

**CÁLCULO DEL DEPÓSITO DE ALMENARA PARA LAS OBRAS
COMPLEMENTARIAS DE DISTRIBUCIÓN DE LA DESALADORA
DE MONCÓFAR**

Universidad Politécnica de Valencia

ETSI Caminos, Canales y Puertos de Valencia.

Grado en Ingeniería de Obras Públicas.



Curso 2013/2014

Fecha de presentación

02/07/2014



Alumno:

Francisco Tomás Martínez Val

Tutor:

Carlos Miguel Gisbert Doménech

(Depto. Ingeniería de la Construcción, UPV)



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
ETSI Caminos, Canales y Puertos de Valencia.



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



*Cálculo del depósito de Almenara para las obras
complementarias de distribución de la desaladora de Moncófar*

MEMORIA

Alumno: Francisco Tomás Martínez Val

Dirigido por:

Prof. Carlos Miguel Gisbert Doménech (Depto. Ingeniería de la Construcción,
UPV)

Fecha 02/07/2014



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	4
2. OBJETIVO DEL ALUMNO	4
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
4. ALCANCE DEL PROYECTO	7
5. INFORMACIÓN DISPONIBLE Y CONDICIONANTES	8
6. MATERIALES	9
7. ACCIONES	10
8. MODELIZACIÓN	11
8.1. ESTADO LÍMITE ÚLTIMO.	12
8.1.1. CÁLCULO DEL MURO. EXCEL.	12
8.1.2. CÁLCULO DEL MURO. SAP 2000.	13
8.1.3. CÁLCULO DE LA CIMENTACIÓN.	15
8.1.4. CÁLCULO DE LA CUBIERTA	17
8.2. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO.	17
9. RESULTADOS OBTENIDOS	19
9.1. RESULTADOS MURO.	21
9.2. RESULTADOS LOSA CIMENTACIÓN (CON TALÓN)	25
9.3. RESULTADOS CUBIERTA	26
10. ARMADO	27
11. CRÍTERIOS DE COLOCACIÓN, DISEÑO Y ARMADO.	28
12. CONCLUSIONES	30
13. ÍNDICE DE DOCUMENTOS ANEXOS.	32



1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El presente trabajo “Cálculo del depósito de Almenara para las obras complementarias de distribución de la desaladora de Moncófar” se centra en el diseño y cálculo estructural del depósito en cuestión. El mismo se ubica en las proximidades al municipio de Almenara, comarca de la Plana Baixa, provincia de Castellón. Se trata de un depósito de hormigón armado ejecutado in situ, compuesto por dos vasos de planta rectangular de 2420 m^3 cada uno (4840 m^3 de capacidad total). Las dimensiones del depósito son 32 metros de largo por 24 metros de ancho y por 7 metros de alto, la disposición del mismo es semienterrada en una zona de calizas dolomíticas, la cota inferior de cimentación es de -3.5 metros siendo la cota natural de terreno de 0 metros. El espesor tanto de los muros como de la losa de cimentación es de 0.6 metros, geometría impuesta por una serie de condiciones externas que están fuera del alcance del trabajo.

En cuanto a los antecedentes se refiere con fecha 20 de Noviembre de 2013 el alumno D. Francisco Tomás Martínez Val se dirigió al profesor Don Carlos Gisbert Doménech para que ejerciera como tutor en su trabajo fin de grado (TFG) en la modalidad de concierto directo. De entre los posibles trabajos propuestos por ambas partes, el alumno finalmente se decantó por desarrollar la propuesta cuyo título es “Cálculo del depósito de Almenara para las obras complementarias de distribución de la desaladora de Moncófar” aprobado con fecha 24 de Febrero de 2014 por la Comisión Académica de Título. La motivación que llevo al alumno a seleccionar finalmente este trabajo fue principalmente la idea de manejar varias hipótesis de carga en una misma estructura para posteriormente realizar un análisis de cada elemento estructural individualmente con el objetivo de obtener un buen diseño global del depósito en cuestión.

2. OBJETIVO DEL ALUMNO

El objetivo principal del alumno es la entrega del Trabajo Final de Grado (TFG) cumpliendo de esta manera con los créditos necesarios para dar finalización al plan de estudios ofrecido por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y más en concreto por la Escuela Técnica Superior de Caminos Canales y Puertos (ETSCCP) para el Grado en Ingeniería de Obras Públicas (GIOP). Se entrega el mismo en secretaría de la escuela a fecha 02/07/2014 y defendiendo el mismo ante el tribunal a fecha indefinida hasta el momento.

Con la realización del trabajo seleccionado el alumno pretende alcanzar un mayor conocimiento a la hora de diseñar una estructura de hormigón armado. Para ello se propone la elaboración de cálculos seccionales, así como la utilización de varios programas de cálculo de estructuras, también se pretende profundizar en los elementos constructivos que forma el conjunto de la estructura, con la idea de detallar perfectamente algunos aspectos constructivos de la misma, llegar a un buen criterio de diseño y realizar unos planos adecuados al entendimiento de cualquier jefe de obra.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Pasando ahora a redactar los objetivos tanto del depósito en cuestión como del resto de obras complementarias, cabe destacar que en un principio la desaladora de Moncofa tenía inicialmente una capacidad de producción de 10.5 hectómetros cúbicos al año suministrando agua a los municipios de Moncofa y Xilxes. Dicha producción se vió incrementada a 21 hectómetros cúbicos tras la construcción del depósito de Almenara y las obras de distribución que este requería, dando así servicio a los municipios de Almenara y Nules.

Toda esta infraestructura es básica para garantizar, con independencia de las condiciones climatológicas, el abastecimiento de agua en la comarca de la Plana Baixa. Además, esta ampliación, permitirá atender las demandas de la población estable de la zona e incluso las que surjan en los picos de población estival.

Todas estas obras incluyen unos 8 km de conducciones para la distribución del agua, así como dos depósitos ubicados en Almenara y Xilxes ambos con una capacidad aproximada de 4800 m³ y un depósito principal situado en la propia desaladora en Moncofa con capacidad de 40000 m³.





4. *ALCANCE DEL PROYECTO*

El alcance de este TFG es resumidamente el cálculo y diseño del depósito de Trascatell ubicado en las proximidades al municipio de Almenara y de acuerdo con el Proyecto de obras complementarias para la desaladora de Moncófa. El trabajo se centra exclusivamente en el cálculo estructural del propio depósito excluido del alcance propuesto el diseño de las dimensiones del mismo, así como las instalaciones u otros aspectos no relacionados directamente con el cálculo estructural

A continuación se detalla paso a paso el alcance propuesto finalmente para la elaboración del Trabajo:

1. Se recopilará y analizará la información existente sobre los condicionantes de diseño:
 - Información geotécnica.
 - Topografía.
 - Estudio de soluciones anteriores si los hubiera.
 - Regimen hidráulico que pueda afectar a la obra.
 - Planos de geometría básica.
 - Normativa de aplicación.
 - Otros condicionantes o afecciones.
2. Se dará parte de los materiales empleados para la realización de la obra.
3. Se estudiarán y explicarán las acciones que vayan a afectar a la estructura de acuerdo a la normativa vigente.
4. Se analizarán las posibles combinaciones de acciones tanto para el depósito en fase de construcción como en servicio o incluso en casos puntuales de mantenimiento o reparación. Todo ello con el objetivo principal de determinar la combinación de acciones más desfavorables y de la cual se van a obtener esfuerzos más determinantes para el diseño y comprobación de la estructura.
5. Descripción y resolución de los diferentes modelos propuestos para cada elemento constructivo con el objetivo de obtener finalmente el armado necesario por cálculo, es decir, cálculo del ELU (frente a sollicitaciones normales y frente a cortante) y comprobación del ELS (frente a fisuración).
 - Modelos de cálculo aproximados, mediante empleo de métodos de aplicación directa que permiten acotar el orden de magnitud así como la posibilidad de poder comprobar la veracidad de los resultados.



- Modelos de cálculo auxiliado por el empleo de herramientas informáticas; en función del elemento a desarrollar se emplearan CYPE, SAP o prontuario informático.
- 6. Estudio de soluciones para la ejecución de la cimentación del depósito. Realización de los cálculos pertinentes.
- 7. Cálculo y obtención de resultados de la cubierta.
- 8. Obtención mínimos geométricos y mecánicos.
- 9. Explicación del módulo de balasto. Ejemplificación de varias hipótesis con el objetivo de demostrar la importancia de dicho módulo.
- 10. Comprobación y análisis de los resultados obtenidos para cada caso.
- 11. Diseño de las juntas, de su disposición y de los apoyos de la cubierta.
- 12. Diseño del drenaje de la estructura.
- 13. Desarrollo de planos; en función de los resultados obtenidos en el cálculo y análisis de la estructura, pasar a diseñar la estructura definiendo todos los planos necesarios para la construcción de la misma. Se tendrá siempre en cuenta la imposición de la geometría que viene dada por el estudio realizado para dar un abastecimiento suficiente de agua a las poblaciones que lo necesiten. Este último estudio queda fuera del alcance del trabajo.
- 14. Medición aproximada del material utilizado en la estructura (acero y hormigón). Queda fuera del alcance del trabajo la elaboración de un presupuesto.

5. INFORMACIÓN DISPONIBLE Y CONDICIONANTES

En este capítulo se pretende detallar la información a partir de la cual iniciamos el desarrollo del trabajo. Esta información va imponer una serie de condicionantes que se deberá tener en cuenta, esta información o condicionantes vienen dados por el tutor encargado de llevar el Trabajo Fin de Grado.

- Condicionantes impuestos en el informe geotécnico, del mismo se sacan una serie de parámetros obtenidos a partir de calicatas y sondeos realizados, la información necesaria para el cálculo de la cimentación se detalla a continuación:



- Tension admisible del terreno: $\sigma_{adm} = 500 \text{ KPa} = 500 \text{ KN/m}^2$
 - Angulo de rozamiento interno del terreno: $\varphi = 30^\circ$
 - Cohesión del terreno: $c = 0$
 - Modulo de balasto: $K_{30} = 5 \text{ Kp/cm}^3$
 - Zona de calizas dolomíticas.
 - Peso específico de las gravas: $\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$ (tras la compactación, gravas utilizadas para relleno en el trasdos del muro).
 - A partir de los sondeos realizados, consta que el nivel freático se encuentra a una cota de -10 m contando a partir del terreno natural. Por lo que se presupone que este no incidirá en ningún momento en la estructura.
 - El ambiente de la obra es de tipo IV, la vida útil del proyecto es de 100 años y el nivel de control de ejecución es el normal y para elementos ejecutados "in situ". Con estos datos junto con la resistencia característica del hormigón podemos obtener el recubrimiento nominal.
- Geometría de la estructura. Viene dada la misma por una serie de planos de partida. De los cuales se obtienen las dimensiones de los vasos y consecuentemente su capacidad en m^3 . Estas capacidades se presuponen estudiadas anteriormente con la idea de que sean suficientes para dar abastecimiento a las poblaciones definidas.

También consta en los planos el espesor de los muros. Se propone la idea de reducir el espesor unos 10 cm pero con este espesor no cumpliría el ELU frente a cortante, por lo que se debería armar a cortante. Por lo que finalmente se decide dejar el espesor de los muros en 0.6 m como inicialmente aparecía en los planos. Para la elección del espesor de la losa es de buena práctica seleccionar un espesor de la misma dimensión que el muro, en cualquier caso este dato también constaba en los planos.

- Es también un condicionante la tipología semienterrada del depósito a la hora de realizar los cálculos pertinentes.

Esta es toda la información disponible a partir de la cual se ha desarrollado el diseño de depósito en cuestión.

6. MATERIALES

Se citan a continuación los materiales utilizados y sus características para la ejecución de la obra:

- Hormigón con la siguiente designación: HA- 30/F/20/IV
- Hormigón de limpieza: HL-150/B/10
- Acero con designación: B500S
- Apoyo elastómero longitudinal.

- Geotextil para impermeabilizar la cubierta.
- Impermeabilizante para el hormigón.
- Tubos dren para el adecuado drenaje.
- Capa de gravas colocadas sobre cubierta y sobre zanjas para drenaje.

Queda justificada la elección de los materiales en el documento Anejo de Calculo.

7. ACCIONES

Con el objetivo de detallar las acciones que inciden sobre la estructura se muestra la siguiente tabla en la cual se especifica de forma concreta las acciones que actúan para la sección de empotramiento del muro. Donde los valores de estas cargas serán lo más desfavorable posible.

Muro, empotramiento.		
Acciones	Carga	Unidades
Peso Propio Muro	105	KN
Peso Cubierta	6.3	KN/m ²
SCU Cubierta	1	KN/m ²
Empuje Terreno	27.5	KN/m
Tráfico Trasdos	10	KN/m
Empuje hidrostático	70	KN/m

Se tendrán en cuenta las acciones anteriores también para la losa de cimentación pues el momento que estas generan es debe ser transmitido totalmente a la cimentación. Además se deberán añadir las acciones que a continuación se detallan:

Losa cimentación		
Acciones	Carga	Unidades
Peso propio losa	15	KN/m ²
Peso propio agua	70	KN/m ²
Peso terreno sobre talón	66	KN/m ²



8. MODELIZACIÓN

El modelo propuesto dependerá del elemento constructivo que estemos tratando, sean muros perimetrales, muro divisorio, cimentación y cubierta los elementos que componen el conjunto de la obra. La modelización utilizada queda totalmente desarrollada en el Anejo de Cálculo de estructuras, pasando a continuación a resumir dicho contenido.

La combinación de acciones se realizará de acuerdo a la situación persistente o transitoria para el caso de dimensionamiento en Estado Límite Ultimo (ELU) frente a sollicitaciones y esfuerzos cortantes y de acuerdo a la combinación cuasi permanente para el caso de comprobación en Estado Límite de Servicio (ELS) frente a fisuración.

- Combinación de acciones. Situación persistente o transitoria. (ELU).

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Combinación de acciones. Situación Cuasi Permanente (ELS).

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_P P_k + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

En los siguientes modelos, anterior al cálculo y las comprobaciones pertinentes, se van a plantear las siguientes hipótesis de carga que se resumen en las tablas que a continuación se muestran.

- Hipótesis de carga para ELU (tabla 2.4.1)

Nº	HIPÓTESIS DE CARGA	ELEMENTOS	LLENADO
1	Depósito lleno con empuje de tierras	Muros perimetrales	Máximo de alivio
2	Depósito vacío con empuje de tierras	Muros perimetrales	Sin agua
3	Un vaso lleno y otro vacío	Muro divisorio	Máximo de alivio y sin agua
4*	Pruebas de llenado	Todos los muros	Máximo de alivio

- Nota(4)*: La hipótesis de carga número 4 no se estudia, ya que estamos considerando todos los casos de carga anteriores con el agua al nivel máximo de alivio, lo que genera el efecto más desfavorable sobre la estructura y por tanto de esta manera ya nos estamos quedando del lado de la seguridad.

- Hipótesis de carga para ELS (tabla 2.4.2)

Nº	HIPÓTESIS DE CARGA	ELEMENTOS	LLENADO
1	Depósito lleno con empuje de tierras	Muros perimetrales	Con resguardo
2	Un vaso lleno el otro vacío.	Muro divisorio	Con resguardo

- Nota: Para el Estado Límite de Servicio se debe dejar 1 metro entre la superficie inferior de la cubierta y la lámina de agua correspondiente al resguardo. Además para la situación cuasi permanente que es la estudiada para el caso de la fisuración se debe contar con el agua como acción permanente.

Quedan detallados en el Anejo de Cálculo y con diferentes modelos los esfuerzos obtenidos para cada una de las hipótesis de carga propuesta.

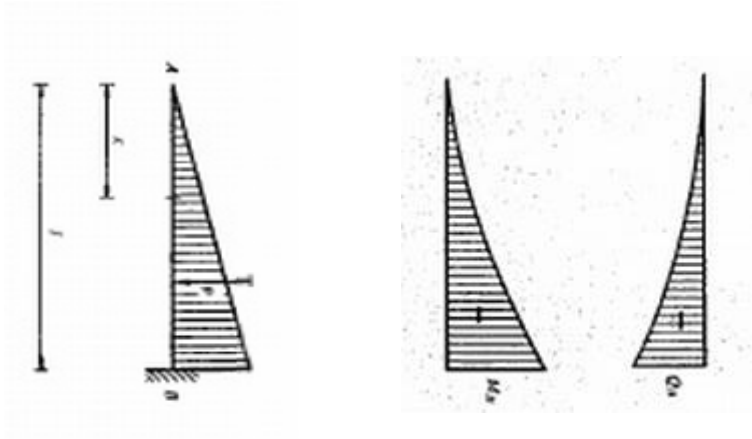
8.1. ESTADO LÍMITE ÚLTIMO.

8.1.1. Cálculo del muro. Excel.

Con el objetivo de desarrollar el cálculo y estudio del alzado del muro se plantean dos modelos distintos; el primero de ellos se realiza mediante una ménsula empotrada en su base y con movimiento libre en coronación. El segundo es una ménsula con movimiento restringido en coronación y empotrada igualmente en su base.

Ambos se resuelven mediante el cálculo de 7 secciones (una cada metro) en las que dividiremos el alzado. Obteniendo los esfuerzos que actúan para cada una de ellas y pasando posteriormente al dimensionamiento para una sección de dimensiones 0.6 metros de espesor y 1 metro de largo en la dirección longitudinal.

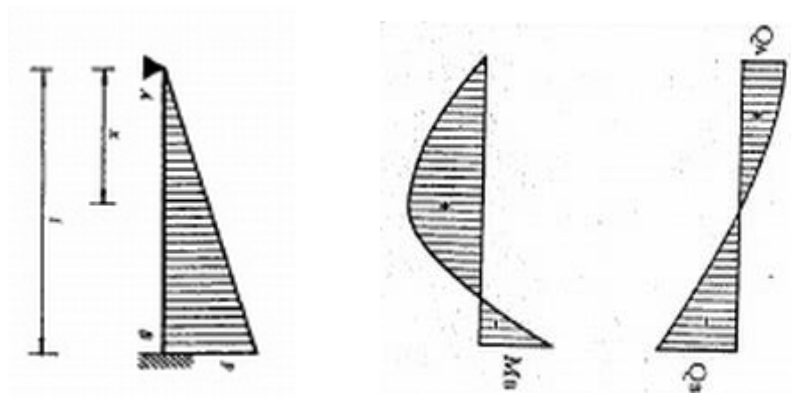
- Ménsula empotrada con movimiento libre en coronación.



Teniendo en cuenta la siguiente formulación para la obtención de los esfuerzos.

Esfuerzo cortante: $Qx = -\frac{p \cdot x^2}{2 \cdot l}$ Esfuerzo flector: $Mx = \frac{p \cdot x^2}{6 \cdot l}$

- Ménsula empotrada en un extremo y apoyada en el otro.



Teniendo en cuenta la siguiente formulación.

Esfuerzo cortante: $Qx = \frac{p \cdot l}{10} - \frac{p \cdot x^2}{2 \cdot l}$ Momento flector: $Mx = \frac{p \cdot x}{30 \cdot l} (3l^2 - 5x^2)$

Se pretende la interacción de los dos modelos propuestos con el objetivo de seleccionar los esfuerzos más desfavorables y por tanto el armado más determinante. En el anejo de cálculo quedan definidos los esfuerzos que actúan para cada sección propuesta.

Obtenidos los esfuerzos para cada sección, pasamos al dimensionamiento seccional del ELU frente a sollicitaciones normales en primera instancia y frente a esfuerzos cortantes en segundo lugar, todo ello de acuerdo con la normativa vigente, instrucción del hormigón estructural EHE- 08. Ambos dimensionamientos quedan totalmente definidos en el Anejo de Cálculo.

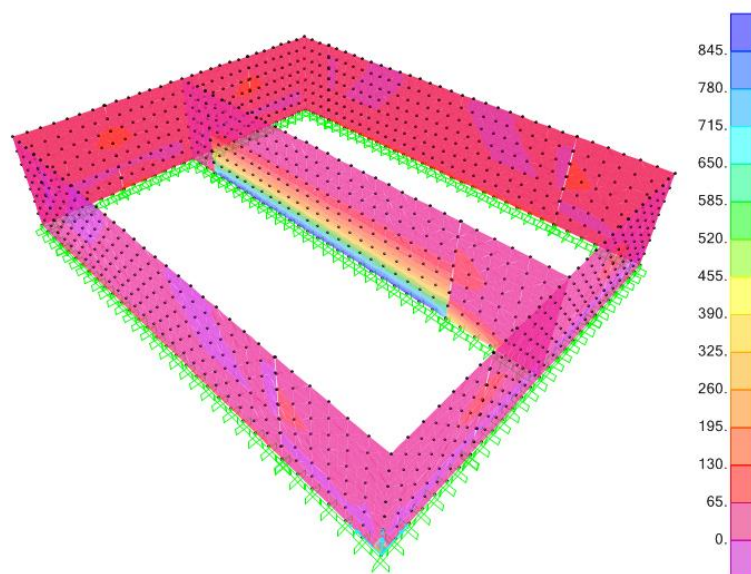
8.1.2. Cálculo del muro. Sap 2000.

Se propone un modelo haciendo uso del programa de cálculo Sap 2000. El mismo, se basa en la elaboración de un modelo de placas, empotrado en cimentación y con movimiento libre en coronación, pues como se ha comprobado con el modelo de aplicación directa realizado anteriormente mediante una hoja de cálculo Excel y que se muestra en el Anejo de Calculo los esfuerzos son más determinante para cuando el muro trabaja en ménsula libre. Además, se deberán tener en cuenta las juntas de dilatación dispuestas en el depósito a la hora de elaborar el modelo.

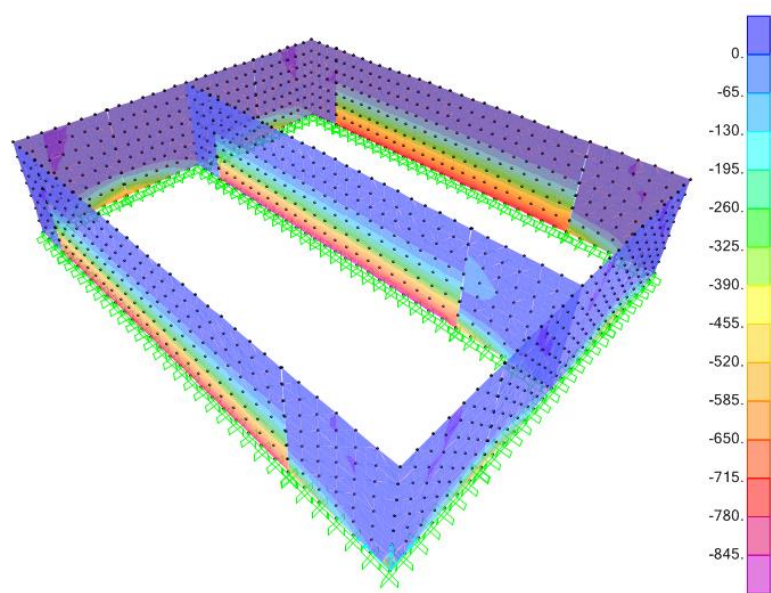
En el Anejo de Cálculo quedan perfectamente detallados los esfuerzos obtenidos para las diferentes combinaciones de uso, así como para la envolvente de acciones o situación más desfavorable, la cual nos determinara el armado necesario por cálculo.

Se muestra a continuación el orden de magnitud de los esfuerzos flectores obtenidos para la envolvente de acciones:

- Envolvente para los máximos momentos que actúan sobre la estructura (ELU).



- Envolvente para los mínimos momentos que actúan sobre la estructura (ELU).



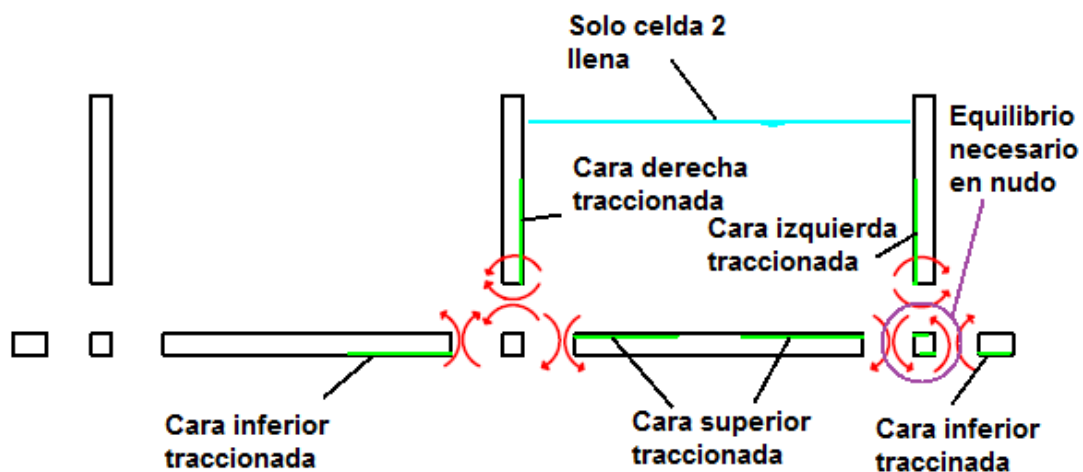
8.1.3. Cálculo de la cimentación.

En el Anejo de Cálculo se puede observar el estudio de soluciones realizados con el objetivo de seleccionar la opción que mayores ventajas estructurales propone frente al resto. Dejando un poco de lado aspectos económicos, pues no entran en el alcance propuesto del trabajo.

En el presente documento se resume la solución finalmente seleccionada. Se resuelve finalmente la cimentación mediante una losa continua con talón en el trasdós del muro, ejecutado este con la idea de obtener un equilibrio de esfuerzos más factible para poder ser soportados por la estructura.

Se presenta en la siguiente imagen el diseño propuesto y el equilibrio de esfuerzos en las secciones más determinantes (nudos).

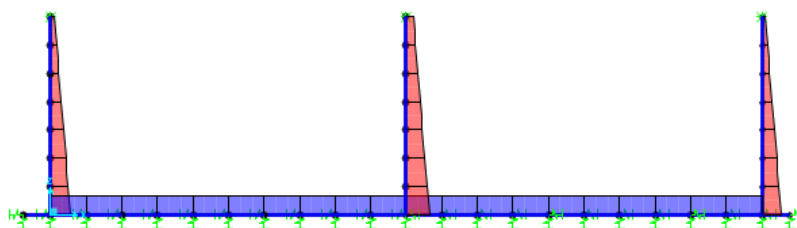
- Para la hipótesis de una celda llena y otra vacía.



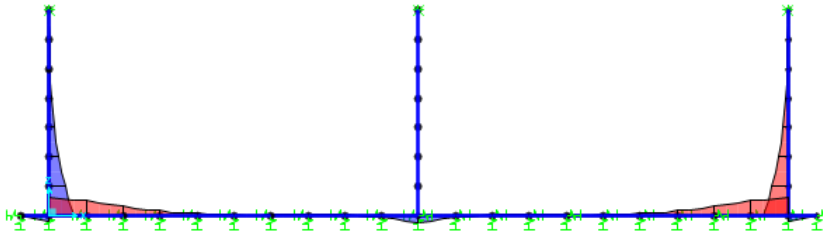
El modelo propuesto para realizar un análisis de la losa de cimentación se basa en un modelo plano de barras y nudos haciendo uso principalmente del programa de cálculo Sap 2000 que hace referencia a la normativa Eurocodigo-2.

Se muestran a continuación los esfuerzos obtenidos:

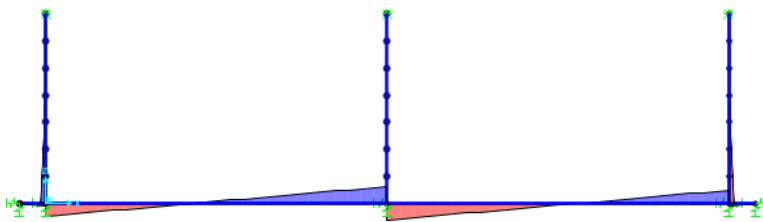
- Ley de axiles para cuando las dos celdas están llenas.



- Ley de flectores para cuando las dos celdas están llenas.



- Ley de cortantes para cuando las dos celdas están llenas.



Conocidos los esfuerzos pasamos a obtener las cuantías necesarias para resistirlos de dos formas distintas, bien mediante el mismo programa Sap o bien haciendo uso del prontuario informático de la EHE-08. Entre ambos métodos existen diferencias que contamos a continuación y hacen que las cuantías de armado obtenidas difieran una respecto a la otra.

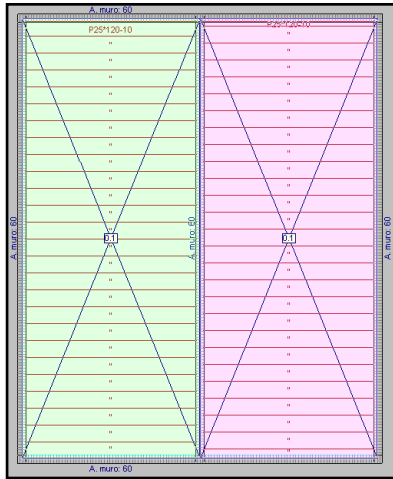
- La normativa que cada uno usa para obtener el diseño del armado es distinta, basándose el Sap 2000 en el Eurocodigo-2 y el prontuario informático en la EHE- 08.
- Otra diferencia es que mientras que el Sap te saca el armado frente a sollicitaciones normales teniendo en cuenta que las secciones se encuentran a flexo comprimidas el Prontuario mantiene que las secciones se encuentran a flexión simple. Lo cual no tiene relevancia importante pues como se detallara en el Anejo de Cálculo apartado 3.1.4 “diagrama de interacción” el axil que solicita a la sección más desfavorable del muro es despreciable frente al propio momento que también actúa sobre dicha sección.

Sabiendo las cuantías de armado necesarias se pasa al encaje del mismo y se obtienen los redondos finalmente dispuestos como se muestra en el apartado 7 de la presente memoria y también en el Anejo de Calculo.

8.1.4. Cálculo de la cubierta

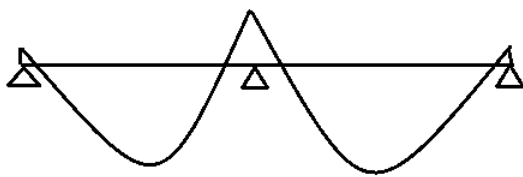
Para el cálculo de la cubierta se propone un modelo haciendo uso del programa Cype, en el cual se selecciona un tipo de placa alveolar que debe ser capaz de resistir los esfuerzos a los que estará sometida.

En la siguiente figura se ve la disposición de las placas, cubriendo los dos vanos del depósito, ambos de 12 metros.



Para soportar los flectores negativos que actúan sobre la cubierta el programa define una serie de barras tanto en los extremos como en el centro de la cubierta.

Se muestra a continuación la ley de esfuerzos que sigue la cubierta la cual se dispone apoyada sobre los muros y cuya capa de compresión hace que trabaje de forma continua.



8.2. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO.

En este tipo de estructuras es de gran importancia la comprobación frente al estado límite de fisuración, no es nada aconsejable la aparición de fisuras teniendo en cuenta que el agua que permanece en el depósito pasaría a filtrarse sobre las mismas. Lo cual en un principio provocaría el deterioro del hormigón afectando a la durabilidad del mismo. Posiblemente se daría también corrosión en las armaduras y más teniendo en cuenta que nos encontramos en un ambiente de cloruros, lo cual también afectaría a su durabilidad y por último habría de tenerse en cuenta las posibles pérdidas de agua.



Para el cumplimiento de esta comprobación se deben satisfacer las siguientes limitaciones:

$$\sigma_c \leq 0.60 \cdot f_{ck,j}$$

Siendo $\rightarrow \sigma_c = \frac{M_{a,pp}^{pp}}{I_{eh}^G}$, y para la situación poco probable en servicio. Debido a las altas inercias de las secciones que se tratan, se satisface esta limitación.

En cualquier caso habrá que centrarse en una segunda expresión la cual limita la apertura de fisura.

$$Wk \leq Wmax$$

Siendo la máxima para el tipo de ambiente que tenemos $Wmax = 0.2 \text{ mm}$.

Por otro lado la abertura característica de fisura se calcula mediante la siguiente expresión.

$$w_k = \beta s_m \varepsilon_{sm}$$

Siendo,

β ; coeficiente que relaciona la abertura media de fisura con el valor característico.
 s_m ; separación media de fisura expresada en mm.

$$s_m = 2c + 0,2s + 0,4k_1 \frac{\varnothing A_{c,eficaz}}{A_s}$$

ξ_{sm} ; alargamiento medio de las armaduras, con la siguiente expresión.

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - k_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \geq 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

c ; Recubrimiento de las armaduras traccionadas.

s ; Distancia entre barras longitudinales.

k_1 ; Coeficiente que representa la influencia del diagrama de tracciones en la sección.

$$k_1 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{8\varepsilon_1}$$

\varnothing ; Diámetro de la barra traccionada mas gruesa.

$A_{c,eficaz}$; Área de hormigón de la zona de recubrimiento.

A_s ; sección total de las armaduras situadas dentro del área eficaz.

σ_s ; tensión de servicio de la armadura pasiva en hipótesis de sección fisurada.

σ_{sr} ; tensión de la armadura en la sección fisurada en el instante en que se fisura el hormigón.

E_s ; módulo de deformación longitudinal del acero.

Para la comprobación de dicha apertura se hace uso del Prontuario Informático EHE-08, en el cual se deben completar todos los parámetros anteriormente definidos.

En el caso de que la apertura de fisura característica sea superior a la máxima (como sucede en alguna de las secciones que se han comprobado en el Anejo de Cálculo) se proponen las siguientes soluciones:

- Incrementar la cuantía de armadura, aumentando el número de barras.
- Incrementar la cuantía de armadura, aumentando el diámetro. → solución adoptada.
- Incrementar la resistencia característica del hormigón.
- Incrementar el canto de la sección.
- Proponer alguna solución estructural para reducir esfuerzos. → solución adoptada.

No es raro en este tipo de estructuras que el dimensionamiento realizado en ELU sea insuficiente para cubrir la comprobación de la fisuración. En muchos de estos casos será el ELS el cual condicione el armado, como ocurre en alguna de las secciones de nuestro depósito.

9. RESULTADOS OBTENIDOS

En primer lugar se han obtenido las acciones que afectan a la estructura y que se detallan en el Anejo de Cálculo, resumiendo las mismas:

- Peso propio de elementos estructurales, hormigón armado.
- Peso propio de la cubierta. Peso cubierta
- Empuje del terreno. Coeficiente de empuje al reposo.
- Empuje hidrostático.
- Acciones térmicas y reológicas.
- Sobrecarga de uso sobre cubierta.
- Tráfico de maquinaria en trasdós del muro.

Una vez conocidas estas se ha pasado a combinarlas, bien para el Estado Limite Ultimo o bien para el Estado Limite de servicio, multiplicando por sus pertinentes coeficientes de seguridad.

Debido a la cantidad de modelos propuestos para la obtención tanto de los esfuerzos como del armado se hace referencia al Anejo de Cálculo en el cual podemos distinguir el modelo utilizado, los esfuerzos que con el mismo se han obtenido y el armado que con el mismo se ha calculado.

Los esfuerzos obtenidos varían ligeramente según el modelo propuesto. Además, estos esfuerzos van a cambiar dependiendo de la hipótesis de carga que se proponga. Se detalla a continuación una tabla resumen que muestra el momento flector en la sección de empotramiento del muro (más desfavorable) para la hipótesis de carga con los dos vasos llenos y para la combinación persistente en ELU. También se muestran las cuantías necesarias por cálculo frente a solicitaciones normales, concluyendo que los resultados obtenidos son muy parejos.

MURO PERIMETRAL				
MODELO	LUGAR	MOMENTO (KNm)	AXIL (KN)	CUANTIA (cm ² /m)
EXCEL	Empotramiento	828	204	40.1
PLACAS 3D	Empotramiento	812	-	39.3
PLANO BARRAS	Empotramiento	828	204	42.5
PRONTUARIO EHE	-	-	-	42.1

A continuación se muestra una nueva tabla resumen pero esta vez de la sección más desfavorable de la losa de cimentación para cuando están ambos vasos llenos, pudiendo comparar esfuerzos y cuantías obtenidas.

LOSA CIEMTACIÓN			
MODELO	LUGAR	MOMENTO (KNm)	CUANTIA (cm ² /m)
ZAPATA CORRIDA	Excesiva geometría por comprobaciones geotécnicas		
PLANO SIN TALÓN	Cimentación	868	50.3
PLANO CON TALÓN	Cimentación	632	35.5
PRONT. SIN TALON	-	-	45.5
PRONT.CON TALON	-	-	32.4

Sigue habiendo variaciones entre las cuantías obtenidas con Sap y las obtenidas con Prontuario, pero insistimos que se debe a la normativa utilizada para cada programa.

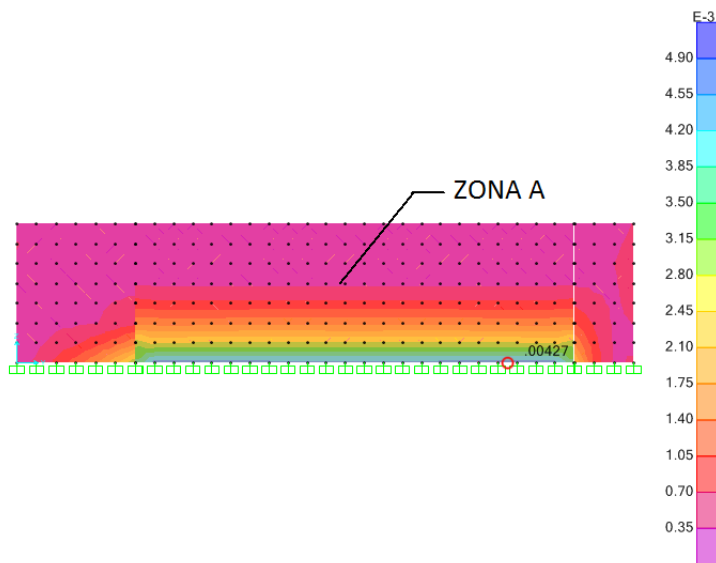
Las cuantías que se muestran en las tablas anteriores para las secciones más desfavorables no son las definitivas pues en algunas secciones el armado queda condicionado por el Estado Límite de Servicio

A continuación se especifican por tramos y zonas la armadura finalmente dispuestas, pues surgen modificaciones tras comprobar el ELS frente a fisuración.

9.1. RESULTADOS MURO.

Se muestran los redondos finalmente dispuestos y la distribución de los mismos dependiendo de la zona, tramos y caras (comprimida o traccionada) donde se encuentre.

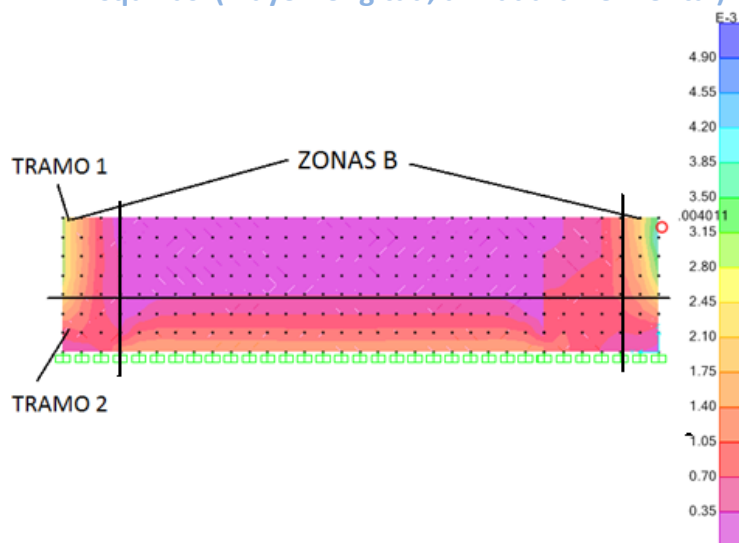
Muros exteriores y muro interior (mayor longitud, armadura vertical)



- Zonas A

As	SECCIONES	nº Barras	ϕ
	0	6	25
	1	6	25
	2	6	25
	3	6	25
	4	6	25
	5	12	25
	6	12	25
A's	SECCIONES	nº Barras	ϕ
	0	6	16
	1	6	16
	2	6	16
	3	6	16
	4	6	16
	5	6	16
	6	6	16
7	6	16	

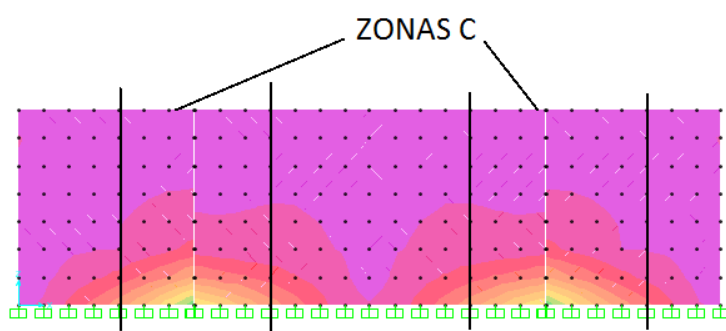
Esquinas (mayor longitud, armadura horizontal)



- Zona B

ZONA B		nº Barras	ϕ
Cara interior	Tramo 1	14	20
	Tramo 2	6	20
Cara exterior	Todo el tramo	6	16

Muros exteriores (menor longitud, armadura vertical)



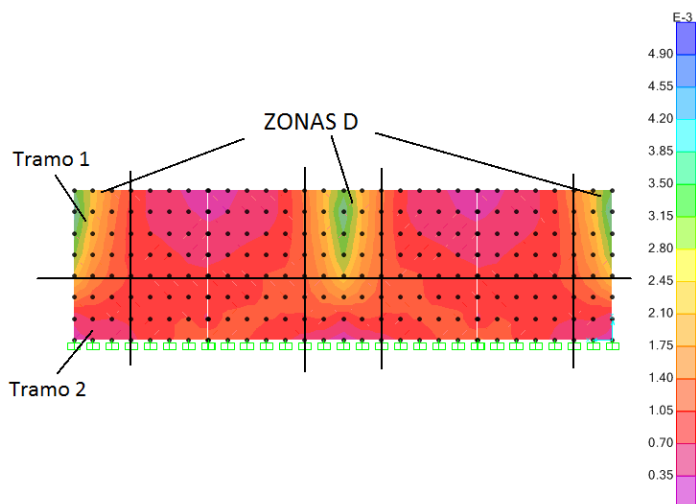


- Zonas C

As	SECCIONES	nº Barras	ϕ
	0	4	20
	1	4	20
	2	4	20
	3	4	20
	4	4	20
	5	8	20
	6	8	20
7	8	20	

A's	SECCIONES	nº Barras	ϕ
	0	6	16
	1	6	16
	2	6	16
	3	6	16
	4	6	16
	5	6	16
	6	6	16
7	6	16	

Esquinas (menor longitud, armadura horizontal)



- Zona D.

ZONAS D		nº Barras	ϕ
Cara interior	Tramo 1	14	20
	Tramo 2	6	20
Cara exterior	Todo el tramo	6	16

- Nota: Unidades para las tablas anteriores → cuantías, cm²/m
→ diámetros, mm.



- La armadura mínima geométrica horizontal se detalla a continuación.

As(cara traccionada)	nº Barras	ϕ
9.6	6	16
A's (cara comprimida)	nº Barras	ϕ
9.6	6	16

La fórmula utilizada para obtener las cuantías de armadura horizontal es la siguiente:

$$A_s = \frac{3.2}{1000} \cdot 0.5 \cdot b \cdot 10000}{2} \quad (cm^2)$$

Siendo,

b; el ancho de la sección analizada, para el caso dado 1m.
h; canto de la sección, 0.6

Armadura mínima mecánica vertical.

As	Cuantía	nº Barras	ϕ
	11.04	6	16

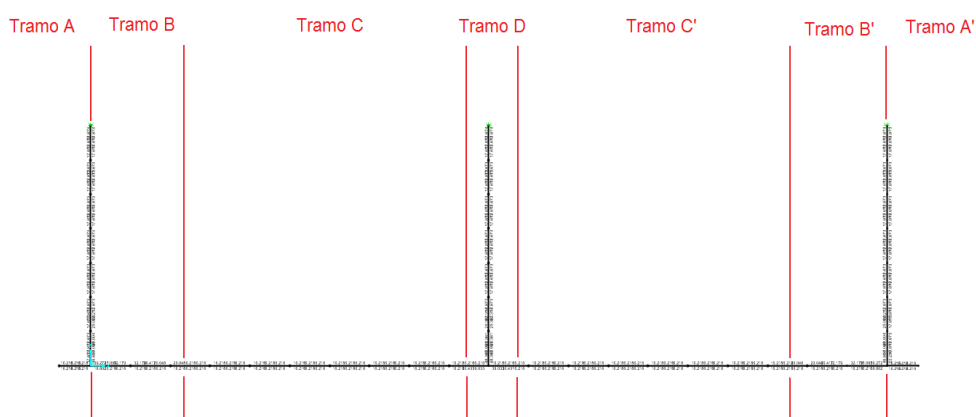
Obtenida mediante la siguiente formulación:

$$A = 0.04 \cdot A_c \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

9.2. RESULTADOS LOSA CIMENTACIÓN (con talón)

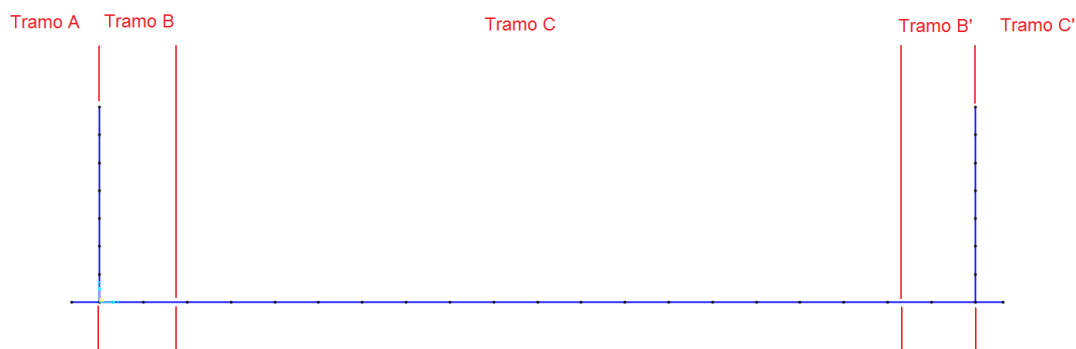
Seguidamente se detallara los redondos necesarios y la distribución de los mismo para el caso de “losa de cimentación con talón”

- Sección transversal, diferenciamos la misma en tramos para mostrar la disposición del armado en la losa.



TRAMOS		n ^o barras	ϕ	n ^o barras	ϕ
AA'	A superior	6	20		
	A inferior	6	20		
BB'	A superior	6	20	6	20
	A inferior	6	20	3	20
CC'	A superior	6	20		
	A inferior	6	20		
D	A superior	6	20		
	A inferior	12	25		

Para el análisis de la sección longitudinal tenemos los siguientes tramos.





TRAMOS		n ^o barras	∅	n ^o barras	∅
AA'	A superior	6	20		
	A inferior	6	20		
BB'	A superior	6	20	6	20
	A inferior	6	20	3	20
C	A superior	6	20		
	A inferior	6	20		

Armadura mínima geométrica horizontal, (transversal y longitudinal).

Cuantía	n ^o Barras	∅
5.4	6	20

Según artículo 42.3.5 de la instrucción EHE 08, para losas de cimentación se adoptara la mitad de los valores especificados por la tabla de cuantías geométricas mínimas, y estos valores quedarán dispuestos en la cara inferior.

Por tanto se resuelve la siguiente expresión:

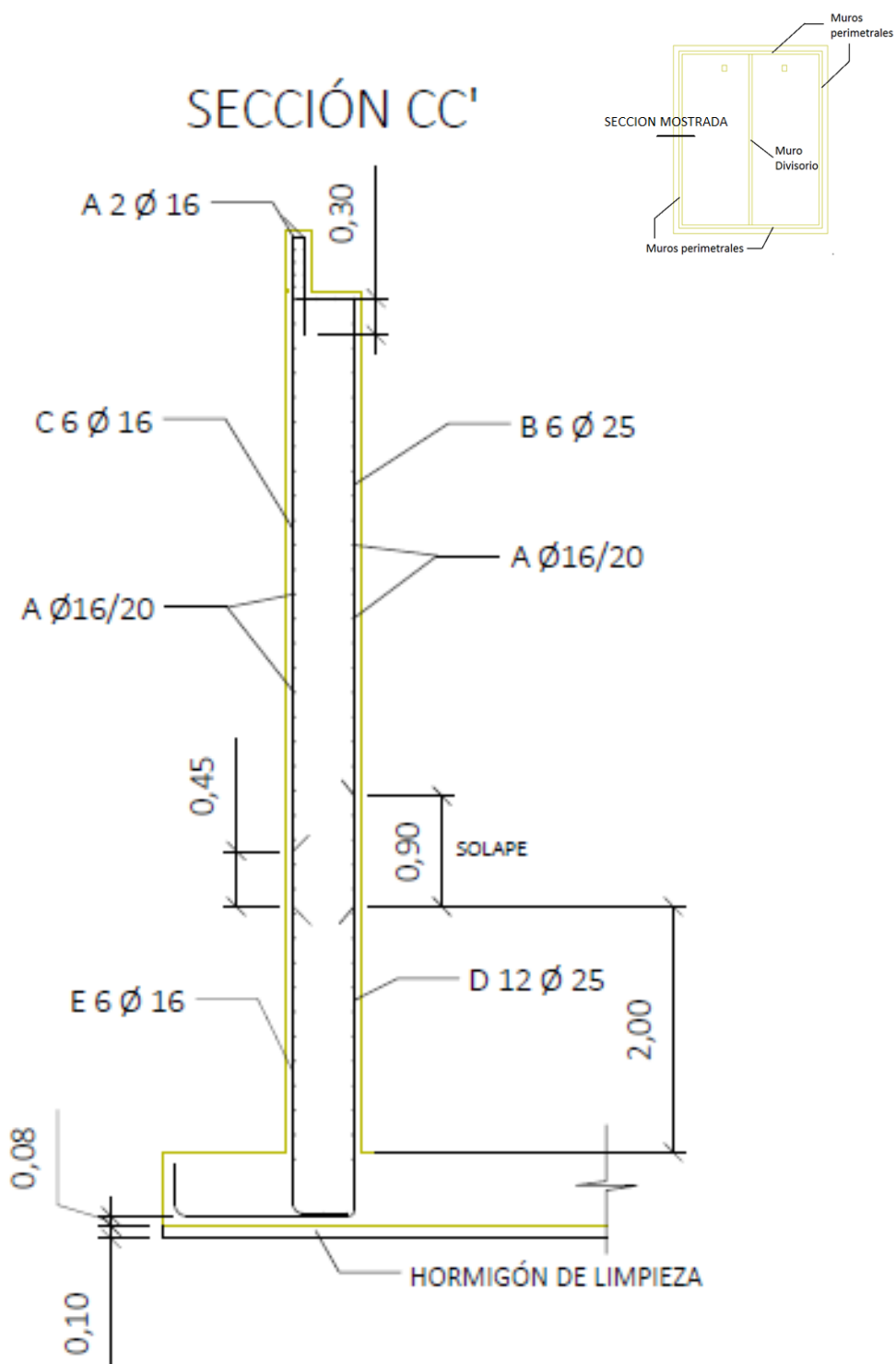
$$A_{mín} = \frac{0.9}{1000} \cdot A_c = 5.4 \text{ cm}$$

9.3. RESULTADOS CUBIERTA

- Disposición de placa alveolar tipo: HORVITEN: 25+5/120 AEH-500.
- 25 cm de canto, más 5 cm de capa de compresión, mortero de nivelación con pendiente del 1 % para evacuar el agua por los extremos, más geotextil, más 10 cm de espesor de gravas. Además se armara la capa de compresión con ∅8/20 en las dos direcciones.
- Armadura de negativos:
 - barras del ∅20 cada 40 cm, entre las dos placas alveolares.
 - barras ∅16 cada 40 cm en los extremos de las placas

10. ARMADO

A partir de los resultados obtenidos se muestra a continuación cual es el armado propuesto para una de las secciones del muro, también se muestra la ubicación de dicha sección.



11. CRÍTERIOS DE COLOCACIÓN, DISEÑO Y ARMADO.

Se citarán en este apartado alguno de los criterios recomendados y seguidos para conseguir un buen diseño, armado y una buena disposición en obra de todos los elementos y materiales necesarios, con el objetivo principal de garantizar el buen funcionamiento de la construcción.

- Se deberán revisar los materiales que vayan llegando a obra, realizando un control de calidad de los mismos. Cada material deberá llevar su marcado o sello de calidad. El hormigón deberá ir acompañado de una hoja de suministro, donde especifica algunas condiciones que debe cumplir para poder ser colocado en obra.
- En cuanto al doblado de barras se deberá respetar los diámetros mínimos, tener en cuenta los radios exigibles y representarlos a escala en los planos. Se expone a continuación la tabla que limita el diámetro mínimo de doblado de las barras.

DIÁMETRO MÍNIMO DE DOBLADO (EHE-08, art. 69.3.4)				
	Ganchos, patillas y gancho en U		Barras dobladas y otras barras curvadas	
	Diámetro de la barra en mm		Diámetro de la barra en mm	
Barras corrugadas	$\phi < 20$	$\phi \geq 20$	$\phi < 25$	$\phi \geq 25$
B400S / B400SD	4 ϕ	7 ϕ	10 ϕ	12 ϕ
B500S / B500 SD	4 ϕ	7 ϕ	12 ϕ	14 ϕ

Los cercos de diámetro igual o inferior a 12 mm pueden doblarse con diámetros inferiores, pero no menores que 3 cm ni 3 ϕ

- Las distancias entre barras de armaduras pasivas será conforme a las geometrías definidas en el proyecto. Su disposición debe permitir un correcto hormigonado. La distancia libre horizontal y vertical entre dos barras aisladas queda limitada por el mayor de estos tres valores:
 1. 20 mm
 2. El diámetro de la mayor
 3. 1.25 veces el tamaño máximo de árido.
- La posición de las armaduras y en especial de los recubrimientos nominales indicados en el artículo 37.2.4 de la instrucción EHE- 08, se garantiza mediante separadores o calzos.
- Los separadores han de cumplir con una serie de condiciones que vienen redactadas en los artículos 37.2.5 y 69.8.2 de la instrucción. Algunas condiciones son:
 1. Material resistente a la alcalinidad.
 2. No inducirán corrosión a la armadura.



3. Impermeables al agua y al hormigón.
- Para barras del mismo tipo emplear diámetros no muy distintos, no más de dos escalones en la serie normalizada.
 - Se procurara emplear el menor número de longitudes distintas. Utilizar longitudes comerciales o submúltiplas. Tener en cuenta las limitaciones de transporte, reducir el número de doblados, reducir la casuística de formas y evitar doblados no perpendiculares.
 - Para las longitudes de anclaje y solape se tendrá en cuenta todo lo referente al artículo 69 de la instrucción.
 - En cuanto a la puesta en obra del hormigón se deberá hacer referencia a todo lo redactado en el artículo 71 de la instrucción.
 - Se pondrá especial atención a las temperaturas y condiciones climatológicas a la hora de disponer el hormigón.
 - Se exponen algunas recomendaciones que se han seguido a la hora de definir planos para el buen entendimiento del jefe de obra (empresa constructora): notas e información fácilmente interpretable. Acotación en metros (2 decimales) excepto diámetro de tuberías y armaduras (en mm). Representar la armadura a una escala lo más exacta posible. En nudos y enlaces señalar con mayor escala los detalles.
 - Debe figurar un cuadro de características, en el que conste la siguiente información:
 1. Tipificación del hormigón (ambiente)
 2. Propiedades específicas de los hormigones.
 3. Características resistentes de los aceros.
 4. Modalidades de control
 5. Coeficientes de seguridad.
 - Quedan limitadas por la norma una serie de desviaciones geométricas, a la hora de la ejecución o colocación de los elementos en obra. Por ejemplo la disposición de un cerco, o la colocación de un elemento prefabricado.



12. CONCLUSIONES

En este apartado se pretende resumir los aspectos que mayor relevancia han tenido a la hora de elaborar el trabajo. La mayoría de dichos aspectos han condicionado el diseño final de la obra. Otros simplemente han sido comprobaciones realizadas con el objetivo de demostrar que los cálculos efectuados son correctos.

A continuación se resumen punto a punto:

- La geometría del muro viene impuesta desde un principio. Con lo cual no se considera la posibilidad de buscar una solución alternativa como puede ser la ejecución de un muro con espesor variable a lo largo de la altura del mismo. Lo cual, estructuralmente hubiera supuesto una serie de ventajas, mejorando así el diseño de la estructura.
- La acción del sismo, su probabilidad de actuación es pequeña, pero de gran importancia. Con lo cual podría ser un factor determinante en el diseño de la obra. Pero dicha acción no se tiene en cuenta, pues la zona donde se realizará la obra, Almenara (Castellón), tiene un valor de la aceleración sísmica básica por debajo del límite, por lo que no es de análisis de acuerdo con la Norma Sismorresistente NCSE-02 el análisis del sismo.
- Se tendrá en cuenta la presión que el agua ejerce sobre el muro como la acción más determinante para el diseño del mismo. En ELU la lámina de agua alcanza los 7 metros, con lo que se genera en la sección de empotramiento un momento de gran magnitud, destacamos también que el axil que actúa sobre dicha sección de empotramiento es casi despreciable. Con lo que como se demuestra en el Anejo de Calculo (apartado 3.1.4) el esfuerzo que determina en ELU el dimensionamiento es el momento generado por la acción del agua, por lo que estamos hablando de secciones que están dimensionadas frente a “flexión simple”.
- Cobra gran importancia en este tipo de estructuras la comprobación del Estado Limite de Servicio frente a fisuración. Aguas tratadas, como las del depósito en cuestión tienen gran cantidad de cloruro, con lo que si existen fisuras en el hormigón el agua puede alcanzar las armaduras perjudicando las mismas frente a corrosión. Otro riesgo que provoca la fisuración es la posible pérdida de agua, factor que también se tendrá que tener en cuenta.
Es tan importante este estado límite que incluso en algunas de las secciones estudiadas es el que condiciona las cuantías de armados, por encima del estado limite frente a rotura. Todo ello para cumplir con la apertura de fisura máxima impuesta por la norma para construcciones en ambiente tipo IV.



- El diseño del encaje de armado que se puede ver en los planos, se realiza teniendo en cuenta el proceso constructivo de la estructura, intentando en el modo de lo posible aportar facilidades a los operarios.
- Destacar finalmente que el trabajo realizado se basa en un análisis estructural que tiene el objetivo de resolver el diseño de la estructura bajo un buen diseño. Para ello se hace uso de programas de cálculo tales como Sap y Cype, aunque también se procura la elaboración de métodos directos que formalicen el diseño de la estructura y así poder comparar los resultados obtenidos mediante todos los métodos utilizados. Queda fuera del alcance del proyecto todo lo referente a cálculos hidráulicos y equipos necesarios, pues se supone que dichos aspectos se han estudiado con anterioridad y simplemente han tenido repercusión, para nuestro trabajo, en la geometría inicialmente impuesta.



13. INDICE DE DOCUMENTOS ANEXOS.

1. ANEJO DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS
2. PLANOS
 - 2.1. Situación y emplazamiento
 - 2.2. Plata general y perfiles transversal y longitudinal
 - 2.3. Zonas de armado en muros.
 - 2.4. Refuerzos esquinas.
 - 2.5. Despiece muro zona A.
 - 2.6. Despiece muro zona B.
 - 2.7. Despiece muro zona C.
 - 2.8. Despiece muro zona D.
 - 2.9. Despiece muro zona E.
 - 2.10. Despiece losa de cimentación.
 - 2.11. Planta de cubierta y detalles.
 - 2.12. Planta de juntas y detalles.
 - 2.13. Sistema de drenaje y detalles.