASÓ^b

^a PhD Ingeniera Civil. MK4 WORLD WIDE, S.L. Directora de I+D. mcordero@mekano4.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. MK4 WORLD WIDE, S.L. Presidente. rsotilla@mekano4.com

RESUMEN

Las estructuras destinadas a edificaciones enfrentan el desafío de equilibrar tamaño y esfuerzos estructurales con los requisitos arquitectónicos. Este artículo presenta el desarrollo de un sistema de anclajes planos de postesado innovador, destacando su modularidad, reducción de peso y facilidad de instalación. El sistema fue optimizado mediante modelado por elementos finitos y validado experimentalmente. Los resultados obtenidos permiten cumplir los requisitos normativos vigentes, ofreciendo una solución avanzada y eficiente. Este enfoque contribuye significativamente al progreso en el diseño de losas de hormigón para la industria de la construcción.

ABSTRACT

Building structures face the challenge of balancing size and structural loads with architectural requirements. This paper presents the development of an innovative post-tensioned flat anchorage system, highlighting its modularity, weight reduction and ease of installation. The system has been optimised by finite element modelling and experimentally validated. The results obtained allow compliance with current regulatory requirements and offer an advanced and efficient solution. This approach represents a significant advance in the design of concrete slabs for the civil engineering industry.

PALABRAS CLAVE: postesado, edificación, simulación EF, campaña experimental.

KEYWORDS: post-tensioning, building, FE simulation, experimental campaign.

1. Introducción

El desarrollo de nuevos sistemas de postesado ha permitido superar limitaciones técnicas y responder a las crecientes demandas arquitectónicas y estructurales. Actualmente, los sistemas tradicionales incluyen postesado adherente y no adherente, utilizando elementos como placas de anclaje y trompetas diseñadas para cumplir requisitos normativos^[1] y garantizar durabilidad. Sin embargo, estos sistemas presentan desafíos en eficiencia estructural,

instalación y reducción de peso, especialmente en losas de espesor reducido.

Este trabajo presenta un sistema innovador de anclajes planos de postesado (figura 1), desarrollado con un enfoque modular que reduce peso, optimiza la instalación y mejora la sostenibilidad.

Su diseño ha sido reconocido con un modelo de utilidad por su carácter único y eficiente.



Figura 1. Sistema de postesado plano WW

El sistema WWS (Wedge-Wedge: Cuña-Cuña) introduce un nuevo concepto en la transmisión de cargas. A diferencia de los sistemas tradicionales, donde la placa de anclaje se apoya sobre la trompeta, en este diseño la placa queda embutida dentro de la trompeta, formando un confinamiento similar a una "gran cuña". Este mecanismo optimiza la transferencia de carga en dos niveles:

- Entre los cables y la placa de anclaje, mediante cuñas convencionales unitarias.
- Entre la placa de anclaje y la trompeta, donde la geometría de la trompeta actúa como segunda cuña, encapsulando la placa.

Gracias a esta configuración, la transmisión de carga es más eficiente y estable, logrando que la placa y la trompeta trabajen como un bloque monolítico, lo que reduce tensiones y optimiza la geometría del sistema.

Este desarrollo ha sido validado mediante simulaciones avanzadas de elementos finitos, utilizando formulaciones como Augmented Lagrange y modelado no lineal, lo que permitió analizar la interacción entre placa y trompeta, optimizando la distribución de esfuerzos y garantizando su desempeño bajo cargas extremas. Además, este sistema reduce significativamente la huella de carbono, ya que el acero fundido [2] se utiliza solo en los elementos estructurales críticos, mientras que el resto de los componentes están fabricados con plásticos reciclados de alta durabilidad. Esta optimización contribuye a disminuir el consumo de materiales

y las emisiones de CO₂, alineándose con los objetivos de sostenibilidad del Acuerdo de París y las directrices de la industria de la construcción para reducir su impacto ambiental.

2. Descripción del sistema de anclajes planos desarrollado

El sistema de postesado WWS (figura 2) es un sistema de postesado innovador diseñado para aplicaciones tanto adherentes como no adherentes en estructuras de hormigón y compuestas [3].

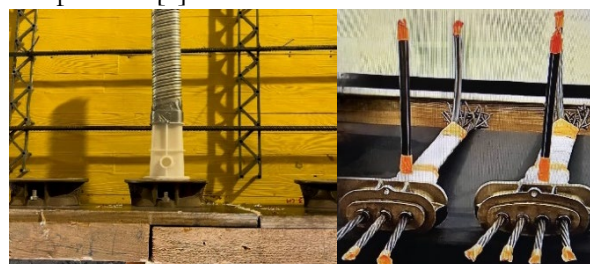


Figura 2. Sistema WWS

Este sistema, evaluado bajo la ETA 22/0340^[1], incluye una serie de componentes que garantizan alta eficiencia estructural y sostenibilidad. Los principales elementos que lo componen son los siguientes:

2.1 Componentes Principales

- Tendones adherentes y no adherentes: Los tendones incluyen cordones de acero de 7 cables trefilados con diámetros de 12.5 mm, 12.9 mm, 15.3 mm y 15.7 mm, y resistencias a tracción características de 1770 N/mm² y 1860 N/mm²^[4].

Los tendones adherentes se rellenan con lechada cementosa para proporcionar adherencia con el hormigón. Los tendones no adherentes están envainados y engrasados individualmente para protección y flexibilidad.

- Anclajes WWS: Consisten en una placa de anclaje y una placa de reparto de fundición (EN-GJS-500-7 y EN-GJS-700-2 según EN 1563), diseñadas para anclar de 2 a 4 cordones con diámetro 0,6" y de 3 a 5

cordones con diámetro 0,5” y transmitir eficientemente las fuerzas al hormigón.

- Desviadores y conductos:

Los desviadores y conductos están fabricados en polietileno de alta densidad (PE) o polipropileno (PP), asegurando protección contra la corrosión y reduciendo el peso total del sistema^[5]. Todos ellos a partir de materiales reciclados.

- Sistemas de protección contra la corrosión:

Se emplean lechadas cementosas o compuestos de grasa o cera según el EAD 160027-00-0301^[6], garantizando la durabilidad del sistema en ambientes exigentes. La figura 3 muestra todos los componentes del sistema de postesado.

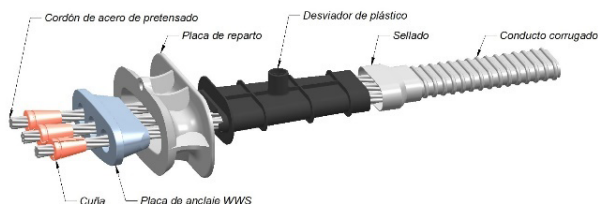


Figura 3. Componentes del sistema WWS adherente.

3. Simulación por Elementos Finitos

La simulación por elementos finitos (EF) fue una herramienta fundamental en el desarrollo del sistema de postesado WWS, permitiendo optimizar los componentes del sistema y predecir su comportamiento bajo diversas condiciones de carga y diferentes diseños. Este enfoque numérico proporcionó información clave sobre la distribución de tensiones, deformaciones y contacto entre los elementos, asegurando un diseño eficiente y seguro antes de proceder a la validación experimental.

3.1 Software y Metodología

El análisis fue realizado utilizando el software Ansys 2018. Se emplearon modelos tridimensionales para capturar la interacción detallada entre los componentes del sistema, considerando aspectos críticos como:

- Contacto no lineal entre superficies.
- Materiales con comportamiento no lineal, utilizando modelos de endurecimiento isotrópico y multilineal.
- Cargas aplicadas de forma incremental, simulando condiciones reales de operación.

3.2 Creación de la Malla

La generación de la malla fue un paso crucial para garantizar la precisión del análisis. Los pasos principales fueron los siguientes:

3.2.1 Geometría del modelo:

Los componentes clave, como la placa de anclaje, la placa de reparto, los tendones y cuñas, se modelaron con basándose en las primeras propuestas de diseño.

Se empleó una malla refinada en las zonas críticas, como los puntos de contacto entre la placa de anclaje y el hormigón, donde se esperaban concentraciones de tensiones.

El análisis de sensibilidad se utilizó para determinar el tamaño óptimo de los elementos (Tabla 1), asegurando un equilibrio entre precisión y costo computacional.

Tabla 1. Análisis de tamaño de elementos.

Tamaño malla	1/Dof	Tensión equiv. (MPa)
35 mm	1.20359E-05	576.38
15 mm	1.03337E-05	567.29
10 mm	8.7105E-06	547.81
5 mm	6.54069E-06	540.4
3 mm	3.50944E-06	543.63
1.5 mm	6.04176E-07	540.1

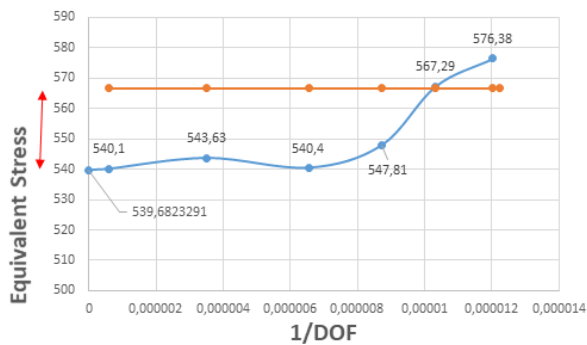


Figura 4. Gráfico del análisis de sensibilidad.

En la figura 4, se puede observar que a partir de un mallado de tamaño 10 se obtiene la más óptima en cuanto a tiempo de proceso y resultados obtenidos en el análisis.

3.2.3 Elementos y tipos de malla:

Se seleccionaron elementos tetraédricos de 10 nodos para capturar la geometría compleja de las zonas curvas y de contacto.

Características generales de la malla:

- Nodos: 38499
- Elementos: 61569

3.3 Definición de los Contactos

Este paso fue esencial para modelar con precisión las interacciones mecánicas entre los distintos componentes del sistema, particularmente en las interfaces donde se transfieren fuerzas significativas, como la conexión entre la placa de anclaje, la trompeta y el bloque de hormigón.

Se utilizó la formulación Augmented Lagrange, ampliamente reconocida por su capacidad para modelar contactos no lineales con precisión. Esta formulación combina las ventajas del método de penalización (facilidad de implementación) y el método de multiplicadores de Lagrange (precisión en la transferencia de fuerzas)

- *Contacto entre la Placa de Anclaje y la Trompeta:*

Tipo de contacto: Frictional (contacto con fricción).

Coefficiente de fricción: 0.3, basado en pruebas experimentales que replicaron la interacción

entre el acero de la placa de anclaje y la trompeta que transmite los esfuerzos al hormigón.

Condiciones adicionales: deslizamiento relativo limitado para simular la acomodación de la trompeta bajo cargas extremas.

- *Contacto entre la Trompeta y el Hormigón:*

Tipo de contacto: Frictional (contacto con fricción).

Coefficiente de fricción: 0.7, acorde a las propiedades mecánicas del hormigón y la fundición nodular de la trompeta.

Comportamiento: deslizamiento restringido para garantizar una transferencia de fuerzas eficiente y evitar deslizamientos innecesarios bajo cargas operativas (figura 6).

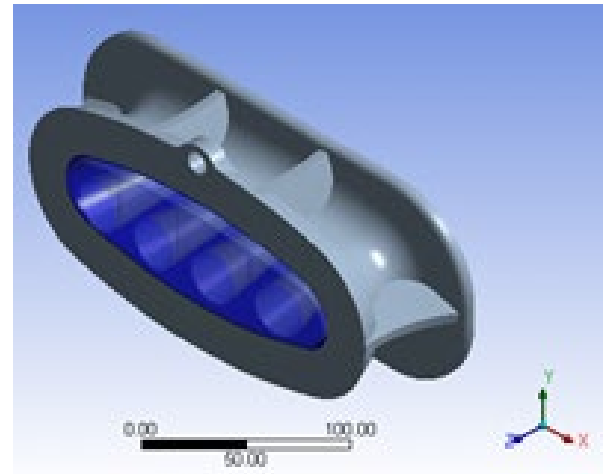


Figura 6. Contacto trompeta-hormigón

- *Contacto entre los Tendones y la Trompeta:*

Tipo de contacto: Frictionless (contacto sin fricción: sistema no adherente), dado que los tendones están recubiertos con grasa o cera y diseñados para deslizarse sin restricciones durante el tesado.

3.4 Condiciones de Contorno y Cargas

Para representar las condiciones reales de operación, se definieron:

- *Condiciones de contorno:*

La cara inferior de la placa de anclaje se modeló como fija para simular la unión con el hormigón.

Cargas aplicadas:

Se simuló una fuerza máxima de pretensado de 279 kN por cordón, incrementada por un

coeficiente de mayoración, aplicada de manera incremental para evaluar la respuesta del sistema en cada etapa (figura 7).

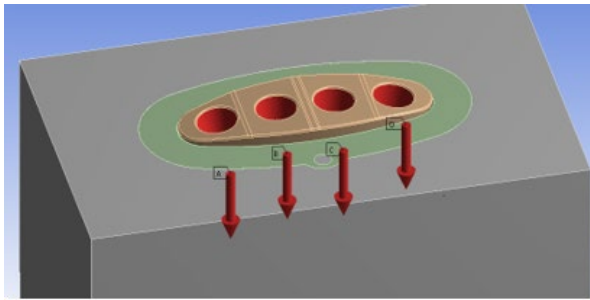


Figura 7. Aplicación de presión y carga

3.5 Resultados y análisis

El análisis realizado ha permitido validar el comportamiento estructural bajo condiciones críticas, confirmando que cumple con los objetivos planteados y con los estándares normativos aplicables. A continuación, se presentan las tensiones y las deformaciones obtenidas.

- Tensiones

Se observa que las tensiones se distribuyen de manera uniforme a lo largo de toda la trompeta, evitando concentraciones críticas en zonas específicas.

El valor máximo de tensiones (figura 8) en el sistema es 480MPa siendo inferior al límite último del material de fundición GJS700.

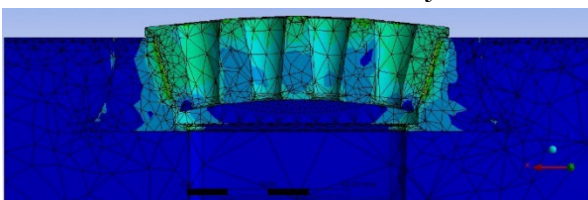


Figura 8. Distribución de tensiones

- Deformaciones

Las deformaciones obtenidas muestran un comportamiento homogéneo en todo el modelo representando correctamente la situación real del modelo. Los máximos valores que varían entre 1,17 y 1,2 mm se encuentran en la penetración de la placa dentro de la trompeta, pero no generan ninguna deformación en la trompeta que sigue trabajando en rango elástico (figura 9).

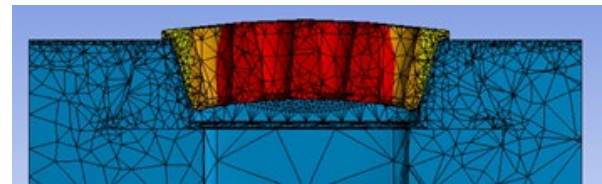


Figura 9. Deformaciones obtenidas

4. Validación experimental

Para validar el nuevo diseño de sistema de postesado de acuerdo a la normativa EAD 160004-00-0301^[1], es necesario cumplir con una serie de ensayos y requisitos que evalúan tanto su desempeño mecánico como su conformidad con las normativas de seguridad y estabilidad estructural. Los principales ensayos y características incluyen:

- Resistencia a carga estática: tiene como objetivo evaluar la eficiencia del sistema de postesado para resistir cargas aplicadas de manera incremental hasta su fallo.
- Resistencia a cargas dinámicas: evalúa la capacidad del sistema de postesado para resistir cargas cíclicas sin fallas estructurales durante su vida útil.
- Transferencia de cargas a la estructura: evalúa la capacidad del sistema de postesado para transmitir las cargas de pretensado de manera eficiente desde el anclaje al bloque de hormigón. Este ensayo verifica tanto la resistencia mecánica del sistema como la estabilización de las tensiones en condiciones reales de carga.

4.1 Resistencia a carga estática

4.1.1 Procedimiento del Ensayo

Los tendones se ensamblan en un banco de pruebas representativo, utilizando los componentes reales del sistema (placa de anclaje, trompeta, cuñas). Este montaje se puede ver en la figura 10.



Figura 10. Muestra antes de ensayar

La carga se aplica en escalones incrementales, correspondientes al 20%, 40%, 60%, 80% y 100% de la resistencia característica a tracción (F_{pk}) del tendón.

Cada incremento se realiza a una velocidad constante equivalente a 100 MPa/min, asegurando un control preciso de la fuerza aplicada.

En el nivel del 80%, la carga se mantiene constante durante dos horas. Una vez cumplido el tiempo, se descarga a la muestra al 12% de la carga y se vuelve a incrementar la carga gradualmente hasta alcanzar la rotura.

4.1.2 Resultados del Ensayo

Se llevaron a cabo diversos ensayos de carga estática en anclajes planos de diferentes capacidades y con acero de postesado Y1860. Los resultados de las pruebas cumplieron plenamente con los criterios relevantes especificados en el EAD 160004-0301^[1], garantizando el desempeño y seguridad del sistema.

- La carga máxima alcanzada superó el 95% de la resistencia última nominal.
- La carga máxima también superó el 95% de la resistencia última real medida.

- El alargamiento total de los elementos de tracción en la longitud libre, a la carga máxima medida, fue superior al 2.0%.
- Con la carga mantenida al 80% de la resistencia característica de los elementos de tracción, los movimientos relativos entre los componentes del anclaje y entre los elementos de tracción y los componentes del anclaje se estabilizaron dentro de los primeros 30 minutos. Toda esta información se puede ver en las gráficas de las figuras 11 y 12.

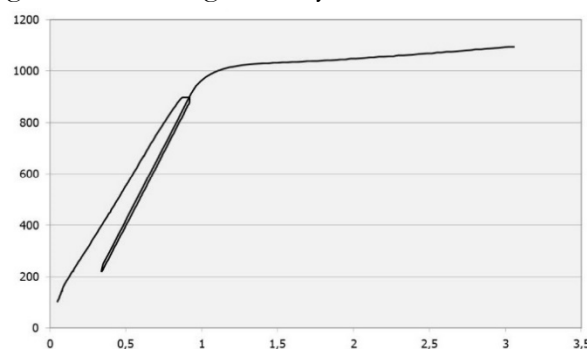


Figura 11. Carga-deformación anclaje WWS4/0,6''

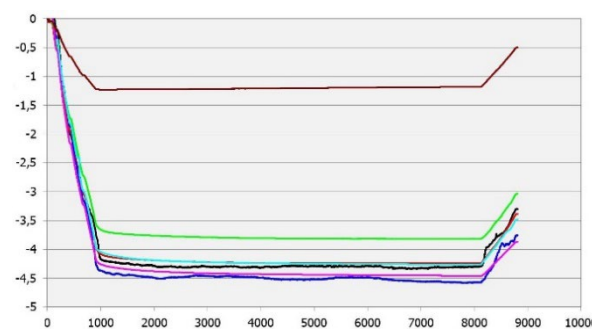


Figura 12. Desplazamientos medidos

Estos resultados validan la capacidad del sistema de postesado para cumplir con los exigentes estándares establecidos en la normativa europea.

4.2 Resistencia a carga dinámica

4.2.1 Procedimiento del Ensayo

El sistema de postesado, incluyendo todos los elementos se monta en un banco de ensayos, representando la situación real en obra. En la figura 13 se puede ver el montaje del anclaje 4/0.6'' en el laboratorio antes de comenzar el ensayo.



Figura 13. Muestra antes del ensayo

- Fases del Ensayo:

Fase inicial: se aplica una carga inicial de aproximadamente el 25% de la resistencia característica (F_{pk}) de los cordones de postesado para estabilizar el montaje.

Fase de carga: Se incrementa la carga hasta alcanzar el 65% de la resistencia característica (F_{pk}), a una velocidad constante de aproximadamente 100 MPa/min.

Parámetros de ensayo:

Carga máxima: 65% de F_{pk} .

Amplitud de tensión: 80 MPa constante.

Duración: 2 millones de ciclos.

Frecuencia: ≤ 30 Hz.

Se mide el desplazamiento relativo entre componentes del anclaje y entre los elementos de tracción, en al menos dos puntos, para monitorear la estabilidad del sistema.

Se documentan visualmente los componentes antes y después del ensayo para identificar posibles deformaciones o daños.

4.2.2 Resultados del Ensayo

Se llevaron a cabo diversos ensayos de fatiga en anclajes planos de diferentes capacidades, utilizando acero de postesado tipo Y1860. Los resultados obtenidos en estas evaluaciones demostraron que el sistema cumple completamente con los requisitos establecidos en el EAD 160004-0301^[1].

Todos los especímenes cumplieron con los requisitos relevantes, incluyendo:

- Ausencia de fallos por fatiga en los componentes del anclaje tras 2 millones de ciclos.
- Pérdida máxima de sección transversal de los elementos de tracción inferior al 5%.

La figura 14 muestra la placa de anclaje una vez acabado el ensayo, donde se ve claramente que no se produjeron roturas de alambres, ni pérdida de sección.



Figura 14. Placa de anclaje después de ensayo

- Estabilización de los desplazamientos relativos entre los componentes del anclaje durante el ensayo (figura 14).

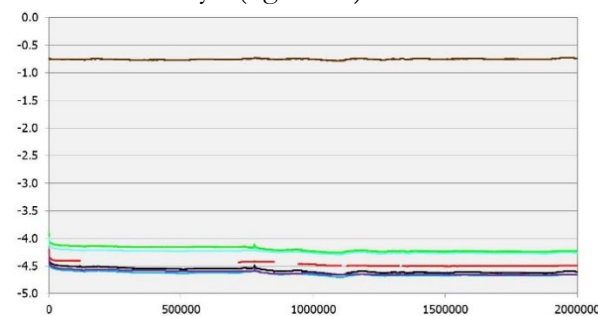


Figura 14. Desplazamientos relativos vs. tiempo

Los resultados del ensayo de fatiga demuestran que el sistema de postesado es capaz de satisfacer los estrictos requisitos técnicos y de desempeño establecidos por la normativa europea, garantizando su idoneidad y confiabilidad para aplicaciones estructurales exigentes.

4.3 Transferencia de carga

El ensayo evalúa la capacidad del sistema de postesado para transmitir cargas en losas de hormigón de espesor reducido. Se fabrican bloques de hormigón que incorporan todos los componentes del sistema, junto con la armadura de refuerzo local, asegurando una transferencia de carga eficiente y un desempeño estructural óptimo.

4.3.1 Preparación de Especímenes

Se diseñaron y fabricaron varios especímenes para los ensayos, teniendo en cuenta diferentes clases de hormigón comúnmente utilizadas en edificación, como H25 y H35.

Para cada tipo de anclaje del sistema, se prepararon dos muestras siguiendo las especificaciones de la normativa EAD 160004-0301^[1], asegurando representatividad y precisión en los resultados obtenidos. En la figura 16 se muestra un espécimen de ensayo antes de comenzar la prueba.



Figura 16. Especimen antes de ensayar

4.3.2 Procedimiento del Ensayo

Carga inicial: se aplicaron incrementos de carga del 20%, comenzando en el 20% de la resistencia característica (F_{pk}) hasta alcanzar el 80%.

Ciclos de carga: se realizaron 10 ciclos entre el límite inferior del 12% y un límite superior del 80% de F_{pk} . Durante estos ciclos se miden el ancho de las fisuras que puedan aparecer en los bloques, se garantiza así la estabilidad de las deformaciones.

Incremento hasta rotura: una vez cumplidos los criterios de estabilización de grietas y deformaciones, la carga se incrementó de forma continua hasta la falla del espécimen.

En la figura 17 se muestra en forma gráfica los ciclos de carga que se realizan y los puntos en los que se toman mediciones para el seguimiento de las fisuras que puedan aparecer.

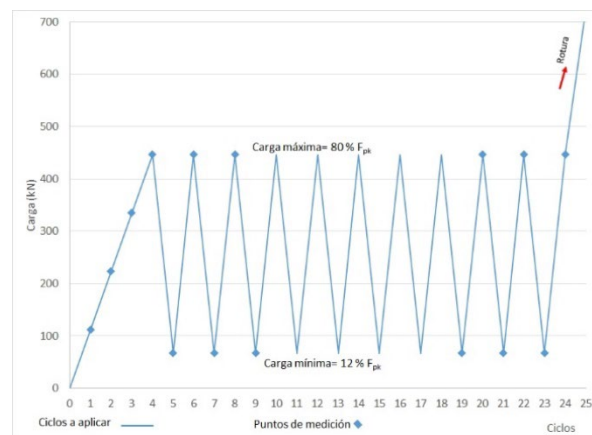


Figura 17. Ciclos de carga y puntos de medición

4.3.3 Mediciones y Resultados

Ancho de grietas: en todos los especímenes las grietas observadas cumplieron con los límites normativos:

- La anchura máxima de la fisura w:
 1. Cuando se alcanza por primera vez la carga superior del 80% de la resistencia última a la tracción, no más de 0,15 mm.
 2. Cuando se alcanza por última vez la carga inferior del 12% de la resistencia a la tracción, no más de 0,15 mm.
 3. Cuando se alcanza por última vez la carga superior del 80% de la resistencia a la tracción característica, no más de 0,25 mm.
- La lectura de la anchura de las fisuras se estabilizó durante la carga cíclica.
- Las lecturas de las deformaciones longitudinales y transversales se estabilizaron durante la carga cíclica (figura 18).

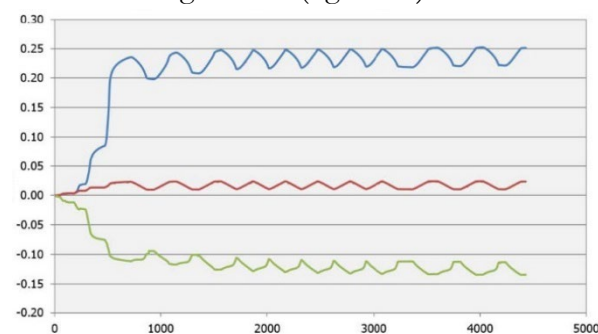


Figura 18. Deformaciones medidas durante ensayo

Carga última: todos los anclajes fallaron a cargas que excedieron el requisito mínimo de $1.10 \cdot F_{pk}$, ajustado según la resistencia del hormigón, tal como establece la normativa EAD 160004-0301^[1].

- Modos de falla: todos los especímenes presentaron un modo de falla por compresión en la mitad superior del bloque de hormigón (figura 20).
- Integridad del sistema: no se detectaron daños visibles en los componentes del anclaje después del ensayo.

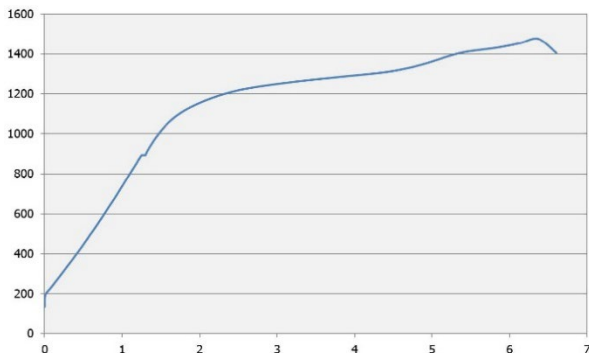


Figura 19. Gráfica carga (kN)-desplazamiento vertical (mm)



Figura 20. Especimen después de ensayar

El sistema de postesado WWS demostró su capacidad para transferir las cargas de pretensado de manera eficiente y segura. Los resultados confirman su cumplimiento con los estrictos criterios establecidos en el EAD 160004-0301^[1], validando su idoneidad para aplicaciones estructurales exigentes y respaldando su proceso de certificación para la Evaluación Técnica Europea (ETA).

5. Comparativa con sistemas tradicionales e impacto económico

En los sistemas tradicionales, la trompeta tiene una geometría robusta para garantizar la transferencia de carga al hormigón, pero esto aumenta el uso de acero y requiere mayor armadura de confinamiento. En el sistema WW, su diseño optimizado reduce el peso sin comprometer la transmisión de cargas, maximizando el contacto acero-hormigón y minimizando la armadura necesaria.

Además, en los sistemas tradicionales, la transición o desviación de los cables entre la placa de anclaje y la vaina se realiza con la misma trompeta de acero, lo que incrementa su peso y complejidad de fabricación. En el nuevo sistema WW, esta transición se lleva a cabo mediante un elemento desviador fabricado en plástico reciclable, lo que reduce aún más el peso del conjunto. Este componente no solo disminuye la cantidad de acero utilizado, sino que también facilita el montaje en obra y aporta ventajas en términos de sostenibilidad.

La optimización estructural del sistema WW no solo mejora su desempeño mecánico, sino que también reduce los costos asociados a materiales, instalación y mantenimiento:

- Reducción del 22% de peso en los anclajes de mayor tamaño.
- Reducción del 10% de peso en los anclajes más pequeños.

Esta reducción de peso implica un menor uso de acero, lo que disminuye los costes de producción y transporte. También, ha sido diseñado para simplificar el montaje, permitiendo que todos los componentes (trompeta, cajetín de plástico y cono de desviación) se unan al tape de encofrado con un único tornillo. Esta mejora tiene varias ventajas:

- Menor tiempo de instalación, lo que reduce costos de mano de obra.
- Montaje más seguro y preciso, minimizando errores en obra.

- Disminución del desperdicio de materiales, alineándose con principios de construcción sostenible.

6. Conclusiones

- Optimización del diseño mediante simulaciones numéricas

La aplicación de simulaciones por elementos finitos ha sido fundamental para identificar y optimizar los puntos críticos del diseño. Este enfoque permitió anticipar posibles fallos, reduciendo la necesidad de fabricar múltiples prototipos y optimizando el uso de recursos. Como resultado, se ha logrado un ahorro significativo en costos y tiempos de desarrollo, asegurando la viabilidad del sistema antes de su validación experimental.

- Validación estructural y cumplimiento normativo

El sistema de anclajes planos WWS ha superado con éxito los ensayos de carga estática, fatiga y transferencia de carga, cumpliendo con los exigentes requisitos de la normativa EAD 160004-0301. Los resultados obtenidos garantizan su fiabilidad, seguridad y durabilidad en aplicaciones estructurales críticas, confirmando su idoneidad para estructuras de edificación y obra civil.

- Reducción de impacto ambiental y sostenibilidad

La optimización del diseño ha reducido el uso de acero a los elementos estructurales esenciales. Además, la incorporación de materiales reciclados en componentes secundarios, como los desviadores plásticos, disminuye la huella de carbono del sistema, alineándose con estrategias de construcción sostenible.

- Optimización en la instalación y reducción de costos

El diseño modular del sistema WWS agiliza la instalación, haciéndola más rápida y eficiente que en sistemas tradicionales. Esto reduce los tiempos de ejecución y minimiza los costos de

mano de obra y logística, facilitando su implementación en todo tipo de proyectos.

- Innovación en la transferencia de cargas y comportamiento estructural

A diferencia de los sistemas convencionales, el diseño WWS permite que la placa de anclaje trabaje en compresión y tracción, generando un efecto de confinamiento que optimiza la distribución de esfuerzos y reduce tensiones en la trompeta. Esto permite disminuir la geometría del anclaje sin comprometer su capacidad de carga.

- Reconocimiento por su innovación y aportes a la ingeniería estructural

Debido a su diseño innovador y su contribución a la sostenibilidad y optimización estructural, el sistema WWS cuenta con el modelo de utilidad **MU201931525**. Este reconocimiento respalda su impacto en la ingeniería de postesado y su potencial para transformar la industria de la construcción con soluciones más eficientes, rentables y sostenibles.

Referencias

- [1] EAD 160004-00-0301: European Assessment Document of Post-Tensioning Kits for Prestressing of Structures. September 2016.
- [2] EN 1563, Founding - Spheroidal graphite cast irons.
- [3] UNE-EN 1992-1-1. Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación, 2010.
- [4] EN ISO 15630-3, Steel for the reinforcement and prestressing of concrete – Test methods – Part 3: Prestressing steel.
- [5] EN ISO 527-2, Plastics - Determination of tensile properties - Part 2: test conditions for moulding and extrusion plastics.
- [6] EAD 160027-00-030, Special filling products for post-tensioning kits.