



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



DIAGNÓSTICO DE DAÑOS Y PROPUESTA DE ACTUACIÓN
EN EL DEPÓSITO DE AGUA DE LA CONDUCCIÓN TURIA-
SAGUNTO EN EL TM DE SAGUNTO (VALENCIA). DIAGNÓSTICO

Memoria

Trabajo final de grado

Titulación: Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso: 2014/15

Autor: Jonatan Rodríguez Herrera

Tutor: José Miguel Adam Martínez

Valencia, Junio de 2015



DOCUMENTOS QUE CONSTITUYEN EL PRESENTE TRABAJO FINAL DE GRADO

DOCUMENTO Nº 1 .MEMORIA Y ANEJOS

Memoria

Anejos de la Memoria

Anejo Nº1 Estudio geológico y geotécnico

Anejo Nº2 Estudio de estabilidad del muro ménsula

Anejo Nº3 Cálculo estructural del depósito

DOCUMENTO Nº 2. PLANOS

Plano Nº 1 Localización

Plano Nº2 Planta del depósito

Plano Nº3 Mapa geológico del IGME

Plano Nº4 Sondeos

Plano Nº5 Calicatas en muro 2

MEMORIA



ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN	0.2
1.1 Agentes	0.2
1.2 Información previa	0.2
1.3 Entorno	0.3
2. ANTECEDENTES	0.5
3. ESTADO ACTUAL DEL DEPÓSITO	0.5
4. EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO	0.10
4.1 Daños observados	0.15
4.2 Estudio geológico y geotécnico	0.17
4.3 Estudio de estabilidad del muro ménsula	0.17
4.4 Cálculo estructural del depósito	0.18
4.5 Estudio topográfico	0.19
5. CONCLUSIONES	0.21



1 INTRODUCCIÓN

1.1 Agentes

Promotor: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Confederación Hidrográfica del Júcar.

Dirección postal: Avenida Blasco Ibáñez nº 48, 46010 Valencia, nº de fax: 96-3938800

Propiedad: Excmo. Ayuntamiento de Sagunto

1.2 Información previa

Se recibe por parte de la administración pública el encargo del "Diagnóstico de daños y propuesta de actuación en el depósito de agua de la conducción Turia-Sagunto en el TM de Sagunto (Valencia)" con la inclusión de detalles, equipos de trabajos, sistemas constructivos y estudios pertinentes.

Objeto del trabajo

El objeto del trabajo es la evaluación y diagnóstico del estado de un depósito situado en Sagunto, y, que tras su uso y explotación se ha visto deteriorado.

Emplazamiento: Camino Cementerio N01, 20 ,46500 Sagunto

Acceso: Se puede acceder al depósito mediante un camino al este del mismo, cercano a la N-340

Localización 39.674847, -0.292309

Coordenadas geográficas:

Longitud Madrid: 04º 34' 15''

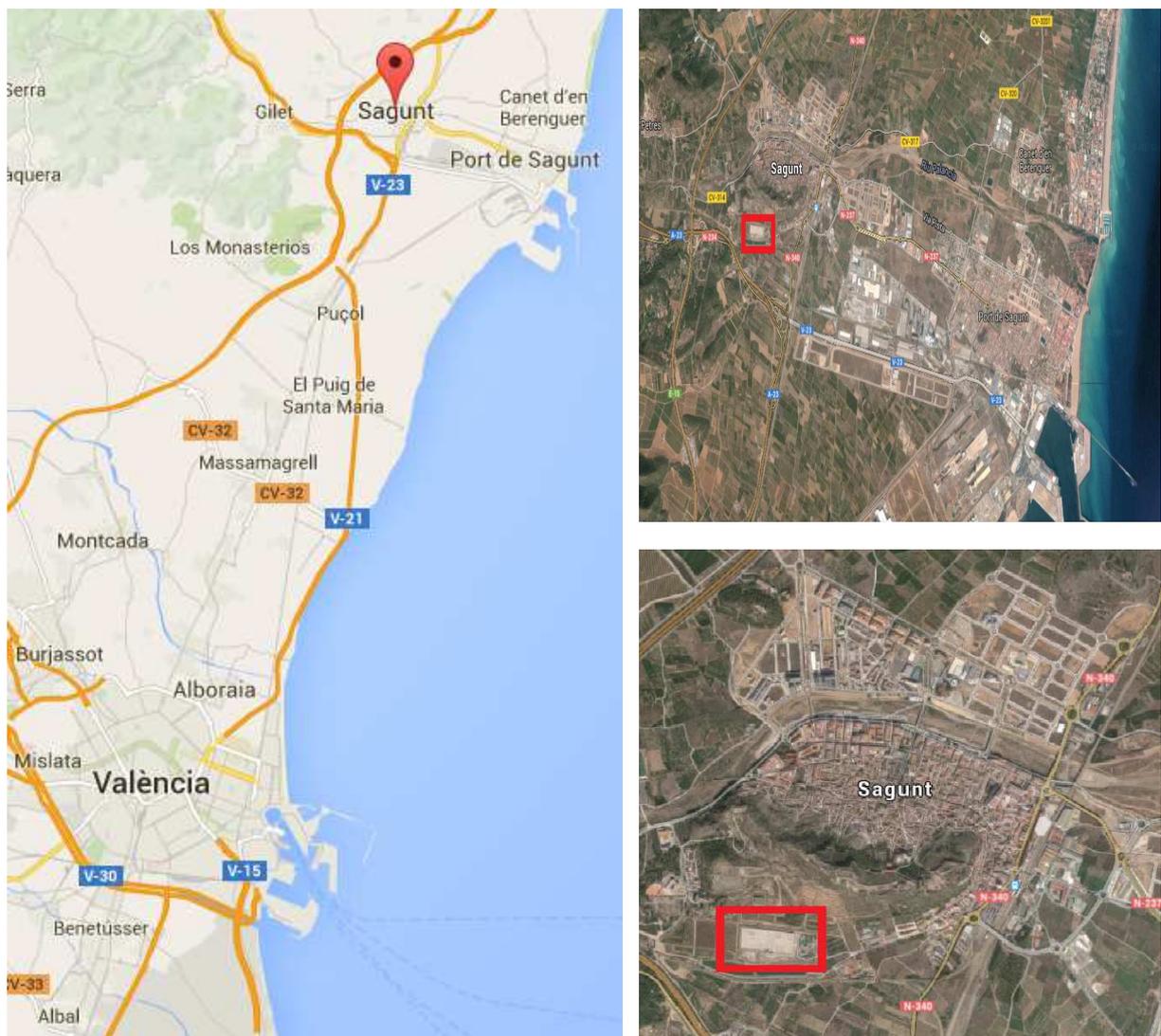
Latitud Madrid: 39º 40' 24''

Longitud Greenwich: 00º 17' 08''

Latitud Greenwich: 39º 40' 55''

1.3 Entorno

Nos encontramos en un depósito de hormigón armado de 150.000 metros cúbicos situado en el Término Municipal de Sagunto (Valencia), donde antiguamente se hallaba una cantera. El agua procede del río Turia y cuenta con su propia red de canalización y distribución. En la misma instalación se encuentra la planta potabilizadora, abasteciendo a las localidades circundantes (mayoritariamente Sagunto y el Puerto de Sagunto)



Figs. 1,2 y 3. Localización

El depósito se dispone en la parte inferior del castillo de Sagunto por la parte suroeste, a menos de 2 km del casco urbano y a una cota de unos 65 m sobre el nivel del mar. Además de abastecer agua para el consumo humano, la tipología de este tipo de depósito asegura que a los diferentes puntos de abastecimiento llegue la presión necesaria, y también puede usarse para casos de emergencia, como por ejemplo incendios.

Tras haberse llenado completamente por primera vez se observa un pequeño deslizamiento en el muro perimetral de contención, por lo que se ha de cerrar por motivos de seguridad y efectuar un estudio para evaluar las causas de fallo y evitar cualquier catástrofe.

En 1997 en Melilla ocurrieron situaciones similares en un depósito de menos capacidad (25.000 metros cúbicos), pero no se actuó con suficiente tiempo y se produjo el colapso de los muros, una riada en la zona somera y la muerte de 9 personas.

Linderos: Norte: Calle Cementerio 01 Sur: Calle Cementerio 01 Este: Calle Cementerio (acceso desde Sagunto) Oeste: Carrer Racó (campos de naranjos)



Fig.4 Panorámica general del depósito



2. ANTECEDENTES

El día 15 de Diciembre de 2014 se realizó una visita al depósito para una primera valoración de su estado. Esta visita fue guiada por el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos D. José Miguel Adam Martínez, quien fue informando sobre los antecedentes y la casuística del depósito.

De forma previa al estudio, se han efectuado diversos estudios sobre los daños detectados en el depósito. Los estudios e informes recopilados, que han servido de base para una primera toma de contacto han sido:

- Abril de 2004. “Informe técnico sobre el estado de una de las cámaras del depósito de agua bruta de Sagunto”, firmado por D. Sergio Moyano.
- Febrero de 2005. “Informe técnico sobre el estado del depósito de agua bruta de Sagunto”, firmado por D. Sergio Moyano.
- Junio de 2005 “Informe sobre los corrimientos detectados en uno de los muros del depósito final de la conducción Turia-Sagunto”, firmado por D. Jose Soler Sanz.
- Planos del proyecto constructivo “Modificación nº1 del complemento de caudales al Camp de Morvedre. Conducción Turia-Sagunto (Valencia)”, firmado por D. Jose M^a Añon (sin fecha).

3. ESTADO ACTUAL DEL DEPÓSITO

La capacidad del tanque fue construida para abastecer a una población de 63.000 personas cerca del mar en la costa mediterránea. El tanque se dispone a una distancia de 500 metros del pueblo de Sagunto, en la pendiente de una colina que previamente había sido una cantera.

El tanque se divide en dos secciones de planta rectangular(A y B), de hormigón armado con una superficie de 250 m de largo y 100 de ancho como refleja la Figura 5.

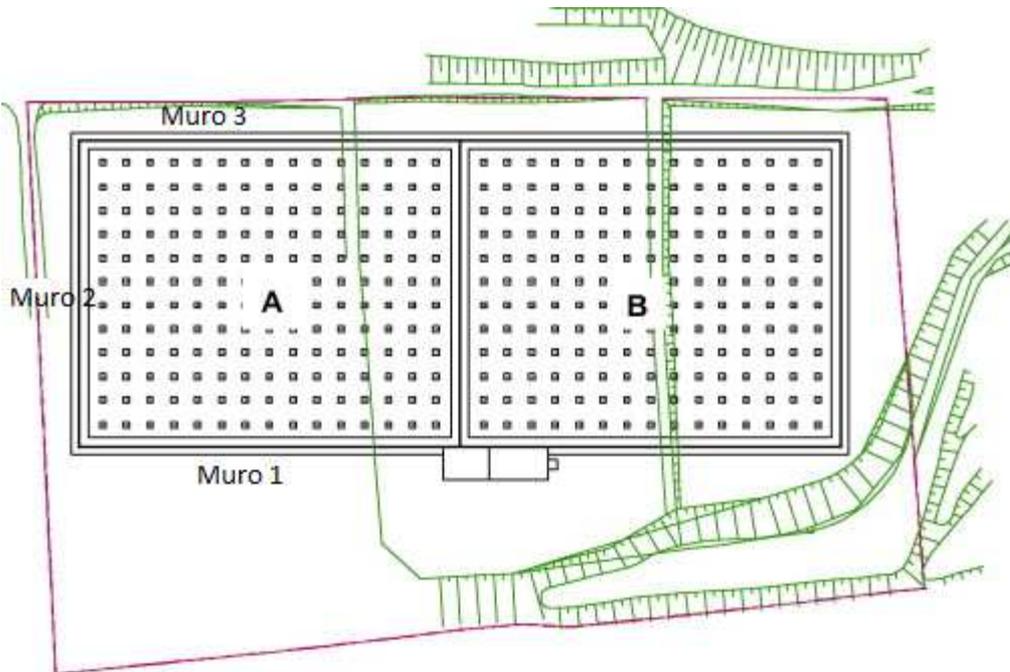


Fig. 5. Planta del depósito



Fig.6.Muro 2



Fig.7. Muro 1

Los muros exteriores son muros ménsula de 6,05 metros de altura y con una zapata de 0,7x5.7 m. La cubierta se trata de un forjado reticular de casetones recuperables de canto 25+5 cm, intereje 0,8 m y nervio de 12 cm. Los pilares se disponen cada 8 m, apoyando en unas zapatas de 1,6m x 1,6 m, con una sección de 30 cm x 30 cm. En la parte inferior de la zapata del muro ménsula se dispone una losa de cimentación de 0,25 m de espesor.



Figs. 8 y 9. Muro 3 e interior del depósito

La conexión entre la losa superior y los muros se efectúa con apoyos de neopreno, siguiendo el mismo alineamiento que los pilares. A su vez, estos neoprenos descansan sobre una pieza rectangular de mortero de cemento. La conexión entre la losa inferior y la zapata del muro se efectúa con una junta de dilatación continua (Fig. 11)

Los muros perimetrales disponen de respiraderos en forma de cuadrado para ventilar el flujo interior del agua (Fig.10)

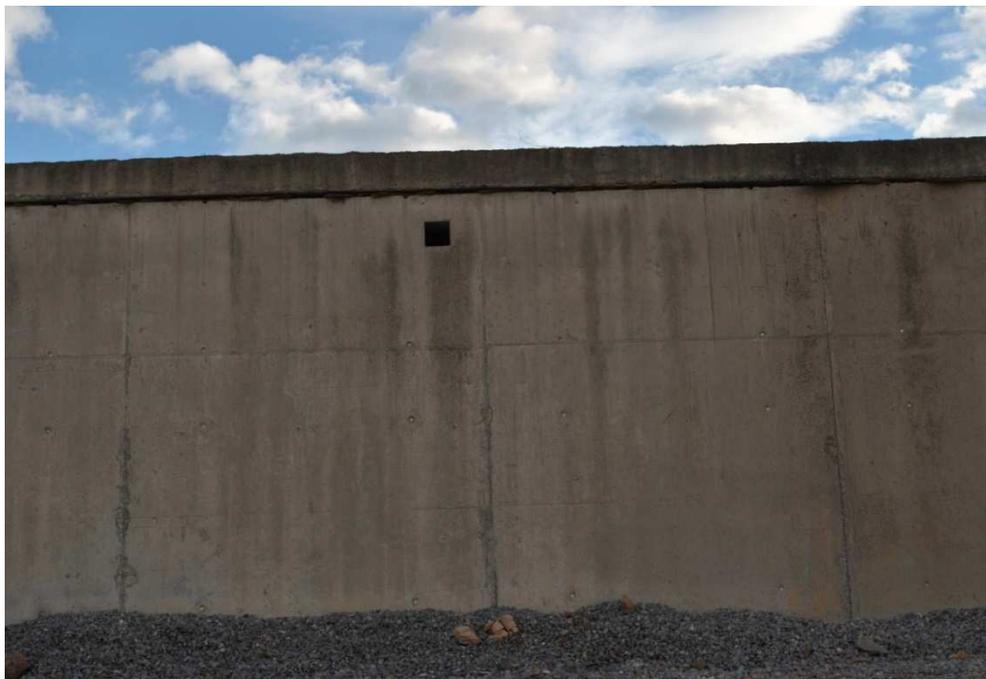


Fig. 10. Respiradero en muros perimetrales

El depósito abastece principalmente a la población de Sagunto, tomando el agua de un depósito intermedio que obtiene el agua del canal Júcar-Túria. El agua llega por medio de una tubería de 800 mm de diámetro hasta la depuradora, para ser utilizada posteriormente a su tratamiento. También existe un conducto alternativo de 400 mm de diámetro con válvula de mariposa, que permite una circulación alternativa al de la depuración.

La capacidad máxima de la conducción es de $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

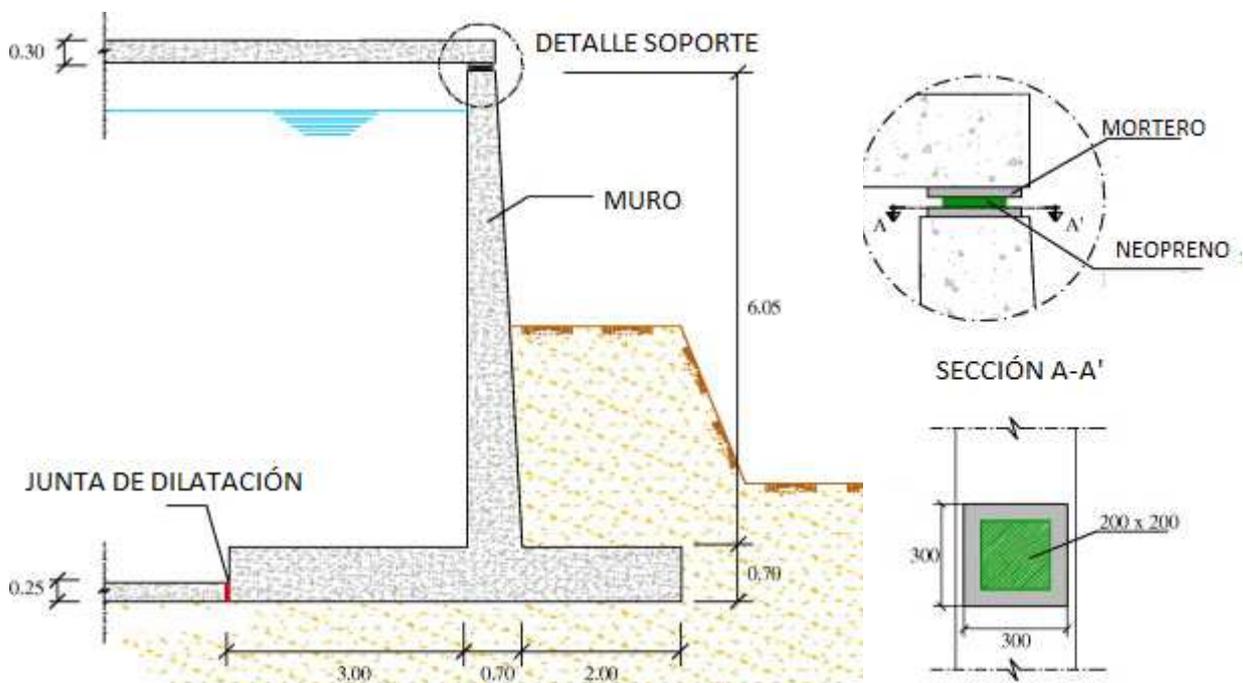


Fig.11. Sección del muro ménsula

4. EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO

Unos pocos meses después de entrar en servicio, se detectó un movimiento en uno de los muros de la sección A, provocando que el forjado de la cubierta cayera sobre el muro. La sección A fue vaciada para evitar mayores daños.

Para determinar las causas de lo sucedido, se realizaron una serie de visitas y un estudio topográfico llevado a cabo para medir la magnitud de los movimientos de los muros. Un extenso estudio geotécnico fue también realizado para analizar las características del terreno de la zona adyacente.

4.1 Daños observados

En la primera visita se observó que el muro número 2 sufría un movimiento considerable con respecto a los demás muros perimetrales. A simple vista podía deducirse que se debía al vuelco y deslizamiento de dicho muro, el cual descansaba sobre un material de relleno.

El movimiento de los muros de cierre provocó en su día el desprendimiento del forjado sobre el muro ménsula, mientras que en las zonas intactas, el forjado apoya en los diversos apoyos de neopreno que se colocan para garantizar pequeñas oscilaciones entre muro y cubierta. Pueden observarse en las figuras 12 y 13 desconchamientos del hormigón del forjado en zonas puntuales, provocadas por el choque entre los dos elementos rígidos.



Figs. 12 y 13. Desprendimiento del forjado sobre el muro

El movimiento de la cabeza del muro se considera que es debido al giro del mismo, provocando un salto y la desalineación entre junta de paneles. Este giro (vuelco) es considerablemente mayor en la parte superior que en la base como se puede observar en las figuras 14 y 15. Además, el movimiento queda perfectamente reflejado en las zapatas, donde se produce una separación de hasta 30 mm en las juntas de dilatación. La figura 16 muestra dicho movimiento en la cimentación.



Figs. 14 y 15. Abertura de la junta entre paneles



Fig. 16 .Desplazamiento relativo en la zapata de los muros

En la cubierta de la sección A del muro aparecen aberturas en las juntas entre paneles de hasta 40 mm. En cambio en la sección B del tanque es de menos de 10 mm. Este desplazamiento desigual de los muros evidencia aún más el vuelco que existe en el muro 2 hacia la parte este. Las figuras 17 y 18 muestran la diferencia de aberturas entre juntas de dilatación.



Figs. 17 y 18. Abertura de juntas en cubierta

En la parte superior del forjado reticular queda estancada el agua en toda su superficie debido a que no existe la nivelación de pendientes especificada en los planos de proyecto. Desde la vista tomada por satélite (figura 19) ya puede observarse el embalse del agua. En días de lluvia puede generar la existencia de cargas no consideradas en proyecto. Además, por las pequeñas fisuras y juntas entre paneles puede penetrar con facilidad el agua de lluvia. Ante esta problemática se ha optado por realizar unos cortes en el forjado con el fin de que el agua embalsada no sobrecargue la cubierta con acciones no especificadas en proyecto. Este aspecto puede verse en la figura 21, lo que también demuestra la no aplicación de la capa de hormigón de nivelación especificada en proyecto.

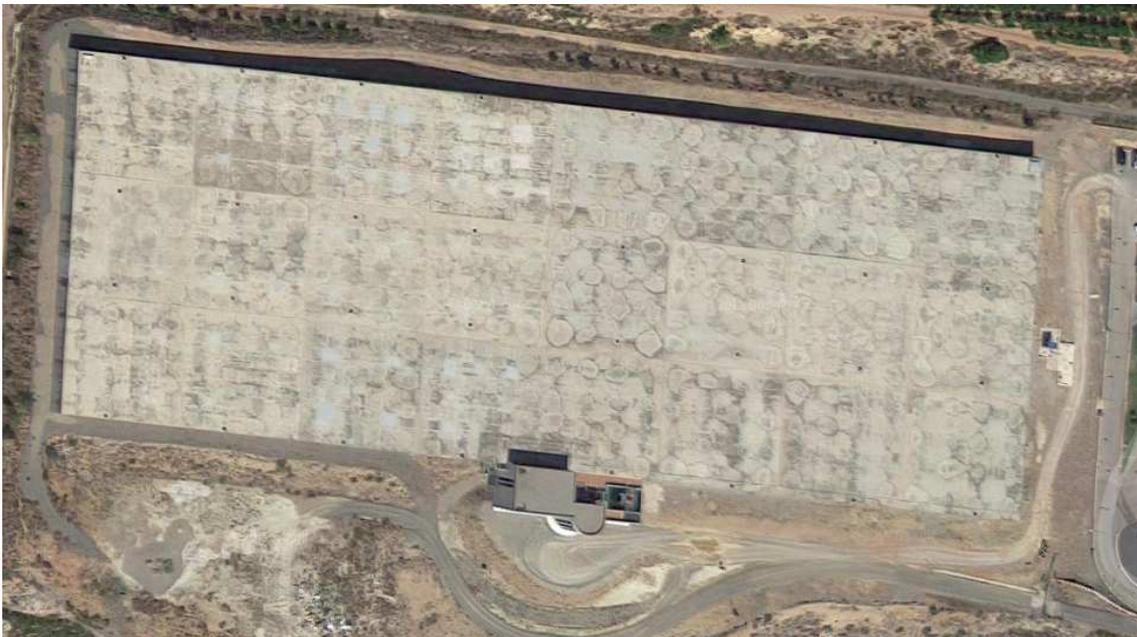


Fig. 19 Vista por satélite del depósito



Figs. 20 y 21. Vista general de la cubierta. Zona evacuación agua

Otra patología que se observa en varias zonas del depósito es la corrosión de las armaduras en los paramentos del muro y pilares.

Como ya se indica en informes anteriores es debido al escaso recubrimiento de hormigón con el que se proyectó.

El efecto de la corrosión puede afectar al armado cercano, traduciéndose en un incremento de volumen de las armaduras y la consiguiente pérdida del recubrimiento de hormigón, afectando a la durabilidad de la estructura. Esta patología puede verse en las figuras 22 y 23.



Figs. 22 y 23. Corrosión de armaduras en paramento de muros

La patología que afecta al hormigón más frecuentemente es la carbonatación, y consiste en la pérdida de la capacidad de éste de proteger las armaduras frente a la corrosión, debido al ataque que sufre el hormigón por el CO₂ de la atmósfera.

Una vez carbonatado las armaduras del hormigón comienzan a oxidarse, aumentando de volumen y provocando la rotura interna del hormigón y los consecuentes desconches. Por tanto, se produce un debilitamiento estructural del edificio. El proceso de degradación se acelera cuando se trata de hormigones muy porosos, poco compactos, cuando existe un escaso recubrimiento de las armaduras o un curado incorrecto.

4.2 Estudio geológico y geotécnico

Desde un punto de vista geológico y de acuerdo con la información extraída de la Hoja de Sagunto 668 del mapa geológico de España, a escala 1:50.000, se define la geología que aflora en la zona.

El estudio geotécnico se ha llevado a cabo a partir de la ejecución de calicatas y de 11 sondeos mediante el Standard Penetration Test (SPT), por parte de la empresa Intercontrol.

Los resultados de estos sondeos se incluyen en el estudio geotécnico correspondiente (Anejo nº 1 Estudio geológico y geotécnico), no obstante es de destacar, que en el contacto hormigón-terreno, se detecta la presencia de una lámina de PVC, coincidiendo con lo reflejado en los planos del proyecto constructivo. Esta lámina, alterará el coeficiente de rozamiento terreno-hormigón.



Fig. 24. Lámina de PVC bajo la zapata del muro

Con el objeto de determinar el estado del drenaje existente por debajo del plano de cimentación del depósito, se efectúan 3 catas. Los resultados extraídos de estas catas, se documentan en los planos correspondientes, no obstante, se incluye en este punto una recopilación fotográfica de las mismas (véanse Figs. 25, 26 y 27). Se vuelve a insistir en que se detecta la misma lámina de PVC, documentada por los sondeos geotécnicos.



Fig. 25. Cata 1



Fig. 26. Cata 2



Fig. 27. Cata 3

Este apartado queda explicado al detalle en el Anejo nº 1 “Estudio geológico y geotécnico”

4.3 Estudio de la estabilidad del muro ménsula

Para estudiar las posibles causas del fallo estructural del muro se recurre al cálculo de los coeficientes de seguridad frente a vuelco y deslizamiento mediante ecuaciones numéricas. También se evalúan las tensiones máximas existentes bajo el muro. La fuente para el cálculo de estos coeficientes se ha extraído de la GCOC, obteniendo aceptable el coeficiente frente al vuelco.

Sin embargo, el coeficiente de seguridad frente a deslizamiento no cumple respecto a la normativa, siendo clave la existencia de la lámina de PVC existente en el contacto hormigón-terreno de la zapata del muro. La Fig.28 muestra el desplazamiento del muro hacia los rellenos exteriores, los cuales como ya se explicó con anterioridad, presentan una mala compactación.

Además, para obtener con mayor magnitud el estado del tanque se efectúa un análisis mediante el método de elementos finitos con el software geotécnico PLAXIS, en el que se definirán 4 secuencias constructivas, nombradas como fases. Esta introducción de fases permite introducir las cargas y la presencia del terreno según la construcción de los diversos elementos del depósito, observando las deformaciones del terreno y de los elementos estructurales en cada fase. Las fases introducidas en el programa son las siguientes:

- Fase 1. Construcción de la solera y el muro
- Fase 2. Construcción del forjado, pilares y relleno frontal
- Fase 3. Llenado del depósito
- Fase 4. Vaciado del depósito y retirada relleno en puntera (Fase actual)

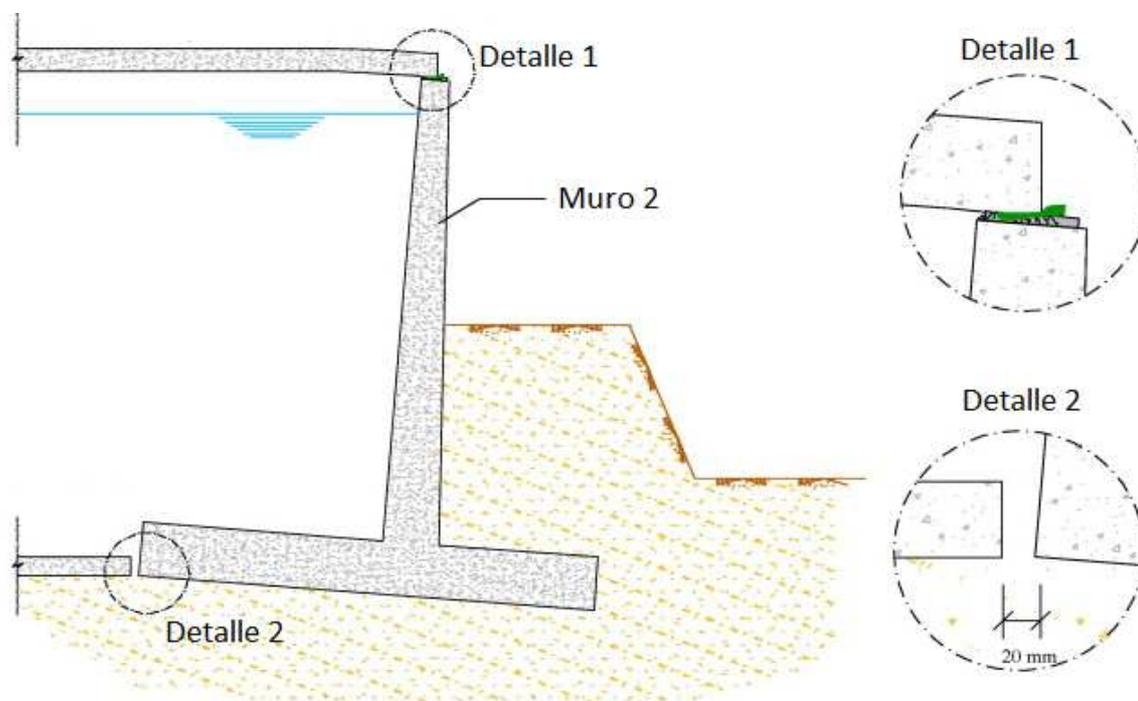


Figura 28. Desplazamiento del muro 2

Todo lo relacionado con estos cálculos está incluido en el Anejo nº 2 “Cálculo de estabilidad del muro ménsula”.

4.4 Cálculo estructural del depósito

Para conocer si la estructura fue dimensionada adecuadamente se procede al cálculo de los elementos más significativos del depósito:

- 1) Forjado reticular, cimentaciones y pilares del depósito
- 2) Muros perimetrales

La normativa con la que se diseñó y construyó el depósito es la EH-91, por lo que la comprobación se hará a partir de las recomendaciones y normas de la misma.

Además, se plantea un modelo a partir de las acciones actuantes en una superficie del depósito de 40 m x 40 m y se introduce en el programa informático CYPECAD de CYPE Ingenieros S.A.



Este programa nos muestra la cantidad de armadura necesaria frente ELU de agotamiento por solicitaciones normales y del ELU a cortante. Tras la comparación, se puede afirmar que todas las armaduras dispuestas cumplen frente a estos ELU, y que por lo tanto el depósito se dimensionó de forma correcta.

También se comprueba la armadura de cortante y punzonamiento necesaria. El programa indica que frente a punzonamiento no es necesario ningún tipo de armadura ni disposición, y que frente a cortante es necesario disponer mucha menos armadura de la dispuesta.

Para conocer con más detalle el cálculo estructural véase el Anejo nº 3 “Cálculo estructural del depósito”

4.5 Estudio topográfico

Al mismo tiempo que los demás estudios se llevó a cabo un estudio topográfico intenso de los diferentes muros, especialmente del muro 2. Se dispuso del equipo topográfico en diferentes puntos exteriores al depósito, aportando una esbelta estructura auxiliar de hormigón para la nivelación de la instrumentación (véase Fig. 29 y 30). Los resultados muestran un desplazamiento horizontal en la parte superior de aproximadamente 60 mm de media, y un máximo de 96 mm. En la base son de menor magnitud, variando entre 10 y 30 mm.

Estos resultados ratifican aún más las hipótesis alcanzadas en apartados anteriores, donde los muros han sido afectados por los fenómenos de deslizamiento y giro.



Fig.29. Estructura auxiliar de hormigón para estudio topográfico al NO del depósito



Fig.30. Estructura auxiliar de hormigón para estudio topográfico al NE del depósito

5. CONCLUSIONES

Una vez realizados los estudios y cálculos descritos se alcanza un diagnóstico final y se llega a una serie de conclusiones:

1. El depósito fue construido en una antigua cantera, bajo un relleno mal compactado. Este hecho será uno de los problemas del giro del muro debido a que no tiene la suficiente capacidad portante como para soportar las acciones sobre este.
2. Los movimientos del muro ménsula número 2 son debidos a una combinación de vuelco y deslizamiento.
3. Tanto la ejecución de las catas como los sondeos detecta una lámina de PVC entre la zapata del muro y el terreno. El coeficiente de rozamiento entre la zapata y el terreno podría disminuir, afectando negativamente a los coeficientes de seguridad frente a la estabilidad.
4. Tras el cálculo del factor de seguridad frente a deslizamiento del muro 2 se obtienen unos resultados inaceptables. Con un ángulo de rozamiento del terreno de 30° , el factor de seguridad es de 1,21, lejos del factor de seguridad de 1,5 que establece la norma. Además, la presencia de la lámina de PVC reduciría aún más este factor.

Respecto al cálculo del factor de seguridad frente a vuelco, el valor obtenido es de 2,8, por lo que supera el establecido por la norma de 1,8 para una combinación de acciones característica.
5. Los cálculos mediante el programa informático PLAXIS evidencian los resultados obtenidos a partir de la formulación de la GCOC. La deformación del muro hacia el relleno frente a éste es clara, y el movimiento, tanto de la coronación del muro como de la puntera de la cimentación, es inaceptable.
6. La tensión máxima sobre el terreno no es excesivamente elevada, pero debido a la mala compactación del relleno –tanto el que se halla bajo el depósito como el que está frente a la puntera- y a la posible saturación del mismo, los movimientos que se han producido en el muro son importantes e inadmisibles.
7. El movimiento de vuelco ha provocado el fallo del soporte de neopreno entre el muro y el forjado reticular de casetones. En consecuencia, muchas zonas del muro presentan desconchamientos del hormigón tras el choque entre los dos cuerpos.



rígidos. También ha provocado la abertura de las juntas de dilatación entre paneles – tanto en el alzado del muro como en el la cubierta-.

Muchas zonas en los paramentos del muro presentan armaduras corroídas debido al escaso recubrimiento de hormigón.

8. Todos los cálculos se han obtenido sin incluir la posible subpresión que ejerce el agua sobre la estructura. Por lo tanto, el estado del depósito puede ser aún peor que el presentado.

9. A parte del estudio de la estabilidad del depósito, se comprueban cada uno de los elementos estructurales que forma el mismo, concluyéndose que el dimensionamiento de los principales elementos de hormigón es **correcto**.

Dado que **las condiciones de estabilidad del depósito no son aceptables**, se requiere alguna actuación al respecto.