

Depósito de La Florida (Portugalete). Refuerzo de estructura circular mediante postesado exterior.

La Florida storage tank (Portugalete). Reinforcement of circular structure with external post-tensioning.

Sergio del Olmo López^a, Mikel Arraiza Aramendia^b, Pedro Sancho González^c, Pablo Vílchez Motino^d

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dpto. Técnico. Freyssinet S.A.U. sergio_o@freyssinet-es.com

^b Arquitecto Técnico. Jefe de Obra. Freyssinet S.A.U. mikel_a@freyssinet-es.com

^c Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Delegado Zona Norte. Freyssinet S.A.U. pedro_s@freyssinet-es.com

^d Ingeniero Industrial. Director Técnico. Freyssinet S.A.U. pablo_v@freyssinet-es.com

RESUMEN

El depósito de La Florida (Portugalete, Vizcaya) es una estructura de hormigón circular de los años 70 construida con tecnología Preload que presentaba diversas patologías (degradación del gunitado, corrosión en alambres desprendidos, filtraciones de agua, etc. Además de la reparación convencional de daños en el hormigón, el proyecto contemplaba el refuerzo de la estructura mediante tendones de pretensado exterior 1X15 para restituir su capacidad original, que estaba limitada al 60-65%. La incertidumbre sobre la cuantía real del pretensado existente Preload complicó el diseño de un refuerzo que debía garantizar la integridad de la estructura tanto en situación de llenado máximo como en vacío.

ABSTRACT

The Florida storage tank (Portugalete, Vizcaya) is a circular concrete structure built in the 1970s with Preload technology that showed several pathologies (gunite degradation, corrosion on wires, water leaks, etc.). In addition to conventional repair of damage on the concrete surface, the project included reinforcing the structure using 1X15 external prestressing tendons to restore its original capacity, which was limited to 60-65%. The uncertainty about the actual amount of existing Preload prestressing was a difficulty in the design of that reinforcement that had to guarantee the integrity of the structure both when fully filled and when empty.

PALABRAS CLAVE: reparación, refuerzo, depósito, Preload, postesado exterior, inspección.

KEYWORDS: repair, reinforcement, storage tank, Preload, external prestressing, inspection.

1. Introducción

El depósito de La Florida se ubica en un entorno urbano, en el barrio del mismo nombre de

Portugalete (Vizcaya), próximo a la ciudad, y se accede a él por la calle Los Hoyos, tal y como

puede apreciarse en la figura 1. Tiene planta circular, con un diámetro interior de 40 m y un espesor de muro de 22 cm, y la altura desde cara superior de zapata a coronación de muro es de 11,15 m.



Figura 1. Vista aérea del depósito y su entorno.

Freyssinet recibió el encargo de realizar los trabajos de reparación del muro del depósito, que presentaba varias patologías y desperfectos, así como su refuerzo por medio de la instalación de un postesado exterior.

2. Descripción de la estructura y su proceso constructivo

La única información disponible relativa a la estructura del depósito eran los planos que fueron facilitados. No se disponía de cálculos u otra documentación como memoria, etc. En base a esta información y al conocimiento de que dispone Freyssinet por haber actuado en otros depósitos de similares características, pudo afirmarse que el depósito estaba resuelto con un muro de 22 cm de espesor con juntas verticales, sin armadura pasante, sobre el que se desenvuelve el arrollamiento de alambres de pretensado (sistema Preload).

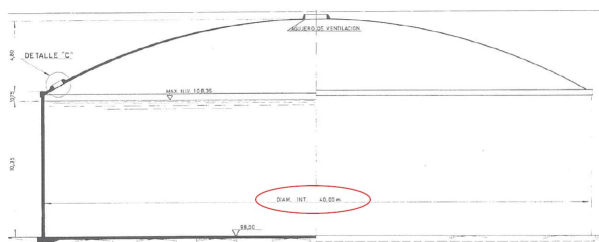


Figura 2. Sección del depósito incluida en los planos originales.

JUNTA VERTICAL DE CONSTRUCCION

ESCALA 1:10

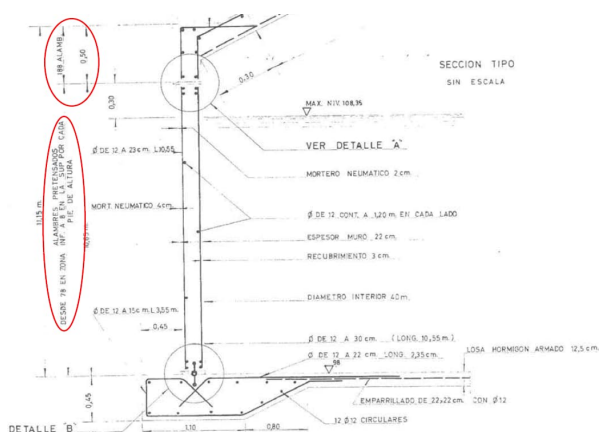


Figura 3. Detalle de junta de muro vista en planta.

El armado de este muro consiste en un redondo vertical de 12 mm de diámetro cada 0,23 m, y un redondo horizontal interior y otro exterior, de diámetro 12 mm, cada 1,20 m. Nótese que se trata de una cuantía de acero muy escasa.

Nada se indicaba en la documentación disponible acerca de las características resistentes del hormigón que conforma el depósito, por lo que, al inicio de la ejecución de los trabajos de refuerzo y reparación, se realizó una pequeña campaña de extracción de testigos para su rotura en laboratorio. Tras la corrección de los resultados por motivo de esbeltez de probeta / testigo, y descarte de valore extremos de la muestra, se llegó a un valor de resistencia del hormigón del muro de 26,56 MPa, valor que fue considerado en el diseño del refuerzo y que se encuentra muy razonable en base a las experiencias previas en otros depósitos de la época, donde la resistencia característica era del orden de 25 MPa, pues es normal cierto endurecimiento por el paso del tiempo entre el momento de la construcción y la fecha actual.

En lo que se refiere a las características resistentes del acero de pretensado del sistema Preload, en el plano original se indicaba una distribución de alambres de pretensado variable con la altura, entre las 78 ud por pie en la base, y las 8 ud por pie en la parte superior, a cota +10,65 m.



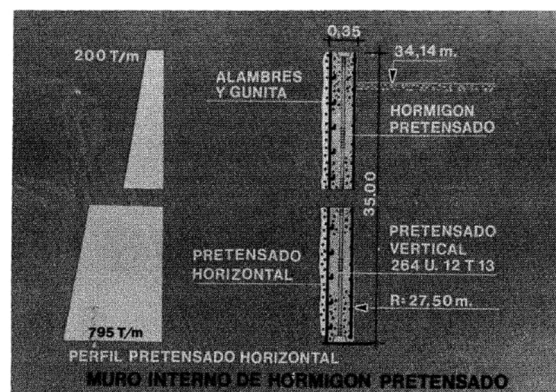
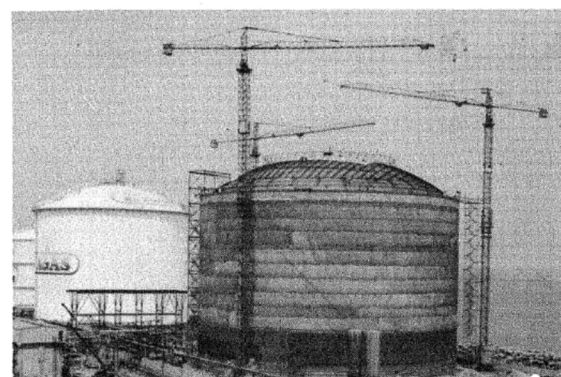
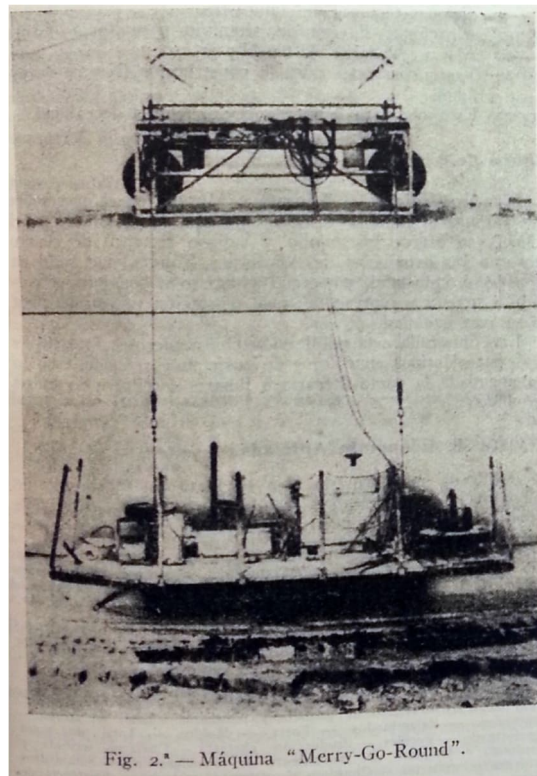
3. Sistema Preload

El Preload es un sistema de pretensado especialmente pensado para depósitos y otros elementos a precomprimir con geometrías circulares. El sistema consiste en el arrollamiento de la estructura con alambre de alta resistencia trefilado en frío, de 6 mm de diámetro, que es hecho pasar a través de una hilera de 5,27 mm, que zuncha el muro de hormigón, obteniéndose tensiones iniciales de tesado comprendidas entre 90 y 100 kg/mm² (900-1000 MPa). El arrollamiento se realiza de forma continua, y cada cierto número de vueltas n, se ancla y se tesa, con el fin de evitar que salte completamente en caso de fallo durante la instalación. Los alambres desnudos quedan protegidos mediante una proyección de hormigón (denominado “mortero neumático”), cuyo espesor es variable, aunque no suele superar los 10 cm. Este sistema de construcción es típico de los años 70, donde se llevaron a cabo una importante cantidad de estructuras similares.

El criterio habitual para el dimensionamiento del pretensado horizontal con este sistema es el de eliminar tracciones en el hormigón cuando se encuentra sometido a la carga hidráulica del líquido, suponiendo el apoyo en la base como deslizante y dejando, lógicamente, un cierto nivel de compresión residual tras el desarrollo de todas las pérdidas de pretensado.

En la imagen siguiente se muestra una maquinaria de instalación empleada en un

depósito de GNL de 80000 m³ en el que, además de aplicarse el sistema Preload para pretensado horizontal, se ha instalado también el sistema 12T13 (12 cordones de 13 mm de diámetro y 0,5 mm² de sección) de Freyssinet para pretensado vertical del muro [1].



4. Estado del depósito antes de la intervención

4.1 Inspección inicial

En la visita inicial realizada por Freyssinet al depósito pudo comprobarse que había sido restaurado en una fecha muy reciente, con una reparación superficial de los desconches que existían previamente y un pintado de las superficies exteriores. Se desconocía el estado en el que se podían encontrar los alambres de pretensado, y si en algún momento habían quedado a la vista. Sí se pudo detectar la presencia de una serie de defectos diferente importancia para la integridad y seguridad estructural del depósito, que habían aflorado nuevamente, pese a lo reciente de la intervención realizada:

- Degradación puntual del gunitado: se observaron zonas reparadas, donde posiblemente hubiera zonas degradadas de la gunita, y otras zonas puntuales con la gunita fisurada y desprendida, tanto en coronación, como en la base del depósito.
- En la zona degradada inferior se pudieron observar varios alambres desprendidos y en un estado de corrosión muy avanzado, como se ve a continuación:



Figura 6. Alambres vistos en base de muro.

- Filtraciones de agua puntuales, y puntos de corrosión dispersos, lo que hacía presuponer una filtración de agua desde el interior. Esto hizo sospechar la presencia de fisuras horizontales en el depósito y la contaminación con cloruros de los alambres de pretensado, con la consiguiente corrosión:

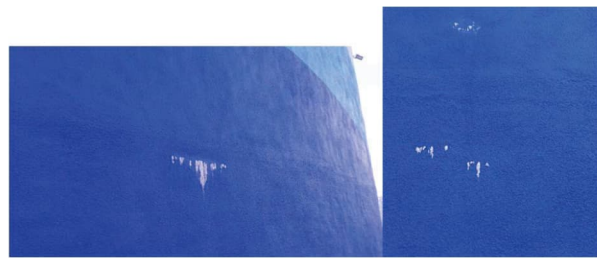


Figura 7. Filtraciones en pared de muro.

En el momento de realización de dicha visita el depósito se encontraba lleno en un 60-65 %, lo cual parecía una medida prudente, a la vez que una limitación considerable de explotación.

4.2 Catas al comienzo de la ejecución

Una vez dio comienzo la ejecución, se realizaron una serie de actuaciones sobre el muro del depósito con objeto de caracterizar el material y obtener información adicional. Se realizaron 6 extracciones de testigos para determinar en laboratorio la resistencia a compresión del hormigón. Además se realizaron 6 rozas verticales en la cara exterior del muro (a diferentes alturas) para conocer la cuantía de los alambres de pretensado del sistema Preload (para confirmar o corregir lo señalado en planos, que a priori difería de lo que es normal en depósitos similares), y su estado de conservación. En general el estado de conservación de los alambres era bueno, con la salvedad de alguna de las rozas realizadas en la parte inferior del muro, donde se detectaron algunos alambres rotos y con corrosión en el nivel más bajo, lo cual no resulta raro por tratarse de la zona más expuesta a humedad por estar en contacto con el terreno.



Figura 8. Deterioro en base de muro y roza vertical.

4.3 Conclusiones de las inspecciones

Por todo lo expuesto, parecía lógico recomendar el aseguramiento de la integridad estructural del depósito mediante un refuerzo del sistema Preload deteriorado, que fuera capaz de recuperar la capacidad resistente del depósito como estructura para soportar las acciones a las que puede estar sometido y para las que fue concebido y dimensionado. Igualmente resultaba recomendable llevar a cabo una serie de medidas correctoras y tratamientos de reparación para así neutralizar el progresivo deterioro y devolver a la estructura a una situación de máxima garantía de buen mantenimiento, conservación, durabilidad y seguridad.

En general, el depósito de La Florida se encontraba en un estado exterior aparentemente bueno. El estado de degradación que podían tener los alambres de pretensado, desconocido en la inspección inicial, se estimaba que podría ser severo en algunos puntos (como el detectado en la base del muro), por los años transcurridos desde su construcción, y por lo observado en inspecciones y catas realizados en depósitos similares, con las mismas características técnicas y edad.

Esto se debe a que habitualmente se pierde, a lo largo de la vida del depósito, la protección del gunitado o parte del mismo en algunas zonas, dejando a la vista los alambres de pretensado, y expuestos por tanto a la corrosión. También pueden existir zonas donde, por haberse perforado la estructura, se podrían haber cortado los alambres de pretensado, además de generar puntos de entrada para la corrosión. La presencia de filtraciones en algunas zonas también indica que los alambres más próximos pueden encontrarse en un estado de conservación deficiente, o incluso pudiendo sufrir procesos de corrosión por cloruros. Como se sabe, ésta provoca una pérdida de sección resistente focalizada en un punto concreto del alambre que, a la vista de su reducido diámetro, podría

ser importante. A la vez, los productos generados por la corrosión implican un aumento de volumen del elemento que presiona contra el recubrimiento de gunita y lo hace saltar, facilitando una nueva entrada para agentes agresivos, lo cual supone una realimentación del proceso de deterioro.

Teniendo en cuenta ciertos antecedentes y en general todo lo observado en otros depósitos, se estima que la rotura puntual de alambres y su fallo es una posibilidad más que probable, favorecida cuando se mantienen niveles de almacenamiento alto o se somete la estructura a procesos de fatiga más o menos dinámicos (llenado/vaciado). Por ello, el proyecto coincidía con el criterio de Freyssinet de que se debía asegurar la integridad estructural del depósito mediante un refuerzo del sistema Preload existente. Las actuaciones que se propusieron, por orden cronológico fueron:

- Trabajos previos, consistentes en:
 - o Replanteo de dimensiones del depósito (espesor y diámetro, alturas, etc.)
 - o Ensayos de caracterización de la gunita que compone el muro.
- Ejecución de un postesado exterior que sustituyera y complementara el pretensado existente.

5. Hipótesis de cálculo

5.1 Introducción y casos de estudio

Lo deseable al diseñar un refuerzo como éste es que se devuelva al depósito a un estado de fuerzas exteriores que no sólo compensen los empujes hidrostáticos, sino que además proporcionen una pequeña compresión remanente en la situación pésima de llenado máximo.

Todo ello con la precaución de que las sumas de postesado existente y nuevo no sometan a compresiones excesivas a la pared del muro, lo que ocurriría en caso de depósito vacío y daño inexistente en el sistema Preload. A falta de un

valor concreto en proyecto para esta limitación, se propone no superar una tensión de $0,6 f_{ck}$ (límite de fisuración por compresión según EHE-08, art. 49.2.1[2]), toda vez que se trata de una comprobación a nivel seccional independiente de la de estabilidad global del muro frente a cargas radiales exteriores.

En estas condiciones, y en vista de la incertidumbre que planteaba el estado general del sistema Preload, puesto que, salvo en los puntos donde se detectaron desperfectos y en las rozas realizadas, no se podía tener un conocimiento claro de su grado de degradación, se consideraba pertinente un planteamiento inicial de los siguientes casos de estudio:

[A] Depósito lleno + Preload (0%) + Postesado de refuerzo a tiempo infinito: Consideramos que el sistema Preload se hubiera agotado completamente, y evaluamos la seguridad estructural que aporta el sistema de refuerzo exterior considerando todas sus pérdidas (instantáneas y diferidas). El objetivo es identificar tensiones mínimas e incluso descompresiones en el muro, que no se serían admisibles. Por ello, la sección de estudio se elige de manera que corresponda a la de menor tensión en los nuevos tendones tras pérdidas por rozamiento y penetración de cuñas. La verificación se realiza para la máxima altura de agua, es decir, 10,35 m.

[B] Depósito vacío + Preload (100%) + Postesado de refuerzo a tiempo cero: Consideramos que el sistema Preload estuviera en perfecto estado, y le añadimos las compresiones que introduce el sistema de refuerzo exterior, supuesto éste sin pérdidas diferidas. Esta consideración la hacemos además en la hipótesis de mantenimiento y limpieza del depósito, es decir, sin agua, a fin de evaluar las compresiones máximas que soporta el muro de hormigón. Por este motivo, la sección de estudio se elige de manera que corresponda

a la de mayor tensión en los nuevos tendones tras pérdidas por rozamiento y penetración de cuñas.

En lo que respecta a las consideraciones de cargas, coeficientes de mayoración de acciones, coeficientes parciales de seguridad de los materiales, envolventes y características de los materiales, nos atuvimos a lo indicado en la normativa vigente y lo obtenido en ensayos.

5.2 Carga de pretensado existente "Preload"

5.2.1. Cuantía según planos

En el extracto de planos del proyecto original que fue proporcionado a Freyssinet se indicaba una cuantía de acero activo existente variable entre 78 y 8 alambres por pie de altura.

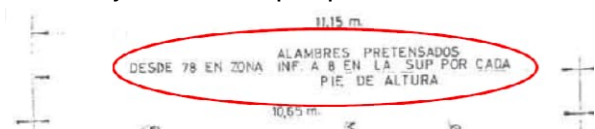


Figura 9. Detalle de planos originales.

5.2.2. Cuantía teórica según cálculo habitual del sistema Preload

Conforme a los anejos de cálculo tipo realizados por el instalador para otros depósitos ejecutados con el mismo sistema y de la misma época, la cuantía teórica de alambres esperada sería inferior a la anterior, aproximadamente en un 15%. Ejemplo:

PARED DEL DEPÓSITO

1. Alambre de pretensado

El alambre de pretensado de la pared del depósito está calculado para absorber completamente la carga hidrostática del líquido. La tensión inicial del alambre es de 100 kg/mm^2 . Hallamos la tensión final de cálculo, después de las pérdidas en el acero.

3% de pérdida por relajación del alambre	3 kg/mm^2
16% de pérdidas por retracción y fluencia del hormigón (o de la gunita)	16 "
Total pérdidas ...	19 kg/mm^2
Tensión final de cálculo:	$100 - 19 = 81 \text{ kg/mm}^2$

Los 4 kg/mm^2 que se indican en la línea precedente, están destinados a conseguir una compresión residual en el hormigón.

La sección del alambre en la pared varía desde un máximo en la base hasta 0 en el coronamiento, según la ley triangular correspondiente a la presión hidrostática a cualquier altura. El muro, en su parte superior, queda pretensado con un mínimo de 6 alambres de pretensado, por pie, según ley rectangular, hasta la cota superior de 10,30 m.

Figura 10. Extracto de anejo de cálculo Preload.

A partir de las memorias y anejos de cálculo originales de estas estructuras a las que se ha tenido acceso, puede afirmarse que la tensión inicial en los alambres que se establece es

normalmente de 100 kg/mm^2 (1000 MPa), a la que se descuentan unas pérdidas totales de 19 kg/mm^2 (190 MPa) y una tensión residual de 4 kg/mm^2 (40 MPa). Por lo anterior, se puede considerar una tensión final efectiva de 77 kg/mm^2 (770 MPa) en el acero activo existente, a tiempo infinito y en condiciones de ausencia de patologías.

A partir de la altura de llenado del depósito y su diámetro se obtienen las tracciones máximas en la base que genera el empuje hidrostático. Teniendo en cuenta la tensión final efectiva de 77 kg/mm^2 (770 MPa), se obtiene la sección que debería estar instalada en cm^2/m de pretensado en la base, o lo que es lo mismo, la fuerza en kg/m . Habitualmente esta fuerza se expresa con unidades de longitud del sistema imperial, por lo que la fuerza anterior se convierte a kg/pie . Para nuestro caso, esto equivalía a unos 65 alambres en la base.

5.2.3. Cuantía determinada en las catas realizadas in situ

Se realizaron catas en 6 localizaciones diferentes del muro del depósito, en las que se pudo medir el número de alambres existente en una franja vertical de 1 m de altura. Las mediciones entre los diferentes puntos fueron coherentes en función de la altura donde fue realizada la toma de datos, pero la cuantía registrada era claramente inferior tanto a la recogida en planos como a la esperada según cálculo teórico habitual del sistema Preload.

El número de alambres detectado fue un 31% inferior al previsto en planos (y por tanto un 21% inferior al teórico habitual). Se realizaron 2 catas adicionales a una altura diferente, obteniéndose el mismo déficit de cuantía con respecto a la prevista en planos. En resumen, la cuantía de alambres detectada in situ era sólo el 69% de la esperada.

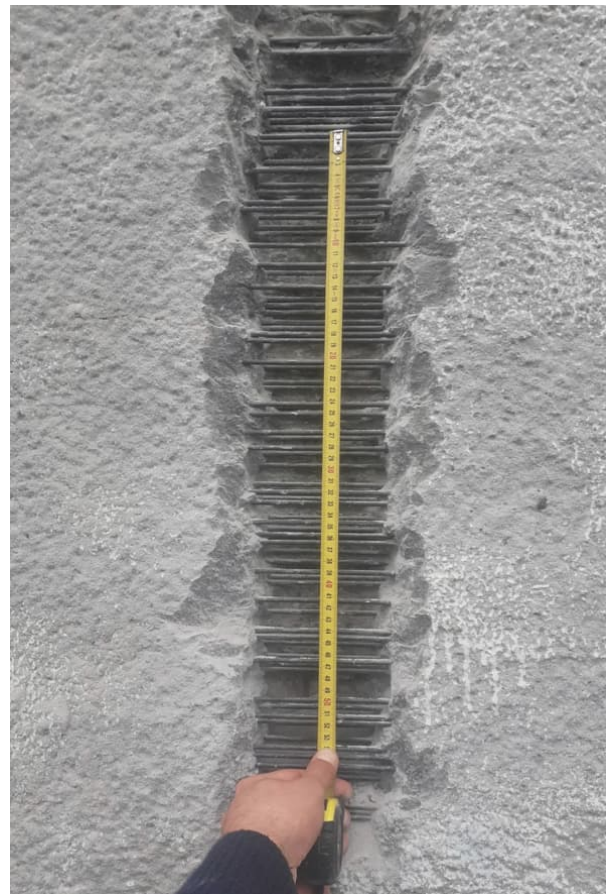


Figura 11. Roza vertical para medición del número de alambres.

2.1.1. Comparativa entre cuantías

En este gráfico se muestran las tres cuantías anteriores, para reflejar de manera clara la diferencia entre ellas:

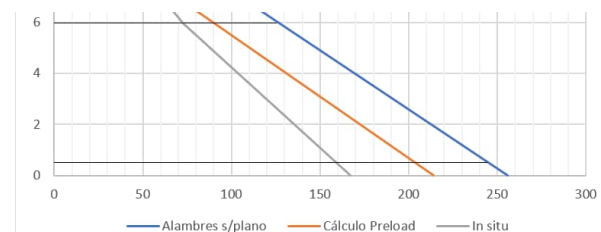


Figura 12. Comparativa de cuantías de pretensado existente Preload.

En resumen, al realizar una serie de catas in situ se encontraron importantes discrepancias entre:

- la cuantía de armadura activa que figuraba en planos originales,
- la que correspondería al cálculo habitual teórico conforme al sistema Preload,
- y la que se midió in situ al descubrir las armaduras en varios puntos del muro del depósito.

Se consideró que, de manera conservadora, debía tomarse el valor máximo de las cuantías anteriores (el mínimo se tomaría 0) para la comprobación “B” indicada anteriormente. Sin embargo, esto llevaría a una falta de convergencia del problema de diseño planteado en dicho apartado puesto que el pretensado de refuerzo máximo que podría añadirse al muro sin generar compresiones excesivas no llegaría al valor mínimo necesario para hacer frente al empuje hidrostático en el caso de contribución nula del Preload.

La incertidumbre que planteaban estas discrepancias de cuantía, junto con la necesidad de diseñar un refuerzo que fuera válido para un plazo de vida razonable (entre el momento actual y un escenario de deterioro importante) y la importante variación de esfuerzos en el muro durante su explotación (vacío / lleno) llevaron a a la necesidad de ejecutar un recrecido en la zona inferior (entre 0 m y 2,5 m de altura) para no superar la compresión máxima admisible por el hormigón en una de las hipótesis principales de diseño.

6. Diseño del refuerzo

6.1 Hipótesis de diseño del pretensado de refuerzo

Como se ha indicado, el criterio de dimensionamiento del pretensado exterior para refuerzo del depósito consiste en satisfacer una doble comprobación:

- Cuando el depósito está lleno, los esfuerzos serán resistidos por la colaboración entre el pretensado de refuerzo más una fracción del Preload que reflejaría la capacidad remanente de éste en caso de deterioro parcial.
- Cuando está vacío, el refuerzo, sumada su capacidad a la del Preload sin considerar merma alguna de éste, no someterá a la pared del depósito a compresiones superiores a $0,6 f_{ck}$ [2].

En primer lugar, suponiendo la colocación de 3 contrafuertes equiespaciados en el desarrollo del muro (a 120°), se obtuvieron las leyes de tensión a tiempo 0 y tiempo ∞ en los cordones del postesado de refuerzo, localizando las secciones con tensión mínima y máxima, para emplear estos valores en la determinación del número de cordones de refuerzo necesarios.

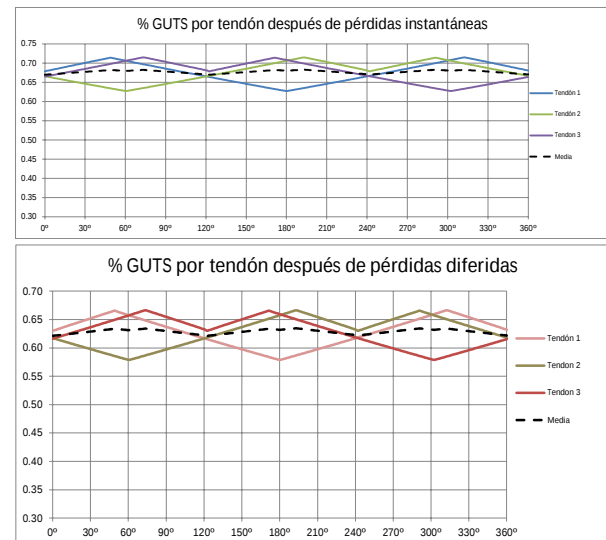


Figura 13. Leyes de tensión en acero activo.

Este número de cordones, a distribuir en la altura del muro, debía estar comprendido entre el mínimo que satisficiera los requisitos de ELU y compresión residual en ELS, y el máximo que, en combinación con el Preload existente, no generara compresiones excesivas cuando el depósito fuera vaciado.

6.2 Desarrollo de los cálculos

En una primera hipótesis se limitó el porcentaje de deterioro del sistema Preload al 50% (lo cual constituía ya una “relajación” de los criterios extremos ideales de comprobación, consistentes en tomar 0% ó 100% para la contribución del Preload); aun así, se obtuvieron compresiones muy elevadas en las zonas inferiores del muro del depósito, inadmisibles por la normativa aplicable.

Pero reducir el pretensado de refuerzo para rebajar este nivel de compresiones no era posible porque, en tal caso, se obtenía un coeficiente de

seguridad insuficiente en la hipótesis de cálculo de depósito lleno.

Como ya se ha adelantado, por todo ello se tuvo que plantear un recrecido de 7 cm en los 2,5 m iniciales del muro, que era capaz de asumir el pretensado de refuerzo necesario para evitar la rotura del muro cuando el depósito estuviera lleno, sin sobrepasar las compresiones máximas admisibles cuando estuviera vacío.

7. Instalación del sistema 1X15 para refuerzo con postesado exterior

Freyssinet ha desarrollado el sistema 1X15 específicamente para el refuerzo activo de estructuras circulares como: silos, depósitos, chimeneas, torres de refrigeración, tubos, obras de mampostería antiguas, etc.

El refuerzo consiste en la instalación de anillos de longitud teórica entre puntos de anclaje igual al perímetro exterior del depósito. Cada anillo está formado por un tendón monocordón de acero de pretensado tipo Y1860S7.

Para homogeneizar la ley de tensión en el acero activo a lo largo de todo el desarrollo del muro del depósito, o lo que es lo mismo, la fuerza de pretensado transmitida por los tendones, y evitar la generación de zonas con grandes diferencias de tensión por superposición de secciones con el mismo nivel de pérdidas, las posiciones de los anclajes se alternan en el desarrollo del muro. El límite inferior es la disposición de los anclajes en 2 secciones diametralmente opuestas. Lógicamente, en depósitos de mayor perímetro con pérdidas por rozamientos superiores, el número de secciones donde se ubican los anclajes es mayor. A estas columnas las denominamos “contrafuertes” porque los anclajes en ocasiones acaban embebidos en un recrecido de hormigón (en tal caso se trataría de refuerzos definitivos, no temporales, pues los anclajes quedan inaccesibles), en los que no se permite realizar perforaciones o anclajes a posteriori.



Figura 14. Contrafuerte hormigonado.

En este caso no fue así, puesto que en las 3 secciones en que se distribuyeron los anclajes (a 0°, 120° y 240°) se dispusieron armarios para alojar los anclajes, que así quedaban disponibles para una futura operación de retesado, destesado o en general cualquier tipo de ajuste de la fuerza actual de tesado que había sido instalada.

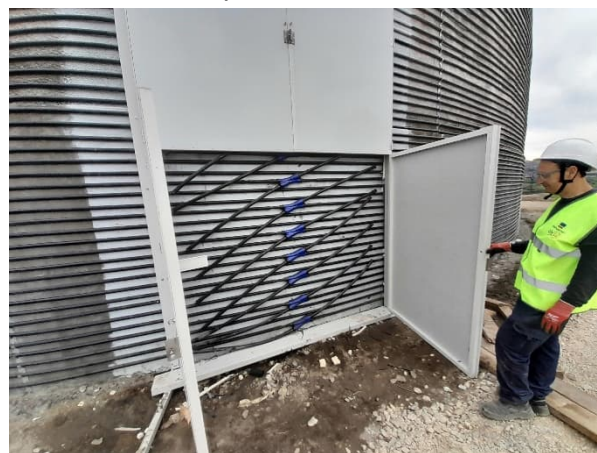


Figura 15. Armarios para anclajes.

El cordón se suministra autoenvainado en vaina negra de polietileno de 19 mm de diámetro exterior y 1-1,2 mm de espesor, con una película de grasa interior y, a su vez, queda alojado en el interior de una vaina plástica de polietileno de alta densidad de 32 mm de diámetro exterior y 4 mm de espesor (ver figura 16). De esta manera, se dota al acero de pretensado de una doble capa de polietileno de protección frente a la corrosión y el resto de agentes atmosféricos.

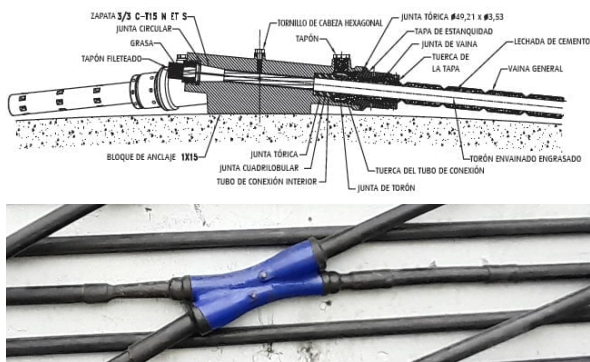


Figura 16. Detalles de anclaje 1X15.

El sistema 1X15 de Freyssinet puede proveer además un tercer nivel de protección mediante la inyección del espacio útil entre vaina exterior y cordón de un producto inerte como lechada de cemento, si así se desea.

El tesado se realiza desde ambos extremos de manera simultánea (con dos gatos), por lo que el anclaje, al estar autoequilibrado, no va conectado al muro, sino que simplemente se apoya sobre él. Las principales ventajas que supone la implantación del sistema descrito son:

- Minimización del número de anclajes por tratarse de tendones que dan la vuelta completa al depósito.
- Se trata de un refuerzo con pérdidas muy reducidas debido al empleo de cordón no adherente.
- Posibilidad de colocación de células de carga para pesaje y monitorización de la evolución de las fuerzas en los anclajes durante el periodo de uso.
- Flexibilidad del sistema: posibilidad de retesar cordones en caso de que en algún momento se estime necesario (corrección de fuerza de postesado aplicada), así como destesarlos y desinstalar el sistema de manera controlada una vez completada su función de refuerzo provisional, o durante su utilización, por reducción de solicitaciones exteriores.
- Mínima intrusión en la estructura existente: la instalación del sistema no afecta al estado de conservación del depósito.
- El sistema es reutilizable, tanto los cordones como los anclajes tras ser destesados

podrán ser usados nuevamente y son compatibles con una futura solución definitiva de refuerzo permanente.

- Mayor resistencia a la corrosión, por la protección multibarrera de los cordones: vaina individual con grasa interior para evitar la circulación de la humedad, vaina exterior de PEAD, inyección con lechada, gunitado, capa de Rilsan en anclajes vistos, etc.

8. Resumen

El depósito de La Florida fue objeto de refuerzo mediante cordones de pretensado exterior 1X15. El diseño del refuerzo se vio complicado por la incertidumbre acerca de la cuantía de pretensado existente, pues las contradicciones entre la información de planos, catas in situ y experiencias previas dificultaban llegar a una solución que satisficiera todos los requisitos de seguridad y control de tensiones en el hormigón, aunque fue finalmente alcanzada ajustando el nivel de tesado de los cordones de refuerzo y ejecutando un recrecido del muro en su base.

Agradecimientos

Consortio de Aguas Bilbao Bizkaia. José Carlos Gimeno Gimeno, Mónica Díez Martín, Nerea Landáburu Aranzábal.

SAITEC. Gonzalo Perrella, José Manuel Herrera.

Referencias

- [1] Fernández, R. & Rivas, J.L. (1981) Descripción del diseño y construcción de un depósito de hormigón pretensado para 80.000 m³ de capacidad de gas natural licuado, *Informes de la Construcción*/332, CSIC.
- [2] Comisión Permanente del Hormigón (2008) *Instrucción de Hormigón Estructural EHE-2008*, Madrid, Ministerio de Fomento.