

DISEÑO Y CÁLCULO DE UN SILO DE HORMIGÓN POSTESADO EN BENI SUEF (EGIPTO).

PARTE I- MEMORIA

Alumno: Manuel Rios Bort

Universidad Politécnica de Valencia

ETSI Caminos, Canales y Puertos de Valencia

Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso 2013/2014

Fecha de presentación: Julio 2014





DISEÑO Y CALCULO DE UN SILO DE HORMIGÓN POSTESADO EN BENI SUEF (EGIPTO)

Alumno:

Manuel Rios Bort

Dirigido por:

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

29/07/2014



ÍNDICE DEL TFG

Los documentos que forman parte de este trabajo final de grado son:

01_Memoria
02_Anejo de cálculo
02c_Hoja de cálculo
03_Anejo cimentación
03c_Hoja cimentación
04_Anejo mediciones
04c_Hoja mediciones
P01_Situación y emplazamiento
P02_Definición general
P03_Definición geométrica
P04A_Definición armadura activa
P04B_Definición armadura activa
P05A_Definición armadura pasiva
P05B_Definición armadura pasiva
P05C_Definición armadura pasiva
P05D_Definición armadura pasiva
P05E_Definición armadura pasiva
P06_Cimentación
P07_Panel



0. INDICE

0. Índice.....	4
1. Objeto y alcance del proyecto.....	5
1.1 Objeto del trabajo.....	5
1.2 Alcance del trabajo.....	5
2.Introducción.....	6
2.1 Situación y emplazamiento.....	6
2.2 Descripción de la estructura.....	8
3.Condicionantes.....	9
3.1 Condicionantes.....	9
3.2 Información previa.....	10
4.Modelo de cálculo.....	11
4.1 Para la obtención de la fuerza de tesado.....	12
4.2 Modelo con SAP2000.....	13
5.Resultados.....	15
5.1 Resultado del pre-dimensionamiento.....	15
5.2 Resultados obtenidos mediante SAP2000.....	17
5.3 Resultados del cálculo de la cimentación.....	20
6.Criterios de diseño y armado.....	21
6.1 Criterios para la armadura pasiva según EHE 08.....	21
6.2 Criterios para la armadura activa según EHE 08.....	30
6.3 Criterios para el diseño de la cimentación.....	33
7.Conclusiones.....	35
8.Bibliografía.....	36

1. OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO

1.1. OBJETO DEL TRABAJO

El trabajo final de grado que se va a desarrollar a lo largo del siguiente documento, tiene como objeto el cálculo y diseño de un silo de hormigón postesado para el almacenamiento de Clinker en una planta de fabricación de cemento para construcción.

1.2. ALCANCE DEL TRABAJO

Los objetivos principales y el alcance de este trabajo final de grado son:

Por un lado el de abordar la problemática que supone el diseño de una estructura, teniendo en cuenta que debe cumplir con la normativa vigente en función de su tipología constructiva y de la zona y lugar donde se prevea su ubicación.

Por otro lado, llevar a cabo el cálculo de la estructura para que una vez construido, pueda funcionar y mantenerse en condiciones de servicio durante la vida útil para la que haya sido prevista su uso.

Entre los cálculos que se van a realizar, se pueden destacar:

- Cálculo de las acciones que actúan sobre la estructura.
- Pre-dimensionamiento de los elementos que componen la estructura.
- Dimensionamiento de la cimentación.
- Cálculo de la fuerza necesaria de tesado de la armadura activa.
- Dimensionamiento de la armadura activa.
- Dimensionamiento de la armadura pasiva.
- Dimensionamiento de los elementos de cimentación.

De este modo, teniendo en cuenta la normativa aplicable a dicho tipo de construcción y actividad, y en función de sus características y ubicación, se ha desarrollado una memoria justificativa y documentación gráfica además de un anejo de cálculo con el objetivo de adecuarlo a la ley y que sea posible la obtención de la licencia de actividad para el uso legal de la edificación en dicha actividad.

Se pretende pues, en concordancia con lo expuesto arriba, no solo realizar el cálculo de los elementos que compondrán la estructura sino además llevar a cabo el diseño de los mismos y la elección de los materiales y componentes que permitirán el correcto comportamiento y funcionamiento de la estructura una vez construida.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

La estructura que se va a estudiar se encuentra en Egipto. País situado en el noroeste de África que limita con Sudán al sur, con Libia al oeste y con Israel al noreste. Al norte se encuentra bañado por el mar mediterráneo y al sureste por el mar rojo.



Más concretamente, el silo estará ubicado en una planta de fabricación de cemento en la ciudad de Beni Suef, ciudad que se encuentra en el centro de Egipto, a las orillas del río Nilo.

Su ubicación genera una serie de condicionantes que afectarán al comportamiento estructural del silo. Estos condicionantes se van a tener en cuenta en el diseño y cálculo del mismo y se describen el apartado de condicionantes de esta memoria.

La situación y emplazamiento del silo se pueden observar además de en este documento, en el plano P01_SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO.



2.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura sobre la que se va a desarrollar el cálculo y realizar el dimensionamiento de sus elementos consiste en un silo de planta circular.

Con un diámetro interior de 38 metros, tiene una capacidad para almacenar un total de 50.000 toneladas de material. Cuenta con una altura hasta coronación de 35,05 metros.

El muro del silo estará compuesto por dos partes. La parte inferior con una altura de 4 metros, estará constituida a base de hormigón armado, tendrá un espesor de 80 cm y albergará 4 aberturas para la salida de las cintas transportadoras que suministrarán la demanda de Clinker de la planta.

El resto de muro hasta la coronación, consistirá en un muro de hormigón armado con armadura activa postesada y que tendrá un espesor de 40 cm.

La cimentación será de tipo superficial y estará constituida a base de un anillo de hormigón armado alrededor del diámetro del silo de 5,80 metros de ancho y 2 metros de canto, y una losa interior de la misma tipología material.

Del estudio geotécnico realizado en el terreno sobre el que asienta el silo se desprende, que se trata de un terreno a base de roca caliza con capas de limos arcillosos.

La forma, diseño y dimensiones de la estructura se pueden observar en el plano P02_DEFINICIÓN GENERAL y P03_DEFINICIÓN GEOMETRICA.

3. CONDICIONANTES

3.1. CONDICIONANTES

El principal condicionante del que se parte, es el de que se está desarrollando un trabajo académico y por lo tanto el alcance y grado de perfección del mismo distarán, del que nos encontraríamos si la exigencia fuese de tipo profesional. Aún así, se pretende que el mismo se asemeje lo máximo posible a la realidad.

Puesto que como se ha indicado anteriormente, el silo se encuentra en un país extranjero, se ha tenido en cuenta que en su diseño ha influido la normativa vigente en dicho país. Esta normativa se hará constar. No obstante, el trabajo se ha desarrollado teniendo en cuenta la normativa vigente española puesto que se trata de un trabajo académico.

Otro de los condicionantes que se ha tenido en cuenta durante el trabajo, es la tipología estructural del edificio. Lo que ha hecho que a la hora de realizar tanto los cálculos como el diseño del mismo, se haya aplicado la normativa específica para este tipo de construcciones y que en algunos casos, ante la falta de una normativa española, consistirá en recomendaciones o normativas extranjeras o internacionales.

Además, existen otro tipo de condicionantes que influirán en el desarrollo de este trabajo final de grado, como son los derivados del uso que se prevé va a tener la estructura o los generados debido a la localización del mismo. Algunos de estos son:

- La composición y características del terreno, los cuales influyen sobre el tipo de cimentación, las dimensiones y armadura necesaria para conformarla.
- Las condiciones climáticas del lugar como la temperatura, las precipitaciones y el viento inducirán esfuerzos que hay que tener en cuenta en el cálculo. Además dichas condiciones podrán influir en el comportamiento de los materiales y por tanto de la estructura.
- Los materiales que componen la estructura van a condicionar los cálculos a realizar.
- El proceso constructivo es otro de los condicionantes a tener en cuenta en el cálculo de los esfuerzos y en el diseño del silo.
- El uso como depósito de almacenamiento y la frecuencia de funcionamiento del mismo, ya que forma parte de una fábrica de cementos es otro de los factores a tener en cuenta especialmente en el cálculo de los esfuerzos a los que se verá sometida la estructura.



3.2. INFORMACIÓN PREVIA

La información de partida de la que se ha dispuesto al inicio de este trabajo final de grado es la siguiente:

- Información geotécnica sobre el terreno: En la que se indica el tipo de terreno, composición y características del mismo, además aporta resultados sobre algunos parámetros del terreno, así como una serie de recomendaciones.
- Plano de geometría del silo: Compuesto por un alzado y una sección.
- Cargas actuantes sobre la cubierta.

Las fuentes consultadas para la elaboración de este documento se han obtenido de las bibliotecas de la Universidad Politécnica de Valencia y la Universidad Jaume I de Castellón. Los recursos empleados para este trabajo han sido: el software de Office, para el procesamiento de datos y hojas de cálculo; el programa Autocad para la elaboración de detalles y planos y el programa SAP2000 para la comprobación del cálculo realizado. Se ha utilizado internet para obtener información de los componentes y materiales que componen la estructura, en las paginas web de los respectivos fabricantes, así como fotografías, normativa y otras informaciones.

4. MODELO DE CÁLCULO

4.1. PARA LA OBTENCIÓN DE LA FUERZA DE TESADO

Para poder realizar el cálculo de los esfuerzos a los que se verá sometida la estructura durante su vida útil hay que tener en cuenta las diferentes acciones que actuarán sobre la misma.

Las acciones actuantes en este caso son:

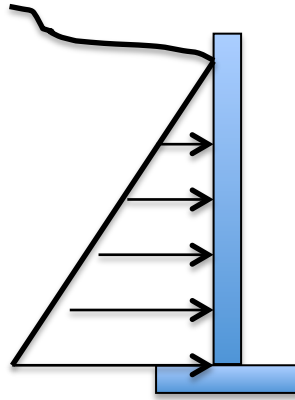
- Cargas permanentes de valor constante
 - Peso propio
 - Carga muerta
- Carga permanente de valor no constante
 - Carga debida al pretensado
- Cargas variables
 - Viento
 - Sobrecarga de uso
 - Acción térmica
 - Relleno del silo
- Cargas accidentales
 - Sismo

Pero de todas ellas, la principal acción que influye en el comportamiento estructural de las paredes del silo, y por tanto, la mas critica a tener en cuenta en el dimensionamiento del mismo, es la que ejerce el material almacenado en el interior del mismo.

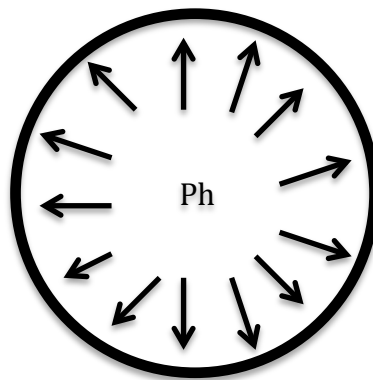
Por tanto, el modelo de cálculo consistirá en conocer como la estructura soportará dichos esfuerzos.

El material almacenado en el interior del silo, ejercerá una presión tangencial sobre las paredes del mismo que se descompone en una componente vertical y otra horizontal. De ambas componentes, la componente horizontal de presión generará esfuerzos importantes de compresión sobre la pared del silo como se indica a continuación:

El Clinker almacenado, genera una distribución lineal de presiones horizontales sobre la pared del silo tal y como se observa en la siguiente imagen:



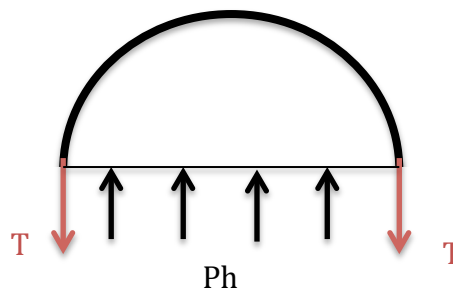
Dicha distribución de presiones, está ejerciendo un esfuerzo de compresión (que varía con la profundidad) sobre el muro de hormigón de tal forma que si aislamos un anillo del silo queda:



Como se observa, todo el anillo se encuentra comprimido, así pues, para contrarrestar estos esfuerzos, se prevé colocar cables postesados que generen un esfuerzo de tracción y que permitan el equilibrio de la estructura.

Es por esto, que el principal objetivo del diseño de un silo, con muro de hormigón postesado, es la de que los cables de acero postesado, contrarresten los esfuerzos producidos por la presión del material almacenado en el interior del silo

Estos esfuerzos de tracción se obtendrán a partir del siguiente modelo:



De tal forma que;

$$T=(Ph \times 2R)/2$$

Por tanto, podemos obtener los esfuerzos de tracción necesarios para mantener el equilibrio de la estructura en función de la altura. Y a partir de estos, realizar el pre-dimensionamiento de la armadura activa del muro.

4.2. MODELO DE CÁLCULO CON SAP2000

Además del modelo diseñado para obtener la fuerza necesaria que se deberá introducir mediante el pretensado, se ha realizado otro modelo. Esta vez, se ha utilizado el programa de cálculo SAP2000.

Se ha realizado un modelo de placas, en el que se ha introducido la geometría exacta del silo, teniendo en cuenta que el muro esta descompuesto en dos partes, la base de hormigón armado y el resto en la que se introducirán los cables de postesado. Además se han caracterizado los materiales de los que está compuesto el silo y por ultimo se han introducido los esfuerzos que se considera que afectarán de forma más crítica al comportamiento estructural del silo. Estos esfuerzos son:

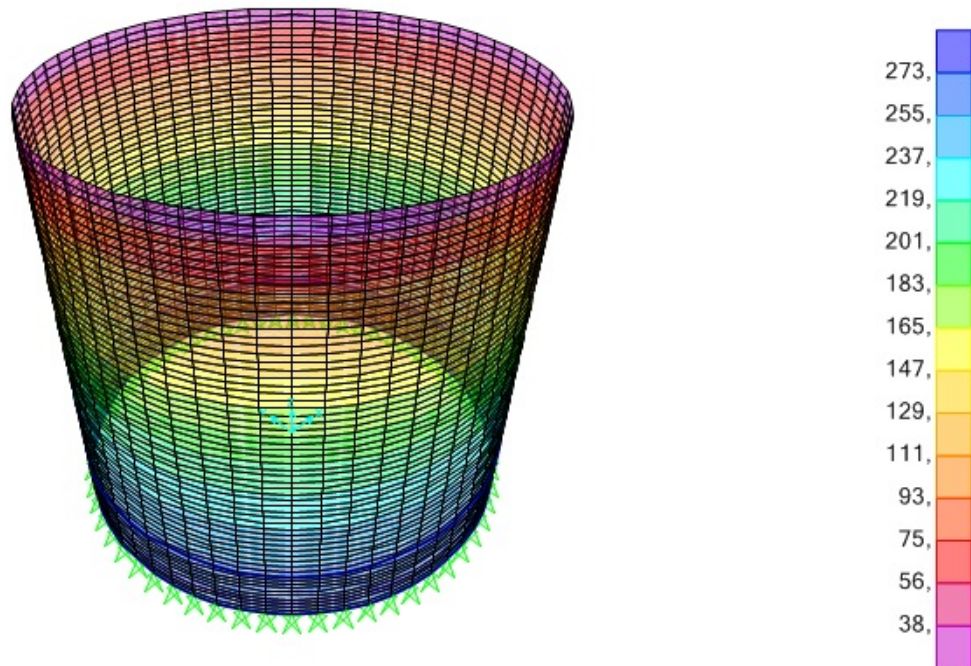
- Peso propio del muro
- Cargas transmitidas desde la cubierta
 - Peso propio
 - Sobrecarga
 - Viento
 - Polvo
- Presión que ejerce el material de relleno sobre el muro
- Esfuerzos de pretensado

Como se ha dicho anteriormente, uno de los efectos que mayor transcendencia tiene en el dimensionamiento del silo, es el de la presión horizontal que el material de relleno ejerce sobre la pared del muro, se han establecido dos casos de estudio que se analizarán por separado. Como se ha explicado en el apartado de evaluación de acciones del 02_ANEJO DE CÁLCULO, se considera un caso N3 cuando el silo está completamente lleno, y un caso N2 en el que el silo se encuentra en descarga.

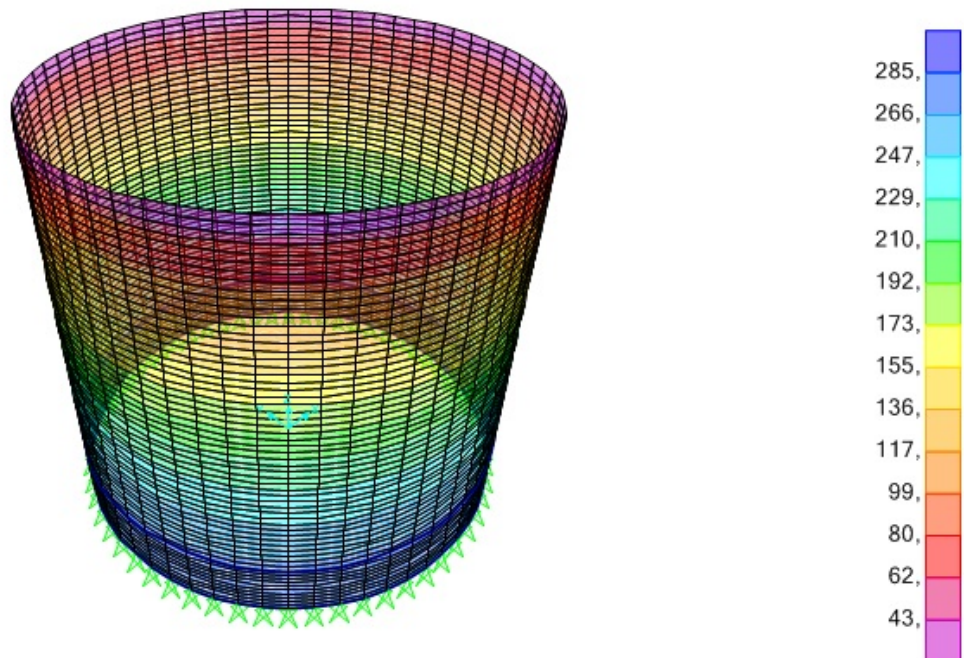
Habrá que tener en cuenta, que para el funcionamiento del silo, se han diseñado aberturas para el paso de las cintas transportadoras para la descarga del Clinker. Estas aberturas afectarán a la distribución de esfuerzos en la base del silo.

A continuación se puede observar el nivel de presiones sobre las paredes del silo para ambas suposiciones, que se ha extraído del programa SAP2000. Los valores se encuentran expresados en Kn/m^2 .

Area Surface Pressure - Face Top (N2)



Area Surface Pressure - Face Top (N3)



Una vez introducidos los esfuerzos, se ha realizado la combinación de acciones para estados limite de servicio y estado límite ultimo, obteniendo los esfuerzos totales a los que se verá sometido el muro del silo. Estos resultados se pueden observar en el siguiente apartado.

5. RESULTADOS

En el siguiente apartado se van a exponer los resultados obtenidos de los cálculos que se han realizado a lo largo del Trabajo Final de Grado para conocer el funcionamiento y comportamiento de la estructura frente a las acciones a las que se verá sometida a lo largo de su vida útil.

Los resultados se dividen en 3 apartados, los cuales se enumeran a continuación.

- Resultados derivados del pre-dimensionamiento
- Resultados obtenidos mediante SAP2000
- Resultados del cálculo de la cimentación

5.1. RESULTADOS DEL PRE-DIMENSIONAMIENTO

Como se ha indicado en el apartado 4 de esta memoria y como se ha desarrollado en el 02_ANEJO DE CÁLCULO, se ha realizado un modelo de cálculo para dimensionar la armadura activa.

El objetivo del modelo de cálculo es el de obtener la fuerza que se deberá introducir mediante el pretensado, esta fuerza consiste en una tracción, que pretende compensar los esfuerzos de compresión generados por la presión horizontal que el material de relleno genera sobre las paredes del silo.

A modo resumen se adjunta la tabla con los resultados obtenidos tras el cálculo, en la que se puede observar la fuerza necesaria de tesado a introducir en función de la profundidad del silo y cual será la armadura que permitirá alcanzar esa fuerza teniendo en cuenta las limitaciones establecidas por la EHE 08 en lo que se refiere a la fuerza de tesado.

Se ha dividido la armadura activa en varios tramos por facilidad constructiva y de cálculo. Las distancias a las que se dispondrán los cables, así como las demás dimensiones relevantes tanto para la compresión del cálculo como para la ejecución del pretensado se pueden observar en el 02c_ANEJO DE CÁLCULO y en los planos P04_DEFINICIÓN ARMADURA ACTIVA.

Profundidad (m)	Ph (KN/m ²)	T (KN/m)	Ap (mm ² /m)	N° de cordones	ARMADURA DE DISEÑO		
					φ (mm)	Configuración cable	Configuración final del postesado
0	29,97	569,40	544,23	3,89	15,7	1,30	3 cables de 3 cordones de 15,7 mm ²
1	43,19	820,64	784,36	5,60	15,7	1,87	3 cables de 3 cordones de 15,7 mm ²
2	55,91	1062,25	1015,29	7,25	15,7	2,42	3 cables de 3 cordones de 15,7 mm ²
3	68,14	1294,60	1237,38	8,84	15,7	2,95	3 cables de 3 cordones de 15,7 mm ²
4	79,90	1518,07	1450,96	10,36	15,7	1,48	3 cables de 7 cordones de 15,7 mm ²
5	91,21	1732,99	1656,38	11,83	15,7	1,69	3 cables de 7 cordones de 15,7 mm ²
6	102,09	1939,70	1853,95	13,24	15,7	1,89	3 cables de 7 cordones de 15,7 mm ²
7	112,55	2138,51	2043,98	14,60	15,7	2,09	3 cables de 7 cordones de 15,7 mm ²
8	122,62	2329,74	2226,75	15,91	15,7	2,27	3 cables de 7 cordones de 15,7 mm ²
9	132,30	2513,67	2402,56	17,16	15,7	2,45	3 cables de 7 cordones de 15,7 mm ²
10	141,61	2690,60	2571,66	18,37	15,7	2,62	3 cables de 7 cordones de 15,7 mm ²
11	150,57	2860,79	2734,33	19,53	15,7	2,79	3 cables de 7 cordones de 15,7 mm ²
12	159,18	3024,51	2890,81	20,65	15,7	2,95	3 cables de 7 cordones de 15,7 mm ²
13	167,47	3182,00	3041,34	21,72	15,7	1,81	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
14	175,45	3333,51	3186,15	22,76	15,7	1,90	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
15	183,12	3479,28	3325,48	23,75	15,7	1,98	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
16	190,50	3619,52	3459,52	24,71	15,7	2,06	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
17	197,60	3754,45	3588,48	25,63	15,7	2,14	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
18	204,44	3884,28	3712,57	26,52	15,7	2,21	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
19	211,01	4009,20	3831,97	27,37	15,7	2,28	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
20	217,34	4129,41	3946,87	28,19	15,7	2,35	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
21	223,43	4245,09	4057,43	28,98	15,7	2,42	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
22	229,28	4356,41	4163,83	29,74	15,7	2,48	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
23	234,92	4463,55	4266,24	30,47	15,7	2,54	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
24	240,35	4566,66	4364,79	31,18	15,7	2,60	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
25	245,57	4665,91	4459,65	31,85	15,7	2,65	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
26	250,60	4761,45	4550,96	32,51	15,7	2,71	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
27	255,44	4853,41	4638,86	33,13	15,7	2,76	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
28	260,10	4941,94	4723,48	33,74	15,7	2,81	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
29	264,59	5027,17	4804,94	34,32	15,7	2,86	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²
30	268,91	5109,22	4883,37	34,88	15,7	2,91	3 cables de 12 cordones de 15,7 mm ²

5.2. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE SAP2000

Con el programa SAP2000 se ha realizado un modelo de cálculo en el que se han introducido las acciones que mayor influencia tendrán en el dimensionamiento de la armadura pasiva del muro del silo y que afectarán de forma mas crítica en el comportamiento del mismo.

Además permitirá comprobar que el cálculo realizado para la obtención de la armadura activa se ha realizado correctamente.

Los resultados derivados del cálculo se han utilizado también para realizar las comprobaciones necesarias frente a los Estados Limite Ultimo y de Servicio.

En definitiva se puede concluir que;

Las cuantías de armado base y de refuerzo con la que se prevé construir el silo se adjuntan en las siguientes tablas.

Cuantía base a disponer				
Tramo	Armado horizontal (cm ² /m)		Armado vertical (cm ² /m)	
	Cara exterior	Cara interior	Cara exterior	Cara interior
H.armado	45	45	12,28	12,28
Postesado	45	45	6,14	6,14
	25,6	25,6	6,14	6,14

Cuantía de refuerzo en armadura horizontal a disponer			
TRAMO	Armado horizontal (cm ² /m)		
	Cara exterior	Cara interior	
Esquina inferior aberturas de paso	15	15	
Parte sup del dintel	1er metro	35	35
	2do metro	25	25
	3er metro	15	15

Cuantía de refuerzo en armadura vertical a disponer		
TRAMO	Armado vertical (cm ² /m)	
	Cara exterior	Cara interior
Parte superior del silo (2 metros)	6,14	6,14
Zona aberturas de paso + 4 metros hasta una altura de 8 metros	32,72	32,72

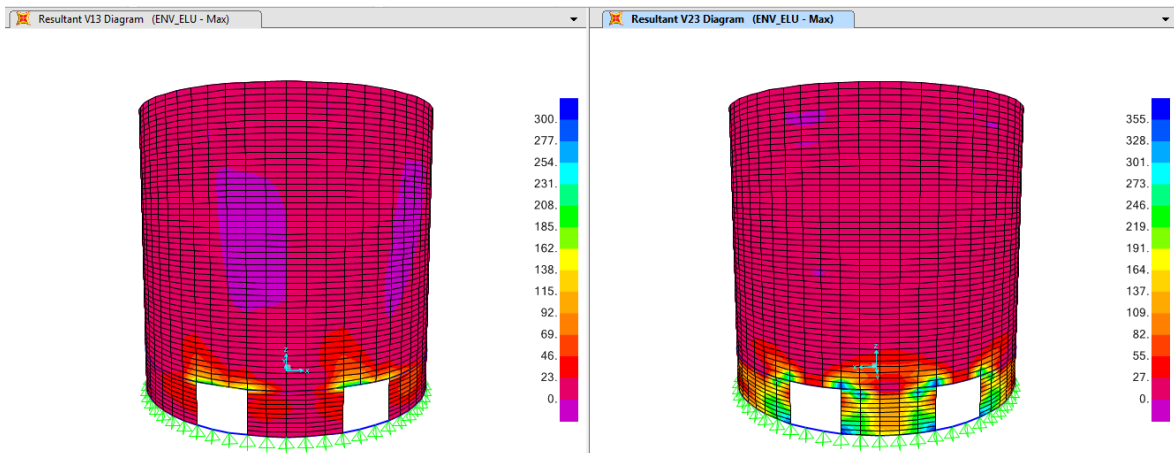
Dichas cuantías se traducen en la siguiente armadura de diseño:

	Armadura horizontal a disponer (cm ² /m)		Armadura vertical a disponer (cm ² /m)		Armadura horizontal de diseño		Armadura vertical de diseño	
	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior
Armado base Muro H.A	45,00	45,00	12,28	12,28	9Ø25	9Ø25	4Ø20	4Ø20
Armado base Muro Post tramo 1	45,00	45,00	6,14	6,14	9Ø25	9Ø25	6Ø12	6Ø12
Armado base Muro Post tramo 2 (21 m)	30,00	30,00	6,14	6,14	6Ø25	6Ø25	6Ø12	6Ø12
Esquina inferior aberturas de paso	15,00	15,00			12Ø25	12Ø25		
Parte sup del dintel	1er metro	35,00			16Ø25	16Ø25		
	2do metro	25,00			14Ø25	14Ø25		
	3er metro	15,00			12Ø25	12Ø25		
Parte superior del silo (2 metros)			6,14	6,14			12Ø12	12Ø12
Zona aberturas de paso + 4 metros hasta una altura de 8 metros			32,72	32,72			9Ø25	9Ø25

Con los resultados obtenidos del cálculo, se han realizado además, las comprobaciones necesarias para justificar la solución adoptada frente a los estados limite ultimo y de servicio. Estas comprobaciones son:

E.L.U FRENTE SOLICITACIONES TANGENCIALES

No será necesario introducir armadura para resistir esfuerzos cortantes, puesto que en ninguna sección, los valores de cortante en ambas direcciones superan el valor $Vu_2 \text{ min}$.



A la izquierda de la imagen se puede observar los valores de esfuerzo cortante en la dirección horizontal, obtenidos con el programa SAP2000, mientras que a la derecha se encuentran los esfuerzos tangenciales en la dirección vertical. Dichos esfuerzos están expresados en Kn/m.

En la siguientes tablas se pueden comparar dichos valores con los obtenidos del cálculo de $Vu_2 \text{ min}$, para cada tramo, en las dos direcciones principales.

E.L.U SOLICITACIONES TANGENCIALES							
Muro postesado dirección horizontal			Muro postesado dirección vertical				
As	45	≤ 2	As	6,14	≤ 2		
yc	1,5		yc	1,5			
ξ	1,7402332		ξ	1,74			
ρ ₁	0,0123288		ρ ₁	0,0016827		≤ 0,02	
fcv	25		fcv	25			
b ₀	1		b ₀	1			
d	0,365	Vu₂ min	209,48	d	0,365	Vu₂ min	209,48

Muro h. Armado dirección horizontal			Muro h. Armado dirección vertical				
As	45,00	≤ 2	As	12,28	≤ 2		
yc	1,5		yc	1,5			
ξ	1,51		ξ	1,51		≤ 0,02	
ρ ₁	0,0058824		ρ ₁	0,0016057			
fcv	25		fcv	25			
b ₀	1		b ₀	1			
d	0,765	Vu₂ min	355,33	d	0,765	Vu₂ min	355,33

E.L.S DE FISURACIÓN

Puesto que las placas que conforman el modelo estarán sometidas a esfuerzos en diversas direcciones, para realizar la comprobación frente a fisuración del muro del silo, se va ha comprobado que la tensión a la que se verán sometidas las placas en ambas direcciones, no supera el la resistencia media a flexotracción.

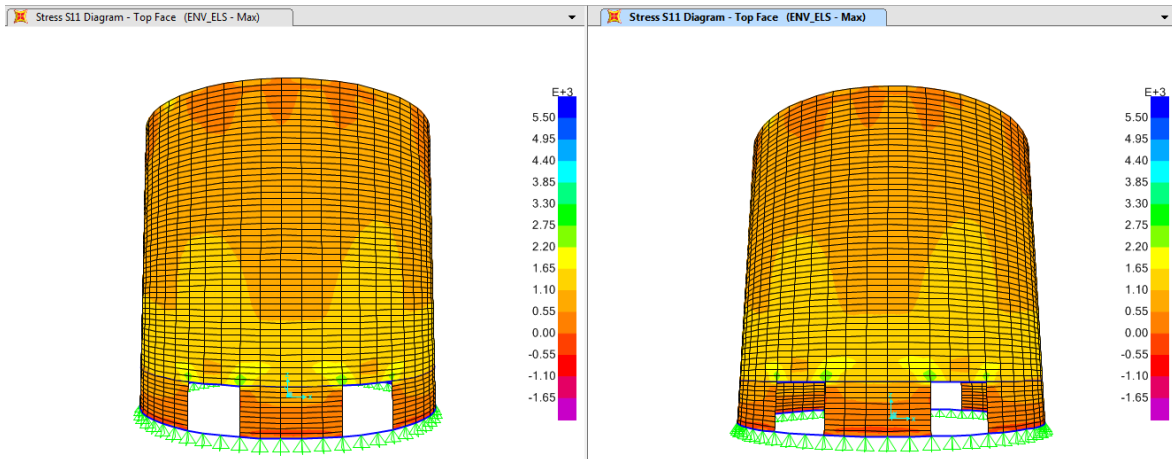
El valor de la resistencia media a flexotracción ($f_{ctm,f}$) se ha obtenido en el 02c_ANEJO DE CÁLCULO, está expresado en Kn/m^2 y se puede observar en la siguiente tabla.

COMPROBACIÓN E.L.S FISURACIÓN					
MURO H.ARMADO					
Comprobación de fisuración					
h	800		fctm	2,56496392	
fck	25		fctm*	-0,45197114	
lb	0,04				fctm,fl
				2564,96	(Kn/m)

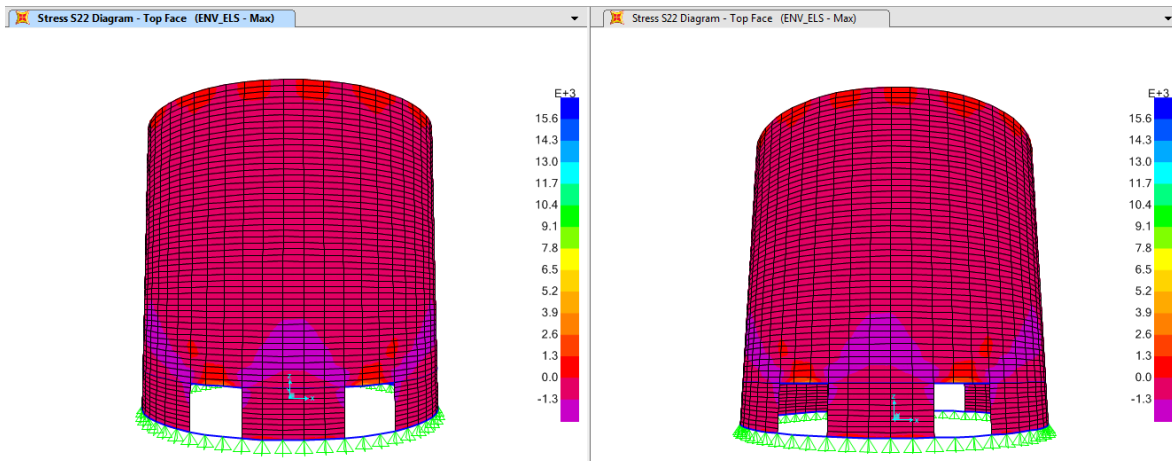
COMPROBACIÓN E.L.S FISURACIÓN					
MURO POSTESADO					
Comprobación de fisuración					
h	400		fctm	2,56496392	
fck	25		fctm*	0,57401443	
lb	0,01				fctm,fl
				2,5649639	(Kn/m)
				2564,96	(Kn/m)

Este valor de fctm,fl se ha calculado para ambos tramos de muro y comparándolo con los resultados obtenidos del modelo de SAP2000 que se adjuntan a continuación, para ambas caras del muro y en las dos direcciones principales, se puede concluir que no aparecerán fisuras ya que en ningún caso se superará el límite establecido.

Tensiones en ambas caras en la dirección horizontal, expresados en Kn/m^2



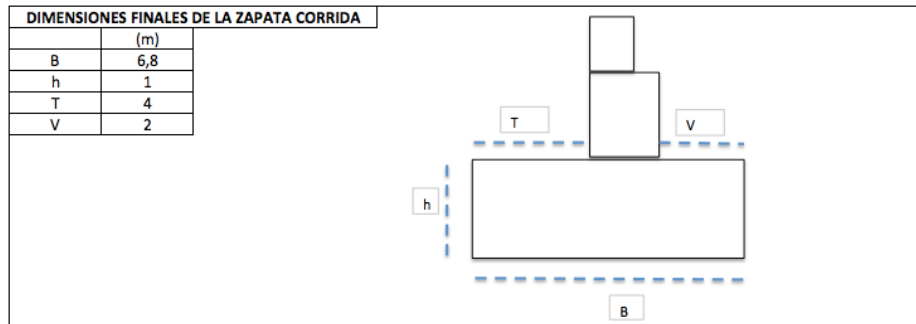
Tensiones en ambas caras en la dirección vertical expresados en Kn/m^2



5.3. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA CIMENTACIÓN

Del cálculo realizado para diseñar la cimentación y comprobar dicho diseño frente a las sollicitaciones a las que se verá sometida se desprende que:

La cimentación consistirá en una zapata corrida de tipo flexible cuyas dimensiones pueden observarse en la siguiente imagen, las cuales han sido obtenidas en función de los esfuerzos a los que se verá sometida;



El procedimiento realizado y correctamente justificado se puede seguir en el 02_ANEJO CIMENTACIÓN.

El armado necesario para cumplir con los Estados Límite Últimos de sollicitaciones normales y tangenciales será el que se adjunta en la siguiente tabla y su cálculo se puede comprobar en el 03c_HOJA DE CÁLCULO CIMENTACIÓN.

RESUMEN DEL ARMADO DE LA ZAPATA					
	Armadura de diseño		Separación entre barras (cm)		Armadura de cortante
	LONG	TRANS	LONG	TRANS	
SV INF	8Ø25	5Ø25	30	10	Ø8c/45 cm
SV SUP	7Ø20	4Ø20	30	15	
ST INF	14Ø25	9Ø25	30	10	Ø8c/60 cm
ST SUP	10Ø20	6Ø20	30	15	

ST se refiere a la sección de cálculo del talón de la zapata que se encuentra en el interior del silo, mientras que SV hace referencia al talón exterior.

En lo que se refiere a los E.L.S, se ha realizado la comprobación frente a fisuración, de los resultados de la cual se desprende que con las dimensiones y armado diseñados, no aparecerán fisuras por tracción ni por compresión.

Las dimensiones, separación entre armaduras, longitudes de anclaje, solape y demás detalles se pueden observar en el plano P06_CIMENTACIÓN.

6. CRITERIOS DE DISEÑO Y ARMADO

6.1. CRITERIOS PARA LA ARMADURA PASIVA SEGÚN LA EHE-08

6.1.1. DOBLADO

Las armaduras pasivas se doblarán previamente a su colocación en los encofrados y ajustándose a los planos e instrucciones del proyecto. Esta operación se realizará a temperatura ambiente, mediante dobladoras mecánicas, con velocidad constante, y con la ayuda de mandriles, de modo que la curvatura sea constante en toda la zona. Excepcionalmente, en el caso de barras parcialmente hormigonadas, podrá admitirse el doblado en obra por procedimientos manuales.

No se admitirá el enderezamiento de codos, incluidos los de suministro, salvo cuando esta operación pueda realizarse sin daño, inmediato o futuro, para la barra correspondiente. Asimismo, no debe doblarse un número elevado de barras en una misma sección de la pieza, con objeto de no crear una concentración de tensiones en el hormigón que pudiera llegar a ser peligrosa.

Si resultase imprescindible realizar desdoblados en obra, como por ejemplo en el caso de algunas armaduras en espera, éstos se realizarán de acuerdo con procesos o criterios de ejecución contrastados, debiéndose comprobar que no se han producido fisuras o fracturas en las mismas. En caso contrario, se procederá a la sustitución de los elementos dañados. Si la operación de desdoblado se realizase en caliente, deberán adoptarse las medidas adecuadas para no dañar el hormigón con las altas temperaturas. El diámetro mínimo de doblado de una barra ha de ser tal que evite compresiones excesivas y hendimiento del hormigón en la zona de curvatura de la barra, debiendo evitarse fracturas en la misma originadas por dicha curvatura. Para ello, salvo indicación en contrario del proyecto, se realizará con mandriles de diámetro no inferior a los indicados en la tabla 69.3.4.

Tabla 69.3.4
Diámetro mínimo de los mandriles

Acero	Ganchos, patillas y gancho en U (ver figura 69.5.1.1)		Barras dobladas y otras barras curvadas	
	Diámetro de la barra en mm		Diámetro de la barra en mm	
	$\varnothing < 20$	$\varnothing \geq 20$	$\varnothing \leq 25$	$\varnothing > 25$
B 400 S B400SD	4 \varnothing	7 \varnothing	10 \varnothing	12 \varnothing
B 500 S B 500 SD	4 \varnothing	7 \varnothing	12 \varnothing	14 \varnothing

Los cercos o estribos de diámetro igual o inferior a 12 mm podrán doblarse con diámetros

inferiores a los anteriormente indicados con tal de que ello no origine en dichos elementos un principio de fisuración. Para evitar esta fisuración, el diámetro empleado no deberá ser inferior a 3 veces el diámetro de la barra, ni a 3 centímetros.

En este caso, y teniendo en cuenta que se va a utilizar un acero del tipo B500S, el diámetro máximo de doblado de las barras de acero que se dispondrá en la estructura, será el siguiente:

DIAMETRO MÁXIMO DE DOBLADO PARA ACERO B500S		
∅ (mm)	Ganchos y patillas (mm)	Barras curvadas (mm)
12	48	144
20	140	280
25	175	350

6.1.2. DISTANCIA ENTRE BARRAS

El armado de la ferralla será conforme a las geometrías definidas para la misma en el proyecto, disponiendo armaduras que permitan un correcto hormigonado de la pieza de manera que todas las barras o grupos de barras queden perfectamente envueltas por el hormigón, y teniendo en cuenta, en su caso, las limitaciones que pueda imponer el empleo de vibradores internos.

Cuando las barras se coloquen en capas horizontales separadas, las barras de cada capa deberán situarse verticalmente una sobre otra, de manera que el espacio entre las columnas de barras resultantes permita el paso de un vibrador interno.

Las prescripciones que siguen son aplicables a las obras ordinarias hormigonadas in situ. Cuando se trate de obras provisionales, o en los casos especiales de ejecución (por ejemplo, elementos prefabricados), se podrá valorar, en función de las circunstancias que concurran en cada caso, la disminución de las distancias mínimas que se indican en los apartados siguientes previa justificación especial.

Para barras aisladas:

La distancia libre, horizontal y vertical, entre dos barras aisladas consecutivas, salvo lo indicado en 69.4.1, será igual o superior al mayor de los tres valores siguientes:

- 20 milímetros
- el diámetro de la mayor;
- 1,25 veces el tamaño máximo del árido.

Puesto que el diámetro máximo que se dispondrá para armar el silo será de 25 mm y siendo $1,25 \cdot D = 25$ mm. Podemos decir, que la distancia mínima entre barras aisladas, y en cualquiera de las dos direcciones de armado, será de 25 mm.

Para grupos de barras:

Como norma general, se podrán colocar grupos de hasta tres barras como armadura principal. Cuando se trate de piezas comprimidas, hormigonadas en posición vertical, y cuyas dimensiones sean tales que no hagan necesario disponer empalmes en las armaduras, podrán colocarse grupos de hasta cuatro barras.

En los grupos de barras, para determinar las magnitudes de los recubrimientos y las distancias libres a las armaduras vecinas, se considerará como diámetro de cada grupo el de la sección circular de área equivalente a la suma de las áreas de las barras que lo constituyan.

Los recubrimientos y distancias libres se medirán a partir del contorno real del grupo.

En los grupos, el número de barras y su diámetro serán tales que el diámetro equivalente del grupo, definido en la forma indicada en el párrafo anterior, no sea mayor que 50 mm, salvo en piezas comprimidas que se hormigón en en posición vertical en las que podrá elevarse a 70 mm la limitación anterior. En las zonas de solapo el número máximo de barras en contacto en la zona del empalme será de cuatro.

En este caso, no se dispondrán grupos de barras, puesto que en aquellas secciones que por restricciones de separación no puedan colocarse en una capa, el armado se realizará en dos capas, sin necesidad de formar grupos.

La separación entre los barras que se dispondrán en cada metro de muro será:

DISEÑO DEL ARMADO LONG Y TRANS DE LA ZAPATA TOTAL							
	Ancho	$R_{\text{geométrico}}$	Diámetro	Número barras	Número separaciones	Separación (mm)	
Armado base Muro H.A (horiz)	1000	35	25	9	8	96,88	
Armado base Muro Post (horiz)	1000	35	25	9	8	96,88	
Armado base Muro Post (horiz) T2	1000	35	25	6	5	170,00	
Armado base Muro H.A (vert)	1000	35	20	4	3	306,67	
Armado base Muro Post (vert)	1000	35	12	6	5	185,60	
Ref. esquina inferior aberturas de paso	1000	35	25	12	11	63,64	
Ref. parte sup del dintel	1er metro	1000	35	25	16	15	40,00
	2do metro	1000	35	25	14	13	44,62
	3er metro	1000	35	25	12	11	63,64
Ref. parte superior del silo (2 metros)	1000	35	12	12	11	77,82	
Ref. zona aberturas de paso + 4 metros hasta una altura de 8 metros	1000	35	25	9	8	96,88	

6.1.3. CONSIDERACIONES GENERALES

El armado de la ferralla puede realizarse en instalación industrial ajena a la obra o como parte del montaje de la armadura en la propia obra y se efectuará mediante procedimientos de atado con alambre o por aplicación de soldadura no resistente.

En cualquier caso, debe garantizarse el mantenimiento del armado durante las operaciones normales de su montaje en los encofrados así como durante el vertido y compactación del hormigón. En el caso de ferralla armada en una instalación ajena a la obra, deberá garantizarse también el mantenimiento de su armado durante su transporte hasta la obra.

El atado se realizará con alambre de acero mediante herramientas manuales o atadoras mecánicas. Tanto la soldadura no resistente, como el atado por alambre podrán efectuarse mediante uniones en cruz o por solape.

Con carácter general, las barras de la armadura principal deben pasar por el interior de la armadura de cortante, pudiendo adoptarse otras disposiciones cuando así se justifique convenientemente durante la fase de proyecto.

La disposición de los puntos de atado cumplirá las siguientes condiciones en función del tipo de elemento:

Muros: Se atarán las barras en sus intersecciones de forma alternativa, al tresbolillo.

Losas y placas: Se atarán todos los cruces de barras en el perímetro de la armadura;

Cuando las barras de la armadura principal tengan un diámetro no superior a 12 mm, se atarán en resto del panel los cruces de barras de forma alternativa, al tresbolillo. Cuando dicho diámetro sea superior a 12 mm, los cruces atados no deben distanciarse más de 50 veces el diámetro, disponiéndose uniformemente de forma aleatoria.

6.1.4. ANCLAJES

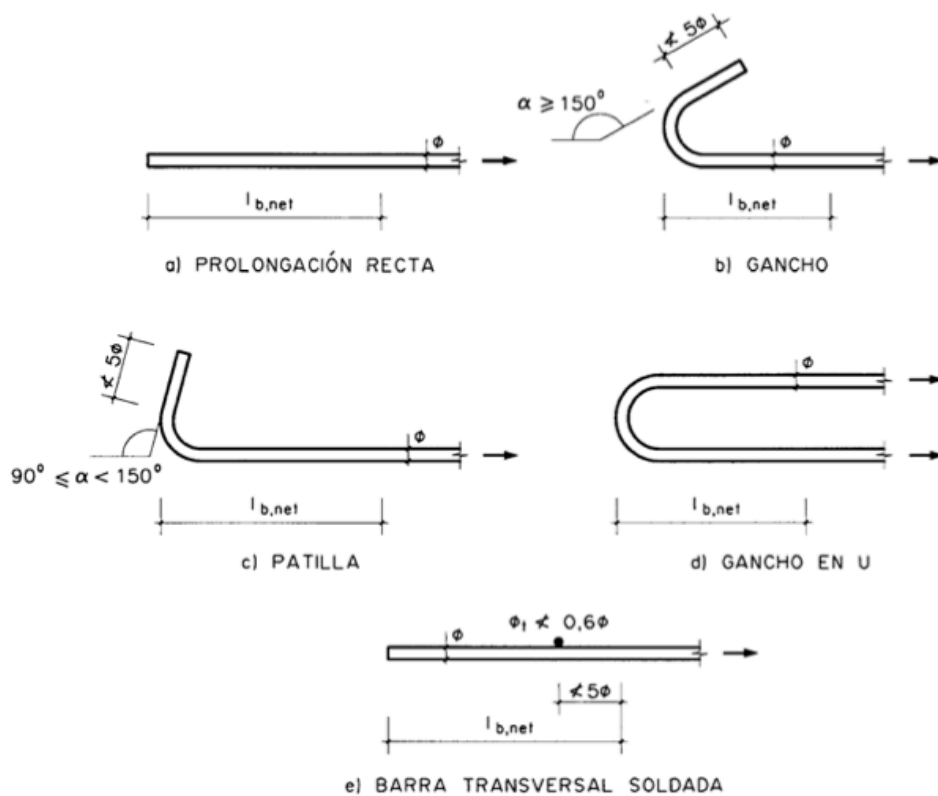
Las longitudes básicas de anclaje (l_b), definidas en 69.5.1.2, dependen, entre otros factores, de las propiedades de adherencia de las barras y de la posición que éstas ocupan en la pieza de hormigón.

Atendiendo a la posición que ocupa la barra en la pieza, se distinguen los siguientes casos:

- Posición I, de adherencia buena, para las armaduras que durante el hormigonado forman con la horizontal un ángulo comprendido entre 45º y 90º o que en el caso de formar un ángulo inferior a 45º, están situadas en la mitad inferior de la sección o a una distancia igual o mayor a 30 cm de la cara superior de una capa de hormigonado.
- Posición II, de adherencia deficiente, para las armaduras que, durante el hormigonado, no se encuentran en ninguno de los casos anteriores.

La longitud neta de anclaje no podrá adoptar valores inferiores al mayor de los tres siguientes:

- 10ϕ ;
- 150 mm;
- la tercera parte de la longitud básica de anclaje para barras traccionadas y los dos tercios de dicha longitud para barras comprimidas.



Los anclajes extremos de las barras podrán hacerse por los procedimientos normalizados indicados en la figura anterior, o por cualquier otro procedimiento mecánico garantizado mediante ensayos, que sea capaz de asegurar la transmisión de esfuerzos al hormigón sin peligro para éste.

La longitud básica de anclaje en prolongación recta en posición I, es la necesaria para anclar una fuerza $A_S f_{yd}$ de una barra suponiendo una tensión de adherencia constante τ_{bd} , de tal manera que se satisfaga la siguiente ecuación de equilibrio:

$$l_b = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot \tau_{bd}}$$

donde τ_{bd} depende de numerosos factores, entre ellos el diámetro de la armadura, las características resistentes del hormigón y de la propia longitud de anclaje.

Si las características de adherencia de la barra están certificadas a partir del ensayo de la viga, descrito en el anejo C de la UNE EN 10080, la longitud básica de anclaje resultante, obtenida de forma simplificada es:

- Para barras en posición I

$$l_{bI} = m \phi^2 \leq (f_{yk}/20) \cdot \phi$$

- Para barras en posición II

$$l_{bII} = 1.4 m \phi^2 \leq (f_{yk}/14) \cdot \phi$$

Donde:

Resistencia característica del hormigón (N/mm ²)	m	
	B 400 S B400SD	B 500 S B 500SD
25	1,2	1,5
30	1,0	1,3
35	0,9	1,2
40	0,8	1,1
45	0,7	1,0
≥50	0,7	1,0

La longitud neta de anclaje se define como:

$$L_{b, \text{neta}} = l_b \cdot \beta \cdot (A_s / A_{s, \text{real}})$$

Donde β :

Tipo de anclaje	Tracción	Compresión
Prolongación recta	– 1	1
Patilla, gancho y gancho en U	0,7 (*)	1
Barra transversal soldada	0,7	0,7

Para el caso de grupos de barras, los anclajes siempre que sea posible se realizarán en prolongación recta.

Cuando todas las barras del grupo dentro una misma sección dejen de ser necesarias, la longitud de anclaje de las barras será como mínimo:

- 1'3 lb para grupos de 2 barras
- 1'4 lb para grupos de 3 barras
- 1'6 lb para grupos de 4 barras

Cuando las barras del grupo dejan de ser necesarias en secciones diferentes, a cada barra se le dará la longitud de anclaje que le corresponda según el siguiente criterio:

- 1'2 lb si va acompañada de 1 barra en la sección en que deja de ser necesaria;
- 1'3 lb si va acompañada de 2 barras en la sección en que deja de ser necesaria;
- 1'4 lb si va acompañada de 3 barra en la sección en que deja de ser necesaria;

Teniendo en cuenta que, en ningún caso los extremos finales de las barras pueden distar entre sí menos de la longitud lb

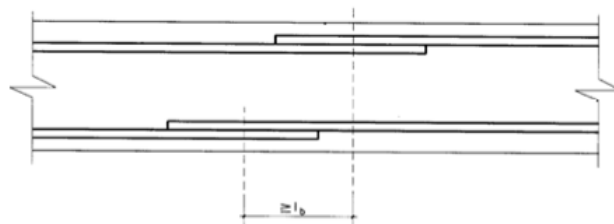
6.1.5. EMPALMES

Los empalmes entre barras deben diseñarse de manera que la transmisión de fuerzas de una barra a la siguiente quede asegurada, sin que se produzcan desconchados o cualquier otro tipo de daño en el hormigón próximo a la zona de empalme.

No se dispondrán más que aquellos empalmes indicados en los planos y los que autorice el Director de Obra. Se procurará que los empalmes queden alejados de las zonas en las que la armadura trabaje a su máxima carga.

Los empalmes podrán realizarse por solapo o por soldadura. Se admiten también otros tipos de empalme, con tal de que los ensayos con ellos efectuados demuestren que esas uniones poseen permanentemente una resistencia a la rotura no inferior a la de la menor de las 2 barras empalmadas, y que el deslizamiento relativo de las armaduras empalmadas no rebase 0,1 mm, para cargas de servicio (situación poco probable).

Como norma general, los empalmes de las distintas barras en tracción de una pieza, se distanciarán unos de otros de tal modo que sus centros queden separados, en la dirección de las armaduras, una longitud igual o mayor a l_b .



Empalmes por solapo:

Este tipo de empalmes se realizará colocando las barras una al lado de otra, dejando una separación entre ellas de 4ϕ como máximo

$$l_s = \alpha \cdot l_b, \text{ neta}$$

Tabla 69.5.2.2 Valores de α

Distancia entre los empalmes más próximos (figura 69.5.2.2.a)	Porcentaje de barras solapadas trabajando a Tracción, con relación a la sección total de acero					Barras solapadas trabajando normalmente a compresión en cualquier porcentaje
	20	25	33	50	>50	
$a \leq 10 \phi$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	1,0
$a > 10 \phi$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,0

En la zona de solapo deberán disponerse armaduras transversales con sección igual o superior a la sección de la mayor barra solapada.

Para el empalme por solapo de un grupo de barras, se añadirá una barra suplementaria en toda la zona afectada por los empalmes de diámetro igual al mayor de las que forman el grupo. Cada barra se colocará enfrentada a tope a aquella que va a empalmar. La separación entre los distintos empalmes y la prolongación de la barra suplementaria será de $1,2 l_b$ ó $1,3 l_b$ según sean grupos de dos o tres barras. Se prohíbe el empalme por solapo en los grupos de cuatro barras.



Las longitudes de anclaje y solape que se deberán de tener en cuenta EN el diseño y colocación del armado para la constitución de la estructura del silo, serán los que se exponen en la siguiente tabla.

LONGITUD DE ANCLAJE Y SOLAPE					
Diámetro	Longitud neta de anclaje (mm)		Longitud de solape (mm)		
	$l_{b,nI}$	$l_{b,nII}$	$l_{b,nI}$	$l_{b,nII}$	
muro H.A	12	300		600	
	20	520	728	1040	1456
	25	812,5	1138	1625	2275
muro Post	12	300		600	
	20	520	728	1040	1456
	25	813	1138	1625	2275

6.1.6. RECUBRIMIENTO DE LA ARMADURA PASIVA

El artículo 73.2.4 recubrimientos indica que el recubrimiento de las armaduras pasivas debe cumplir:

$$r_{nom} = r_{mín} + \Delta r$$

Para una vida útil de 100 años, una clase de exposición IIa, cemento distinto del CEM I y una resistencia característica de 25 N/mm^2 el $r_{mín}$ según la tabla 37.2.4.1.a será de 30 mm.

Tabla 37.2.4.1.a Recubrimientos mínimos (mm)
para las clases generales de exposición I y II

Clase de exposición	Tipo de cemento	Resistencia característica del hormigón [N/mm ²]	Vida útil de proyecto (t _g), (años)	
			50	100
I	Cualquiera	$f_{ck} \geq 25$	15	25
II a	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
II b	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
	Otros tipos de cementos o en el caso de empleo de adiciones al hormigón	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	35
		$f_{ck} \geq 40$	20	30

Δr Margen de recubrimiento será de 5 mm en el caso de elementos ejecutados in situ con nivel intenso de control de ejecución.

Se deberá cumplir además cuando se trata de armaduras principales, el recubrimiento deberá ser igual o superior a:

- diámetro de dicha barra (o diámetro equivalente si se trata de un grupo de barras)
- 0,80 veces el tamaño máximo del árido, salvo que la disposición de armaduras respecto a los paramentos dificulte el paso del hormigón, en cuyo caso se tomará
- 1,25 veces el tamaño máximo del árido

Además, el recubrimiento de las barras dobladas no será inferior a dos diámetros, medido en dirección perpendicular al plano de la curva.

En cuanto al recubrimiento de la cimentación, la EHE 08 establece que en piezas hormigonadas contra el terreno, el recubrimiento mínimo será 70 mm, salvo que se haya preparado el terreno y dispuesto un hormigón de limpieza.

Por lo tanto, el recubrimiento nominal de los elementos de la estructura será:

- El recubrimiento de las armaduras pasivas será $r_{nom} = 30 + 5 = 35$ mm
- Para la cimentación $r_{nom} = 70 + 5 = 75$ mm

6.2. CRITERIOS PARA LA ARMADURA ACTIVA SEGÚN LA EHE-08

6.2.1. DISTANCIAS ENTRE ARMADURAS ACTIVAS POSTESAS

Como norma general, se admite colocar en contacto diversas vainas formando grupo, limitándose a dos en horizontal y a no más de cuatro en su conjunto. Para ello, las vainas deberán ser corrugadas y, a cada lado del conjunto, habrá de dejarse espacio suficiente para que pueda introducirse un vibrador normal interno.

Las distancias libres entre vainas o grupos de vainas en contacto, o entre estas vainas y las demás armaduras, deberán ser al menos iguales al mayor de los valores siguientes:

En dirección vertical:

- a. El diámetro de la vaina.
- b. La dimensión vertical de la vaina, o grupo de vainas
- c. 5 centímetros

En dirección horizontal:

- a. El diámetro de la vaina
- b. La dimensión horizontal de la vaina
- c. 4 centímetros
- d. 1'6 veces la mayor de las dimensiones de las vainas individuales que forman el grupo de vainas

6.2.2. CONSIDERACIONES GENERALES

El trazado real de los tendones se ajustará a lo indicado en el proyecto, colocando los puntos de apoyo necesarios para mantener las armaduras y vainas en su posición correcta.

Los apoyos que se dispongan para mantener este trazado deberán ser de tal naturaleza que no den lugar, una vez endurecido el hormigón, a fisuras ni filtraciones.

Por otra parte, las armaduras activas o sus vainas se sujetarán convenientemente para impedir que se muevan durante el hormigonado y vibrado, quedando expresamente prohibido el empleo de la soldadura con este objeto.

El doblado y colocación de la vaina y su fijación a la armadura pasiva debe garantizar un suave trazado del tendón y al evitar la ondulación seguir el eje teórico del mismo para no aumentar el coeficiente de rozamiento parásito o provocar empujes al vacío imprevistos.

La posición de los tendones dentro de sus vainas o conductos deberá ser la adecuada, recurriendo, si fuese preciso, al empleo de separadores.

Cuando se utilicen armaduras pretesas, conviene aplicarles una pequeña tensión previa y comprobar que, tanto los separadores y placas extremas como los alambres, están bien alineados y que éstos no se han enredado ni enganchado.

Antes de autorizar el hormigonado, y una vez colocadas y, en su caso, tesas las armaduras, se comprobará si su posición, así como la de las vainas, anclajes y demás elementos, concuerda con la indicada en los planos, y si las sujeciones son las adecuadas para garantizar su invariabilidad durante el hormigonado y vibrado. Si fuera preciso, se efectuarán las oportunas rectificaciones.

El aplicador del pretensado deberá comprobar, para cada tipo de tendón, los diámetros de vaina y espesores indicados en el proyecto, así como los radios mínimos de curvatura, para evitar la abolladura, garantizar que no se superan los coeficientes de rozamiento considerados en el cálculo, evitar el desgarro y aplastamiento durante el tesado, especialmente en el caso de vainas de plástico.

6.2.3. EMPALMES

Los empalmes se efectuarán en las secciones indicadas en el proyecto y se dispondrán en alojamientos especiales de la longitud suficiente para que puedan moverse libremente durante el tesado.

Cuando el proyecto suponga la utilización de acopladores de pretensado, se situarán distantes de los apoyos intermedios, evitándose su colocación en más de la mitad de los tendones de una misma sección transversal.

6.2.4. TENSIÓN MÁXIMA INICIAL ADMISIBLE EN LAS ARMADURAS

Además de otras limitaciones que pueda establecer el punto 20.2.1, con el fin de disminuir diversos riesgos durante la construcción (rotura de armaduras activas, corrosión bajo tensión, daños corporales, etc.), el valor máximo de la tensión inicial introducida en las armaduras σ_{p0} antes de anclarlas, provocará tensiones que cumplan las condiciones siguientes:

- el 85% de la carga unitaria máxima característica garantizada siempre que, al anclar las armaduras en el hormigón se produzca una reducción de la tensión tal que el valor máximo de la tensión en las armaduras σ_{p0} después de dicha reducción no supere el 75% de la carga unitaria máxima característica garantizada, en el caso de que tanto el acero para armaduras activas, como el aplicador del pretensado estén en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido, y
- en el resto de los casos, el 80% de la carga unitaria máxima característica garantizada siempre que, al anclar las armaduras en el hormigón se produzca una reducción de la tensión tal que el valor máximo de la tensión en las armaduras σ_{p0} después de dicha reducción no supere el 70% de la carga unitaria máxima característica garantizada.

6.2.5. RECUBRIMIENTO DE LAS ARAMADURAS POSTESAS

El artículo 37.2.4.2 recubrimiento de armaduras activas postesas indica que:

En el caso de las armaduras activas postesas, los recubrimientos mínimos en las direcciones horizontal y vertical (Figura 37.2.4.2) serán por lo menos iguales al mayor de los límites siguientes, y no podrán ser nunca superiores a 80 mm:

- 40 mm;
- el mayor de los valores siguientes: la menor dimensión o la mitad de la mayor dimensión de la vaina o grupos de vainas en contacto

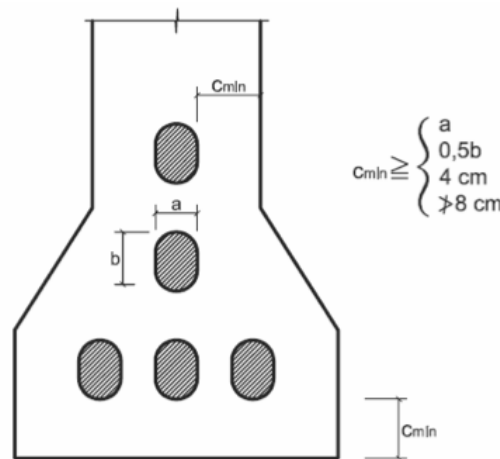


Figura 37.2.4.2

Una vez obtenida la armadura activa necesaria para cada tramo de muro. Podemos conocer el diámetro de las vainas donde irán alojados los cordones de pretensado y con ello el recubrimiento mínimo de las armaduras postesas.

Para el caso de la armadura postesa, puesto que depende de las dimensiones de la vaina, el recubrimiento puede variar a lo largo del muro ya que va en función del número de cordones del cable.

Según queda justificado en el apartado 5 del anejo de cálculo, los diámetros de las vainas serán:

- Para los cables de 3 cordones, el diámetro de la vaina será de 50 mm
- Para los cables de 7 cordones, el diámetro de la vaina será de 76 mm
- Para los cables de 12 cordones, el diámetro de la vaina será de 92 mm

Por lo tanto, el recubrimiento mínimo que protegerá las armaduras activas será para el tramo de 3 cordones 50 mm, para el de 7 cordones 76 mm y para el tramo de 12 de 80 mm.

6.3. CRITERIOS PARA LA CIMENTACIÓN

6.3.1. CANTOS Y DIMENSIONES MÍNIMAS

El canto total mínimo en el borde de los elementos de cimentación de hormigón armado no será inferior a 25 cm si se apoyan sobre el terreno.

En este caso, la cimentación tiene forma rectangular con 1 metro de canto y dimensiones mayores a 25 cm.

6.3.2. DISPOSICIÓN DE LA ARMADURA

La armadura longitudinal debe satisfacer lo establecido en el Artículo 42. La cuantía mínima se refiere a la suma de la armadura de la cara inferior, de la cara superior y de las paredes laterales, en la dirección considerada.

La armadura dispuesta en las caras superior, inferior y laterales no distará más de 30 cm. La separación entre armaduras longitudinales, transversales y de la armadura de cortante será;

RESUMEN DEL ARMADO DE LA ZAPATA					
	Armadura de diseño		Separación entre barras (cm)		Armadura de cortante
	LONG	TRANS	LONG	TRANS	
SV INF	8Ø25	5Ø25	30	10	Ø8c/45 cm
SV SUP	7Ø20	4Ø20	30	15	
ST INF	14Ø25	9Ø25	30	10	Ø8c/60 cm
ST SUP	10Ø20	6Ø20	30	15	

En las zapatas y encepados flexibles no será preciso disponer armadura transversal, siempre que no sea necesaria por el cálculo y se ejecuten sin discontinuidad en el hormigonado.

En zapatas y encepados flexibles, corridos y trabajando en una sola dirección, y en elementos de cimentación cuadrados y trabajando en dos direcciones, la armadura se podrá distribuir uniformemente en todo el ancho de la cimentación.

La armadura calculada deberá estar anclada según el más desfavorable de los dos criterios siguientes:

- La armadura estará anclada según las condiciones del Artículo 69 desde una sección S_2 situada a un canto útil de la sección de referencia S_1 .
- La armadura se anclará a partir de la sección S_3 (figura 58.4.2.1.1.d) para una fuerza:

$$T_d = R_d \frac{v + 0,15 a - 0,25 h}{0,85 h}$$

En este caso, la longitud de anclaje y solape de las armaduras, cumplirá lo dispuesto en el apartado de criterios de diseño para la armadura pasiva.

6.3.3. UNION MURO ZAPATA

Las armaduras verticales de los soportes deben penetrar en la zapata hasta el nivel de la capa inferior de la armadura

Dejar la superficie de contacto con rugosidad natural

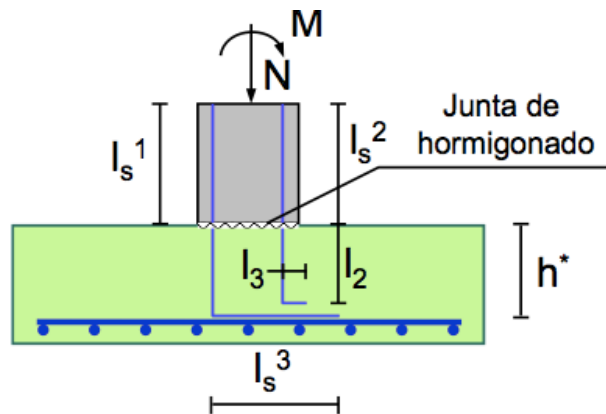
Si las barras trabajan a compresión la longitud de anclaje en prolongación recta será;

$$l = 2/3 \cdot l_b \leq h$$

$l_3 > \text{máx} (300\text{mm}, \text{cuadrícula de la parrilla de la zapata})$

Bajo la zapata se verterá 100 mm de hormigón de limpieza que realizará la función de solera de regularización o de asiento

Es recomendable modular las dimensiones horizontales en múltiplos de 250 mm y los cantos de 100 mm



7. CONCLUSIONES

Tras la realización del trabajo final de grado que he realizado y he tratado de explicar de la mejor forma que he sabido, las conclusiones a las que he llegado, las he dividido en dos partes y son las que voy a explicar a continuación.

CONCLUSIONES SOBRE EL TRABAJO

A la hora de realizar el cálculo y diseño de un silo de hormigón, que va a contener material almacenado en su interior, hay que tener en cuenta:

Uno de los factores que más va a afectar al dimensionamiento del silo, son los esfuerzos que el material almacenado generará sobre las paredes del silo. Especialmente la presión horizontal que provocará fuertes compresiones sobre el muro, que se deberán compensar introduciendo una fuerza de tracción mediante los cables del sistema de tesado.

En este tipo de estructuras, hay que tener especial precaución en las zonas próximas a las aberturas de paso de las cintas que suministrarán el material, pues son zonas donde se concentran los esfuerzos y necesitarán armados de refuerzo adicional.

La dirección que más problemas puede generar y que por tanto mayor atención requiere es la dirección horizontal, la mayor parte del armado se concentrará en esta dirección.

Dada la envergadura de la estructura y la cantidad de acero que hay que colocar, un pequeño error de cálculo puede suponer un gran coste económico para el proyecto, es por esto, que los modelos simplificados de cálculo, son una buena herramienta de trabajo para realizar un pre-dimensionamiento, pero sus resultados siempre se deben contrastar con programas informáticos o con modelos de cálculo que se aproximen lo máximo posible a la realidad.

Otro aspecto importante, es la selección y distribución del sistema de pretensado, puesto que afectará en gran medida al diseño del silo y al proceso constructivo, afectando por tanto al cálculo del mismo.

CONCLUSIONES SOBRE EL TRABAJO

Bajo mi punto de vista, la realización del TFG es considerado como la demostración de las competencias adquiridas por los estudiantes a lo largo de su etapa universitaria, plasmadas en un trabajo que debe demostrar que se han adquirido los conceptos necesarios para resolver todas aquellas dificultades y todos aquellos retos que nos aparecen en una situación real.

La realización de este proyecto me ha servido además de cómo un reto a superar por muchos motivos, el plantearme de un modo más real los posibles problemas que se van a presentar durante mi vida laboral y cómo resolverlos. Además me ha servido para refrescar y poner en práctica conceptos aprendidos durante la carrera que creía olvidados o no había llegado a entender de la forma que lo puedo hacer tras la finalización del proyecto.

8. BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía utilizada para la elaboración de este proyecto se centra básicamente en el temario de ciertas asignaturas de la titulación de arquitectura técnica, la normativa indicada en la memoria descriptiva y páginas web de fabricantes e instaladores de sistemas constructivos e instalaciones.

A continuación se hace una referencia no exhaustiva

TEMARIO DE ASIGNATURAS DE GIOP

- Tecnología de las construcciones de hormigón
- Hormigón armado
- Hormigón pretensado
- Dibujo
- Sistemas de representación
- Geotecnia y cimientos
- Análisis de estructuras
- Estructuras de contención y cimentación
- Instalaciones, organización y garantía de calidad de las obras

PÁGINAS WEB EN INTERNET

<http://www.celsagroup.com>
<http://www.accuweather.com>
<http://www.fomento.es>
<https://www.google.es>
<http://www.bibliocad.com>
<http://www.freyssinet.es>

.....

