

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.- ANTECEDENTES

Los depósitos de agua son unas estructuras habituales en nuestra geografía, debido a su misión reguladora de caudal y de presión en las redes de abastecimiento de agua a poblaciones y regadíos.

En cuanto a su forma geométrica distinguiremos los depósitos rectangulares y los cilíndricos. En el caso rectangular, su comportamiento estructural es predominantemente de flexión vertical. Por su parte, en el caso cilíndrico, la estructura es más flexible, al tener un comportamiento combinado según dos direcciones y con la posibilidad de pretensar la pared del depósito según la dirección circunferencial.

En cuanto al proceso constructivo podemos distinguir entre los depósitos armados y los pretensados. Y dentro de los pretensados, los de hormigón moldeado in situ y los de hormigón proyectado. Por otra parte, también existen los depósitos prefabricados.

Pueden existir innumerables combinaciones entre todos los tipos mencionados, pero en nuestra latitud, lo más habitual, es tener:

- Depósitos rectangulares de hormigón armado moldeado.
- Depósitos cilíndricos de hormigón armado moldeado.
- Depósitos cilíndricos de hormigón pretensado moldeado.
- Depósitos cilíndricos de hormigón pretensado proyectado.
- Depósitos rectangulares prefabricados de hormigón armado.
- Depósitos circulares prefabricados de hormigón pretensado.

Los depósitos podrán tener cubierta (abastecimiento de agua) o no tenerla (regadío y depuración). En caso de tenerla, es habitual en nuestro país que esta sea plana y que el contacto de la cubierta con la pared sea mediante un apoyo flexible, de manera que se independizan los movimientos de ambos elementos estructurales en el punto de unión. Por otro lado, para la unión entre la pared y la solera existe una mayor variedad de soluciones, que se distinguen por la capacidad de movimientos (desplazamiento radial y giro meridional) de la primera con respecto a la segunda. Estas soluciones son:

- Unión monolítica, en la que el movimiento radial y el giro meridional del pie de la pared son iguales a los del perímetro de la solera. De uso habitual en depósitos rectangulares y cilíndricos de hormigón armado y también cilíndricos pretensados de volumen inferior a 10.000 m^3 .
- Unión articulada flexible, definida con apoyos de neopreno, y que permite un movimiento relativo del pie de la pared con respecto a la solera. De uso habitual y muy aconsejado en depósitos cilíndricos pretensados de más de 10.000 m^3 .
- Unión articulada fija, con el desplazamiento radial de la base de la pared impedido.

La revisión del estado del conocimiento refleja que el número de normas y publicaciones dedicadas a estas estructuras es muy inferior al correspondiente a otros tipos estructurales, como pueden ser los puentes y los edificios. Las normas específicas para depósitos más conocidas pertenecen a países de influencia anglosajona, como el Reino Unido, USA y Nueva Zelanda. A nivel nacional, no hay en estos momentos normas ni recomendaciones específicas para depósitos. La vigente Instrucción de Hormigón Estructural EHE (1999) tampoco contempla el caso particular de los depósitos.

Este vacío normativo ha contribuido a crear una aureola de confusión y complejidad a la hora de calcular un depósito de agua. A ello se suma la particularidad de que en el cálculo de un depósito se une la metodología de cálculo en Estado Límite Último (flexión y cortante), en Estado Límite de Servicio de fisuración, que en general, será más restrictivo, y también el método clásico de emplear una tensión admisible del acero muy reducida (tracción).

Por otro lado, no existe una colección amplia de depósitos que permita dar la posibilidad a una persona sin conocimientos ingenieriles a hacer la elección óptima del depósito que más se adecue a sus necesidades particulares.

1.2.- OBJETIVOS

El presente trabajo se centra en el ámbito de los depósitos para almacenamiento de agua no elevados, es decir, aquellos que apoyan superficialmente sobre el terreno, o bien, aquellos que están total o parcialmente enterrados. En concreto, se han estudiado los depósitos rectangulares de hormigón armado, los cilíndricos de hormigón armado y también los cilíndricos de hormigón pretensado.

Este estudio se ha dirigido hacia la consecución de dos objetivos principales, los cuales se exponen seguidamente:

- i) Facilitar al técnico las herramientas necesarias para que pueda calcular un depósito de agua de manera totalmente satisfactoria, tanto en la tipología armada como pretensada, al amparo de los principales estudios y recomendaciones realizados hasta el momento, y adaptándonos a la vigente Instrucción de Hormigón Estructural EHE (1999).
- ii) Facilitar a la persona sin conocimientos ingenieriles las herramientas necesarias para que pueda escoger de manera sencilla y cómoda aquella tipología de depósito que más se acomode a sus necesidades particulares; que en general, será la búsqueda de la tipología más competitiva a nivel económico.

1.3.- MÉTODO SEGUIDO

Para conseguir los objetivos propuestos se han desarrollado distintos trabajos, los cuales dan contenido a los diferentes capítulos de esta tesina. A continuación se describe brevemente el método seguido en cada uno de ellos.

En el capítulo 2 se presenta una revisión exhaustiva del estado del conocimiento en el cálculo de depósitos de agua. Destacamos la importancia de ordenar las acciones a considerar en el cálculo de la pared de un depósito de agua, la manera de combinarlas y los coeficientes parciales de seguridad a emplear. Es básico seguir la metodología del Estado Límite Último y el Estado Límite de Servicio de fisuración que establece EHE.

Conocer de una manera clara el tratamiento de los esfuerzos de flexión y cortante, combinado con la tracción y también la limitación en la abertura de las fisuras es de una enorme trascendencia. Todo ello nos lleva a plantear la mejor manera de disponer las armaduras en las paredes y solera del depósito.

Uno de los elementos básicos sobre el que se edifica toda la teoría de depósitos es la

abertura máxima de fisura permitida $w_{\text{máx}}$. Desgraciadamente no hay normativa que evite la siempre peligrosa subjetividad. Pero haciendo un compendio de toda la información disponible en el estado del conocimiento hemos podido establecer los valores más idóneos que deben emplearse en cada caso.

También resaltamos la peculiaridad en el tratamiento de los depósitos de hormigón armado, al buscar de manera independiente las armaduras de flexión y de tracción por caminos totalmente diferentes para al final sumarlas.

Las paredes de los depósitos rectangulares de hormigón armado se tratan como placas triempotradas, en la solera y en las dos paredes laterales, y con el borde superior libre, con lo que aparecen esfuerzos en las direcciones vertical y horizontal. Por contra, las paredes de los depósitos cilíndricos van acompañadas por toda la teoría de láminas circulares cilíndricas.

En cuanto a los depósitos cilíndricos de hormigón pretensado se empieza centrando al lector en un tema tan básico como es la unión pared-solera, que sin duda condiciona los esfuerzos sobre la pared. También se ha buscado ordenar de manera sencilla todos sus aspectos de cálculo y diseño más importantes, a fin de que cualquier técnico se pueda enfrentar a un depósito de hormigón pretensado sin problemas. También se han adaptado a los parámetros de la vigente Instrucción EHE, siendo especialmente meticulosos en la mejor manera de limitar tanto la fisuración vertical, de la que se ocupa la armadura activa circunferencial, como la también muy peligrosa fisuración horizontal, de la que se ocupa la armadura pasiva.

Finalmente, para el cálculo de la solera de un depósito precisamos de un sencillo programa de pórticos que nos permita discretizarla en un conjunto de nudos y barras, que apoyada sobre un lecho elástico que simula el terreno se encuentra sometida a las acciones que la solicitan.

En el capítulo 3 se ha realizado un enorme esfuerzo encaminado a facilitar la resolución de los sistemas de ecuaciones lineales que cubren todas las posibilidades de unión pared-solera, y necesarios para poder encontrar el campo de esfuerzos en una pared

cilíndrica.

En el capítulo 4 se presentan cuatro ejemplos de aplicación de los distintos criterios empleados en el cálculo de depósitos de agua, a fin de reforzar y clarificar al máximo todo lo expuesto en los capítulos anteriores. Se calcula de manera detallada y con todos los pasos necesarios la pared de un depósito rectangular de hormigón armado, la pared de un depósito cilíndrico de hormigón armado, la pared de un depósito cilíndrico de hormigón pretensado, y finalmente la solera de un depósito rectangular.

En el capítulo 5 ya se entra en la segunda parte de la tesina, que consiste en dar la posibilidad a una persona sin conocimientos ingenieriles a que pueda escoger aquel depósito que más se adecue a sus necesidades particulares. Para ello se estudia una población de 672 depósitos diferentes (la mitad con cubierta y la otra mitad sin ella), repartidos en un amplio espectro de volúmenes, desde 100 hasta 50.000 m³, y con alturas de agua muy habituales comprendidas entre los 2,0 y los 8,0 m.

En la muestra no se ha incluido el estudio de los depósitos cilíndricos pretensados con hormigón proyectado y tampoco los depósitos prefabricados, por entender que su precio presenta oscilaciones en función de condicionantes de mercado de unas pocas empresas que a ello se dedican; y también porque parece más lógico que una vez se conozcan las dimensiones óptimas del depósito, se consulte el precio en las dos tipologías mencionadas y se compare con otras ofertas disponibles.

En el capítulo 6 se exponen las conclusiones que se derivan de los distintos estudios desarrollados a lo largo de la tesina. Las conclusiones responden al cumplimiento de los objetivos principales que han guiado el desarrollo de la misma. Por una parte, dándole al técnico todo lo necesario para que calcule el depósito con la confianza de estar amparado por las principales normativas, recomendaciones y estudios realizados hasta el momento, con la seguridad de estar siguiendo la misma filosofía de cálculo de la vigente Instrucción de Hormigón Estructural EHE (1999) y también con la tranquilidad de estar diseñando una estructura que no tendrá problemas de funcionalidad o durabilidad con el tiempo. Y por otra parte, dándole facilidades a la persona sin conocimientos ingenieriles para que pueda escoger el depósito que más se acomode a

sus necesidades particulares.

En la parte final de este capítulo se llega a conclusiones específicas, como son las relaciones D/H_0 óptimas en depósitos cilíndricos, el número de contrafuertes óptimo o el campo de validez para las fórmulas simplificadas en el cálculo de la pared de un depósito cilíndrico.

Por último, en el capítulo 7 se recogen las referencias más significativas consultadas a lo largo del desarrollo de este trabajo.