ANEJO Nº 8.- CÁLCULOS ESTRUCTURALES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 5

2. BASES DE CÁLCULO 8

2.1 NORMATIVA 8

2.2 CRITERIOS DE SEGURIDAD 8

2.3 NIVEL DE CONTROL DE CALIDAD ADOPTADO 8

2.4 MATERIALES 9

2.4.1 HORMIGÓN 9

2.4.2 ACERO PASIVO 10

2.5 PROGRAMAS DE CÁLCULO UTILIZADOS 12

2.5.1 CEDRUS 12

2.5.2 PROGRAMAS Y HOJAS DE CÁLCULO DE ELABORACIÓN PROPIA 13

2.6 ACCIONES 13

2.6.1 PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA 13

2.6.2 CARGAS MUERTAS Y CARGAS HIDROSTÁTICAS 13

2.6.3 SOBRECARGAS 13

2.7 COMBINACIÓN DE ACCIONES 14

3. ESQUEMAS DE PLANTA Y ALZADO DE LAS ACTUACIONES 16

4. CÁLCULO DE LOS MUROS EXTERIORES EN CÁMARAS DE MEZCLA Y FLOCULACIÓN 17

4.1 PROGRAMA DE CÁLCULO EMPLEADO 17

4.2 MODELO DE ENTRADA 17

4.3 CARGAS CONSIDERADAS EN EL MODELO 18

4.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U.) 19

4.4.1 ENVOLVENTE DE CÁLCULO 19

4.4.2 E.L.U. FLEXIÓN 19

4.4.3 E.L.U. RASANTE 21

4.5 ESTADO LÍMITE SERVICIO (E.L.S.) 23

4.5.1 E.L.S. FISURACIÓN 23

4.6 CONCLUSIONES 26

5. CÁLCULO DE LOS MUROS EXTERIORES EN CÁMARAS DE DECANTACIÓN LAMELAR 27

5.1 PROGRAMA DE CÁLCULO EMPLEADO 27

5.2 MODELO DE ENTRADA 27

5.3 CARGAS CONSIDERADAS EN EL MODELO 28

5.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U.) 29

5.4.1 ENVOLVENTE DE CÁLCULO 29
5.4.2 E.L.U. FLEXIÓN 29
5.4.3 E.L.U. RASANTE 31
5.5 ESTADO LÍMITE SERVICIO (E.L.S.) 33
5.5.1 E.L.S. FISURACIÓN 33
5.6 CONCLUSIONES 36
6. CÁLCULO DE LOS MUROS EXTERIORES EN CÁMARAS DE FILTRACIÓN 37
6.1 PROGRAMA DE CÁLCULO EMPLEADO 37
6.2 MODELO DE ENTRADA 37
6.3 CARGAS CONSIDERADAS EN EL MODELO 38
6.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U.) 39
6.4.1 ENVOLVENTE DE CÁLCULO 39
6.4.2 E.L.U. FLEXIÓN 39
6.4.3 E.L.U. RASANTE 41
6.5 ESTADO LÍMITE SERVICIO (E.L.S.) 43
6.5.1 E.L.S. FISURACIÓN 43
6.6 CONCLUSIONES 46
7. CÁLCULO DE LOS MUROS INTERIORES 47
7.1 PROGRAMA DE CÁLCULO EMPLEADO 47
7.2 MODELO DE ENTRADA 47
7.3 CARGAS CONSIDERADAS EN EL MODELO 48
7.4 ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U.) 49
7.4.1 ENVOLVENTE DE CÁLCULO 49
7.4.2 E.L.U. FLEXIÓN 49
7.4.3 E.L.U. RASANTE 52
7.5 ESTADO LÍMITE SERVICIO (E.L.S.) 55
7.5.1 E.L.S. FISURACIÓN 55
7.6 CONCLUSIONES 58
8. CÁLCULO DE CONECTORES DE MUROS INTERIORES TRANSVERSALES SOMETIDOS A TRACCIÓN 59
8.1 MUROS INTERIORES TRANSVERSALES EN CÁMARAS DE MEZCLA 59
8.2 MUROS INTERIORES TRANSVERSALES EN CÁMARAS DE FLOCULACIÓN 60
8.3 MUROS INTERIORES TRANSVERSALES EN CÁMARAS DE DECANTACIÓN LAMELAR 61
8.4 MUROS INTERIORES TRANSVERSALES EN CÁMARAS DE FILTRACIÓN 62
9. CÁLCULO DE LAS LOSAS DE APOYO DE LOS AGITADORES 63

1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente anejo es definir la obra civil del "Proyecto de la nueva E.T.A.P. junto al embalse de Palancares en el Municipio de Soto del Real".

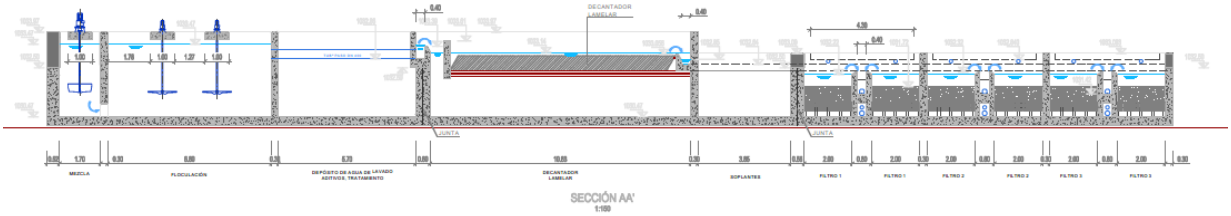
La E.T.A.P. existente está integrada en un edificio y consta de seis piscinas de hormigón con muros exteriores de 50 cm de espesor, sobre los que se apoyan los cerramientos del edificio, y muros interiores de 30 cm de espesor. La altura de los muros existentes es de 2.35 m. Los muros existentes llevan una armadura vertical de ø10/0.15 en ambas caras y una armadura horizontal de ø10/0.15 en ambas caras. Las soleras existentes llevan una armadura de ø10/0.20 en ambas caras y direcciones.

Se adjuntan a continuación unas fotografías del estado actual de la E.T.A.P.:

En la solución propuesta en el presente proyecto, se ha decidido mantener la estructura del edificio (pilares y vigas) y mantener, en la medida de lo posible, las soleras y los muros de las seis piscinas existentes. La actuación consiste en el recrecimiento de todos los muros y en la ejecución de una serie de muros interiores nuevos que se anclarán a la solera y a los muros exteriores existentes. Se realizarán además unas losas de apoyo de los agitadores y una serie de canaletas necesarias para todo el proceso de tratamiento del agua.

De esta forma, en el presente anejo se realizan los cálculos estructurales necesarios para definir todas las nuevas estructuras, así como la comprobación de las estructuras existentes frente a las nuevas solicitaciones, en particular frente al nuevo empuje hidrostático.

Se incluyen a continuación una planta y un alzado de la actuación proyectada en los que se pueden apreciar las diferentes zonas del tratamiento del agua: mezcla-floculación, decantación lamelar y filtración:



En el presente anejo de cálculos estructurales se incluyen las bases de cálculo (normativa, criterios de seguridad, nivel de control de calidad adoptado, materiales, programas de cálculo utilizados, acciones y combinación de acciones) y los cálculos estructurales realizados para definir toda la obra civil proyectada:

- Cálculo de los muros exteriores en zonas de mezcla y floculación (comprobación de los muros existentes y del recrecimiento de los mismos).
- Cálculo de los muros exteriores en zonas de decantación lamelar (comprobación de los muros existentes y del recrecimiento de los mismos).
- Cálculo de los muros exteriores en zonas de filtración (comprobación de los muros existentes y del recrecimiento de los mismos).
- Cálculo de los muros interiores y del anclaje de los mismos a la estructura existente.
- Cálculo de los conectores de los muros interiores transversales sometidos a tracción.
- Cálculo de las losas de apoyo de los agitadores.

2. BASES DE CÁLCULO

2.1 *NORMATIVA*

Se indica a continuación la normativa empleada para la elaboración del presente anejo de cálculos estructurales:

- "Código Técnico de la Edificación CTE". Ministerio de Vivienda. 2006 y modificaciones 2009.
- "Eurocódigo 1. Acciones en estructuras". UNE EN 1991 1-1 (2003), UNE EN 1991 1-4 (2007).
- "EHE. Instrucción de Hormigón Estructural". Ministerio de Fomento. 2008.

2.2 *CRITERIOS DE SEGURIDAD*

Para justificar la seguridad de los elementos objeto de este anejo de cálculos estructurales, y su adecuado comportamiento en servicio, se ha utilizado el Método de los Estados Límite. En cada epígrafe del cálculo se especifican los Estados Límite de Servicio y los Estados Límites Últimos contemplados en la comprobación de cada elemento estructural.

2.3 *NIVEL DE CONTROL DE CALIDAD ADOPTADO*

El control de la calidad del hormigón y de sus materiales componentes, así como el control del acero para armar, se efectuará según lo establecido en la "Instrucción de Hormigón Estructural EHE". El fin del control es verificar que la obra terminada tiene las características de calidad especificadas en el proyecto, que son las generales de la Instrucción EHE-08.

Existen diferentes niveles de control. La realización del control se adecuará al nivel adoptado para la elaboración del proyecto.

En el proyecto se han adoptado los siguientes niveles de control según la definición de EHE-08:

Acero para armar	Normal
Hormigón	Estadístico
Ejecución	Intenso

Corresponde a la Dirección de Obra la responsabilidad de la realización de los controles anteriormente definidos. Estos controles están en acuerdo recíproco con los coeficientes parciales de seguridad para la resistencia, adoptados en los cálculos justificativos de la seguridad estructural.

Los coeficientes parciales de seguridad para la resistencia adoptados han sido:

Acero para armar	1.15
Hormigón	1.50

2.4 *MATERIALES*

2.4.1 HORMIGÓN

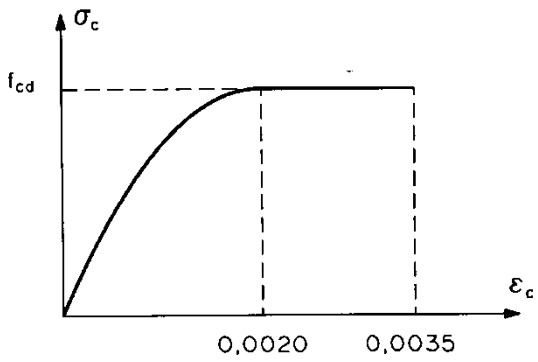
Se ha considerado los siguientes hormigones, cuya resistencia a compresión simple se mide en MPa:

MATERIALES	CALIDAD	NIVEL DE CONTROL	COEFICIENTE DE SEGURIDAD	RECUBRIMIENTO ARMADURAS (mm)
Hormigón en recrecimiento de muros	HA-30/B/20/IV+Qb	Estadístico	$\gamma_C = 1.50$	35
Hormigón en muros y losas de nueva ejecución	HA-30/B/20/IV+Qb	Estadístico	$\gamma_C = 1.50$	35
Acero pasivo	B 500 S	Normal	$\gamma_S = 1.15$	
Ejecución		Intenso		

En general, el módulo de elasticidad a 28 días se ha estimado, de acuerdo con el artículo 39.6 de la EHE, mediante la siguiente expresión:

$$E_{c.28} = 8500 \cdot \sqrt[3]{(f_{ck} + 8)}$$, con fck y Ec,28 en MPa.

Como diagrama tensión - deformación de cálculo para el hormigón se ha adoptado el diagrama parábola - rectángulo, en el que el vértice de la parábola se encuentra en la abscisa 2 por mil y el vértice extremo del rectángulo en la abscisa 3.5 por mil. La ordenada máxima del diagrama se corresponde con una compresión igual a fcd:

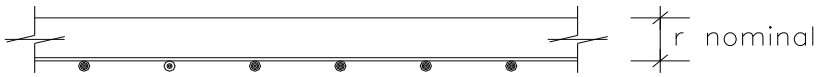


Como recubrimiento nominal de las armaduras se ha tomado:

$$r_{nom} \geq r_{min} + \Delta r$$

siendo:

- rnom, recubrimiento nominal
- rmin, recubrimiento mínimo
- Δr, margen de recubrimiento (en función del tipo de elemento y del nivel de control de ejecución) = 5 mm en elementos in situ y 0 mm en prefabricados.



2.4.2 ACERO PASIVO

En todos los elementos estructurales del proyecto se ha considerado la utilización de acero pasivo corrugado del tipo B 500 S.

El límite elástico de este tipo de acero es fy = 500 MPa, y el alargamiento de rotura mínimo garantizado para el mismo es $\varepsilon_s \geq 16$ %.

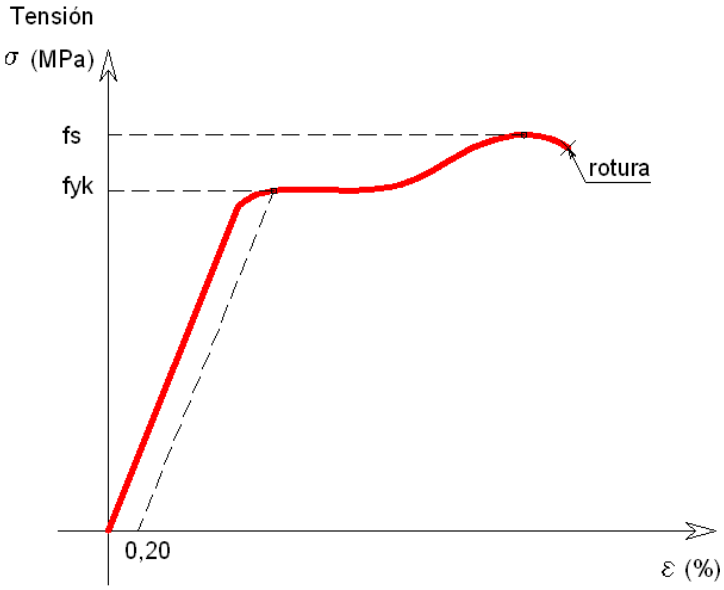


Diagrama tensión deformación acero pasivo

Para el módulo de elasticidad se ha adoptado el valor Es = 200000 MPa. Como diagrama tensión-deformación de cálculo se ha adoptado el diagrama bilineal con rama horizontal a partir del límite elástico y limitando el valor de la deformación del acero en tracción al valor del 10 por mil.

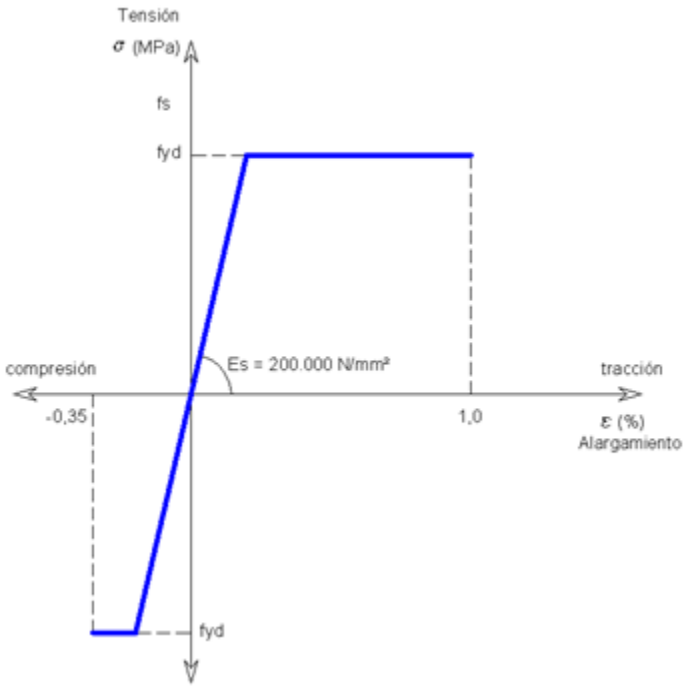


Diagrama tensión deformación de cálculo del acero pasivo

Designación de las barras	Clase de acero	fyk [N/mm²]	fs [N/mm²]	fs / fy	Alarg % rotura
B 500 S	soldable	500	575	≥ 1,15 ≤ 1,35	≥ 16

De acuerdo con artículo 69.5 de la EHE-08, las longitudes de anclaje y de solape de las armaduras son las siguientes:

HA-40	**ANCLAJE (Lb) (cm)**		**SOLAPE (Ls) (cm)**	
ø	LbI	LbII	LsI	LsII
6	15	25	30	50
8	20	30	40	60
10	25	40	50	80
12	30	45	60	90
16	40	60	80	120
20	55	75	110	150
25	85	115	170	230
32	135	190	270	380

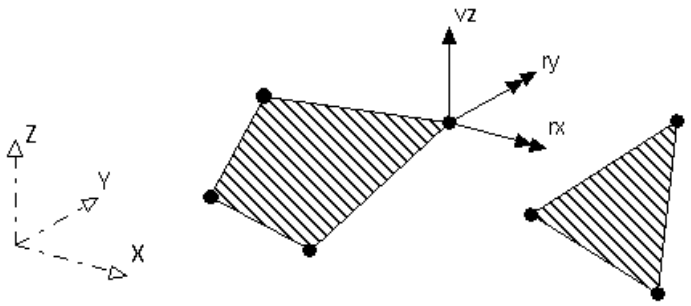
2.5 *PROGRAMAS DE CÁLCULO UTILIZADOS*

En el presente apartado se describen los programas de cálculo empleados en el diseño de la obra civil de la E.T.A.P.

2.5.1 CEDRUS

Para el análisis de esfuerzos y movimientos en elementos estructurales tipo muro, tales como los muros exteriores en zonas de mezcla y floculación, los muros exteriores en zonas de decantación lamelar, los muros exteriores en zonas de filtración y los muros interiores, se ha utilizado el programa de cálculo CEDRUS-7 de CUBUS AG.

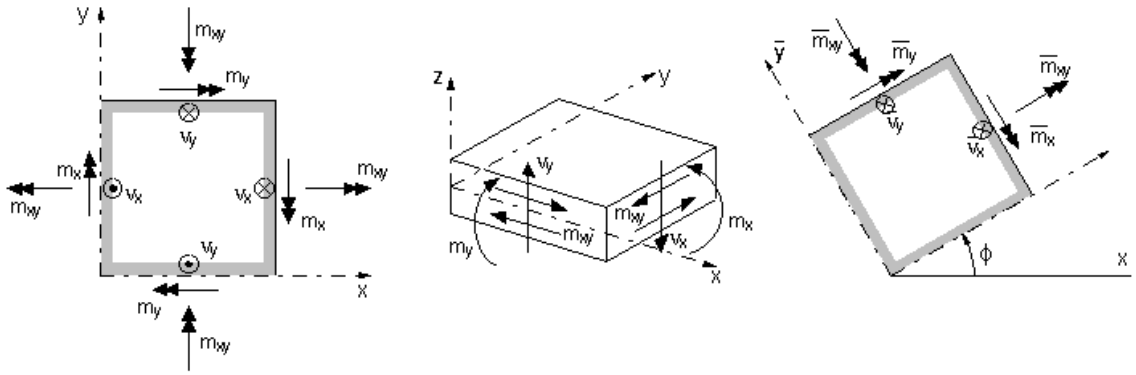
Éste es un programa de elementos finitos que permite el análisis elástico lineal, estático y dinámico, de placas (tanto en flexión como con acciones contenidas en el plano de la misma), estando concebido especialmente para losas y muros de hormigón, ya sea armado o pretensado.



Tipos de elementos finitos empleados y grados de libertad permitidos por CEDRUS-7

Adicionalmente, el programa permite el dimensionamiento directo de las armaduras de flexión en losas y muros de hormigón armado, a partir de los esfuerzos calculados en E.L.U., mediante la ayuda del post-procesador de secciones FAGUS-7, también de CUBUS-AG.

Para procesar los datos de salida del programa de cálculo los esfuerzos se integran en secciones de cálculo. Para la obtención de los esfuerzos en las secciones anteriormente indicadas el programa integra automáticamente los esfuerzos internos al ancho de cada sección:



Esfuerzos y criterio de signos

Los esfuerzos flectores obtenidos en cada sección de cálculo integran además los efectos de la torsión en la estructura calculada mediante las siguientes ecuaciones:

$$mb_{x+} = Max\ (m_x + m_{xy}\ ,\ m_x - m_{xy})$$
$$mb_{x-} = Min\ (m_x + m_{xy}\ ,\ m_x - m_{xy})$$
$$mb_{y+} = Max\ (m_y + m_{xy}\ ,\ m_y - m_{xy})$$
$$mb_{y-} = Min\ (m_y + m_{xy}\ ,\ m_y - m_{xy})$$

2.5.2 PROGRAMAS Y HOJAS DE CÁLCULO DE ELABORACIÓN PROPIA

Se han empleado diferentes programas desarrollados en entorno Visual Basic y hojas de cálculo de elaboración propia para realizar distintas comprobaciones, según la EHE-08, en elementos estructurales de hormigón.

Adicionalmente también se ha empleado el programa comercial “PRONTUARIO INFORMATICO DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL 3.1 EHE-08”

2.6 *ACCIONES*

2.6.1 PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA

Se considera una densidad igual a 25.0 kN/m³ para el hormigón armado en todos los modelos.

2.6.2 CARGAS MUERTAS Y CARGAS HIDROSTÁTICAS

Las cargas muertas a considerar para el cálculo de muros y losas de la E.T.A.P. son las de los equipos de naturaleza permanente y semi-permanente, incluyendo agitadores, decantadores lamelares, soplantes, bombas de dosificación, etc.

Para el diseño de los muros exteriores e interiores de la E.T.A.P. se considerará el peso del líquido contenido en las diferentes cámaras diseñadas. Para ello, se tomará un peso específico del agua en el diseño de 10 kN/m^3.

Las cargas hidrostáticas de líquido se incorporan a los modelos de diseño como presiones distribuidas sobre las caras correspondientes de los muros.

En los cálculos se considerarán las cargas hidrostáticas como cargas muertas y se calcularán siempre las hipótesis más desfavorables de llenado y vaciado de las diferentes cámaras de la E.T.A.P. para el cálculo de los muros exteriores e interiores.

En las cámaras de filtración se tiene además una presión debida a las arenas de filtración. Se tomará un peso específico seco de las arenas de 16 kN/m^3.

2.6.3 SOBRECARGAS

Además de las cargas muertas, para el cálculo de las losas de apoyo de los agitadores, se considerará una sobrecarga de mantenimiento de 1 kN/m^2.

2.7 *COMBINACIÓN DE ACCIONES*

Tal como se indica en el Artículo 13 de la EHE-08, se define combinación de acciones como el conjunto acciones que actúan simultáneamente, para una comprobación determinada.

En concreto, para los Estados Límite últimos (ELU):

- Situación persistente o transitoria:

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}\cdot G_{k,j}+\sum_{j\geq 1}\gamma_{G*,j}\cdot G^{*}_{k,j}+\gamma_{P}\cdot P_{k}+\gamma_{Q,1}\cdot Q_{k,1}+\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i}\cdot Q_{K,i}$$

- Situaciones accidentales:

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}\cdot G_{K,j}+\sum_{j\geq 1}\gamma_{G*,j}\cdot G^{*}_{k,j}+\gamma_{P}\cdot P_{k}+\gamma_{A}\cdot A_{k}+\gamma_{Q,1}\cdot\psi_{1,1}\cdot Q_{k,1}+\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{2,i}\cdot Q_{k,i}$$

Y para los estados límites de servicio (ELS):

- Combinación poco probable:

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}\cdot G_{k,j}+\sum_{j\geq 1}\gamma_{G*,j}\cdot G^{*}_{k,j}+\gamma_{P}\cdot P_{k}+\gamma_{Q,1}\cdot Q_{k,1}+\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,1}\cdot Q_{k,i}$$

- Combinación frecuente:

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}\cdot G_{k,j}+\sum_{j\geq 1}\gamma_{G*,j}\cdot G^{*}_{k,j}+\gamma_{P}\cdot P_{k}+\gamma_{Q,1}\cdot\psi_{1,1}\cdot Q_{k,1}+\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{2,i}\cdot Q_{k,i}$$

- Combinación cuasipermanente:

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}\cdot G_{k,j}+\sum_{j\geq 1}\gamma_{G*,j}\cdot G^{*}_{k,j}+\gamma_{P}\cdot P_{k}+\sum_{i\geq 1}\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{2,i}\cdot Q_{k,i}$$

Igualmente en el CTE se considera los siguientes coeficientes de mayoración y combinación:

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación [1]	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

[1] Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

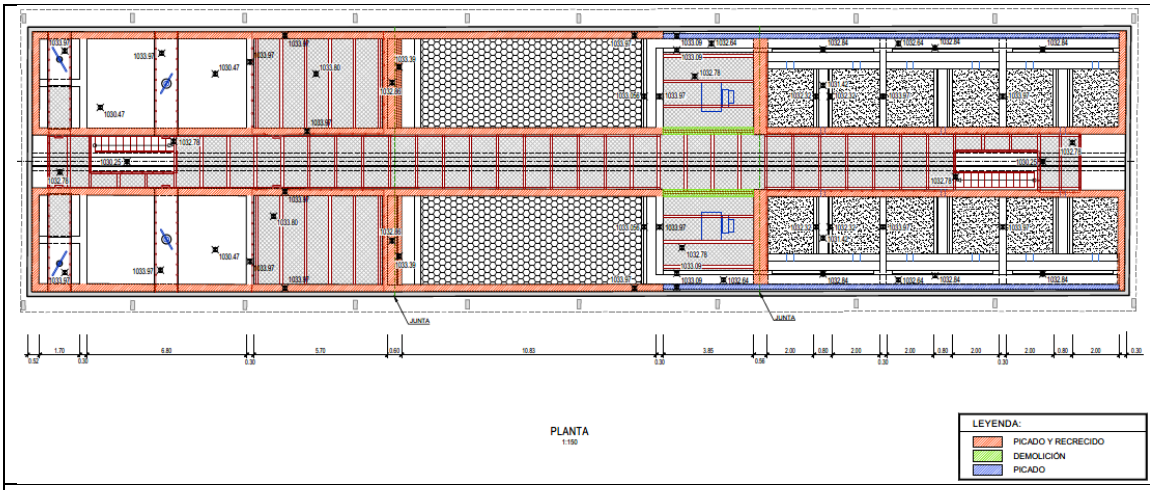
	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas(Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría F)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría G)		[1]	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

[1] En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

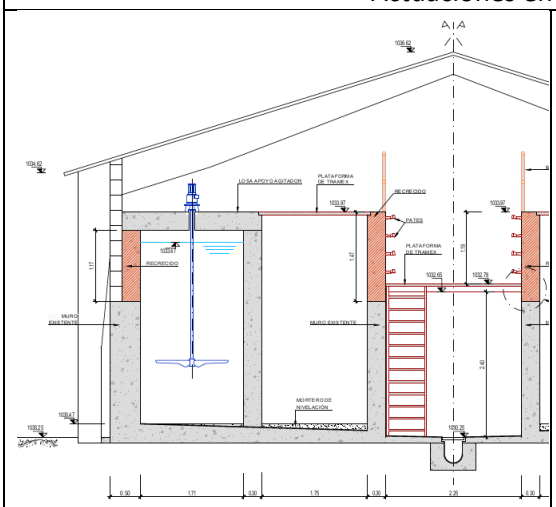
A partir de los datos anteriores se han considerado en los modelos de cálculo las siguientes combinaciones de acciones:

ELU: Estado Límite Último, situación persistente o transitoria.
ELS: Estado Límite de Servicio, combinación cuasi-permanente.

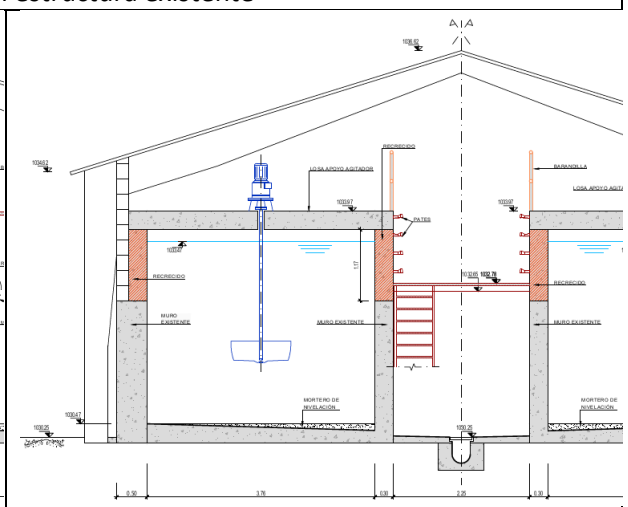
3. ESQUEMAS DE PLANTA Y ALZADO DE LAS ACTUACIONES



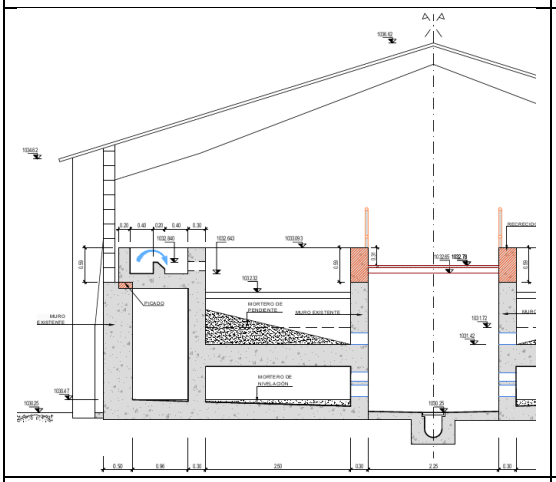
Actuaciones en estructura existente



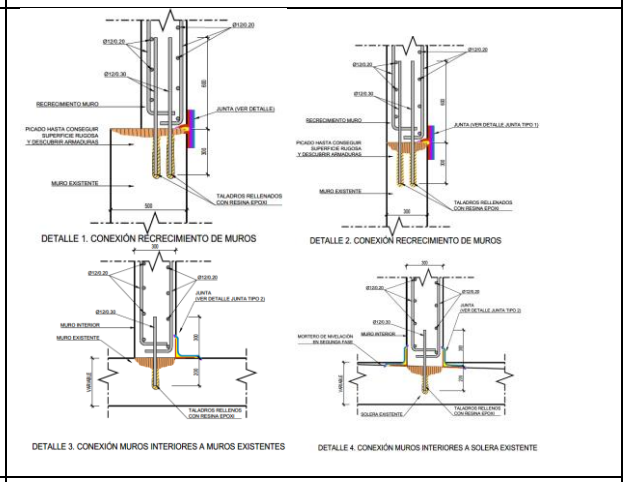
Mezcla



Floculación



Filtración



Detalles conexiones

4. CÁLCULO DE LOS MUROS EXTERIORES EN CÁMARAS DE MEZCLA Y FLOCULACIÓN

4.1 *PROGRAMA DE CÁLCULO EMPLEADO*

Para el análisis de los muros exteriores en cámaras de mezcla, floculación, depósitos de agua de lavado, aditivos y tratamiento, y espesamiento, se ha utilizado el programa CEDRUS-7 de CUBUS AG, descrito en el apartado 2.5.1 del presente Anejo de Cálculos Estructurales.

4.2 *MODELO DE ENTRADA*

Se trata en el presente apartado de realizar la comprobación estructural de los muros exteriores existentes en las cámaras anteriormente mencionadas, así como el dimensionamiento estructural del recrecimiento proyectado para dichos muros exteriores.

Los muros exteriores existentes en las cámaras de mezcla, floculación, depósitos de agua de lavado, aditivos y tratamiento, y espesamiento son los listados a continuación:

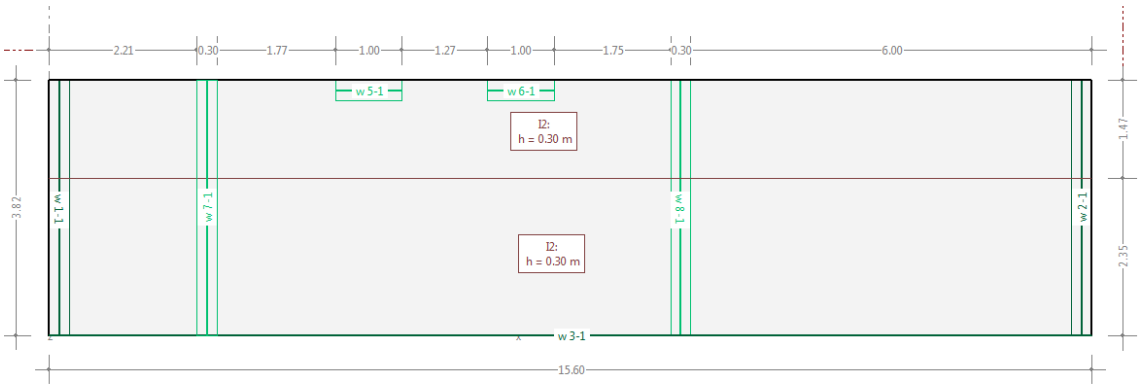
- 2 muros exteriores de 15.60 m de longitud, 0.50 m de espesor y 2.35 m de altura.
- 2 muros exteriores de 15.60 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.35 m de altura.
- 4 muros exteriores de 3.80 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.35 m de altura.

Todos estos muros exteriores existentes tienen una armadura vertical de ø10/0.15 m en ambas caras y una armadura horizontal de ø10/0.15 m en ambas caras.

Se proyecta el recrecimiento de todos estos muros conectando a los muros existentes unos nuevos muros de 0.30 m de espesor y 1.47 m de altura, para obtener, finalmente, muros de 3.82 m de altura.

Se realiza la comprobación de la armadura existente y el diseño de los recrecimientos mediante un único modelo con la situación más desfavorable: muro de 15.60 m de longitud, 0.30 m de espesor y altura total de 3.82 m (2.35 m + recrecimiento de 1.47 m).

A continuación se presenta de forma gráfica la geometría del modelo (contorno del muro, apoyos, y arriostramientos mediante muros interiores y losas de apoyo de los agitadores):



Los listados de entrada de la estructura calculada son los siguientes:

DATOS de la ESTRUCTURA

MATERIALES Código: EHE-08. Instr.Hormigón Estruct.

ID	Tipo	Elemento	E [kN/mm²]	ν	ρ [t/m³]	α [‰]	Clase	f [N/mm²]	
C	Hormigón	(general)	28.50	0.20	2.50	0.010	H300	-30.00	f_{ck}
R	Acero para armadu	(general)	200.00	0.30	8.00	0.012	AEH500	500.00	f_{yk}

ETIQUETAS DE MATERIAL: Recubrimiento de la armadura base

Id	Recubrimiento de la armadura				Armadura base			
	u_{XT} [cm]	u_{YT} [cm]	u_{XB} [cm]	u_{YB} [cm]	as_{XT} [cm²/m]	as_{YT} [cm²/m]	as_{XB} [cm²/m]	as_{YB} [cm²/m]
I2	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-	-	-
I2	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-	-	-

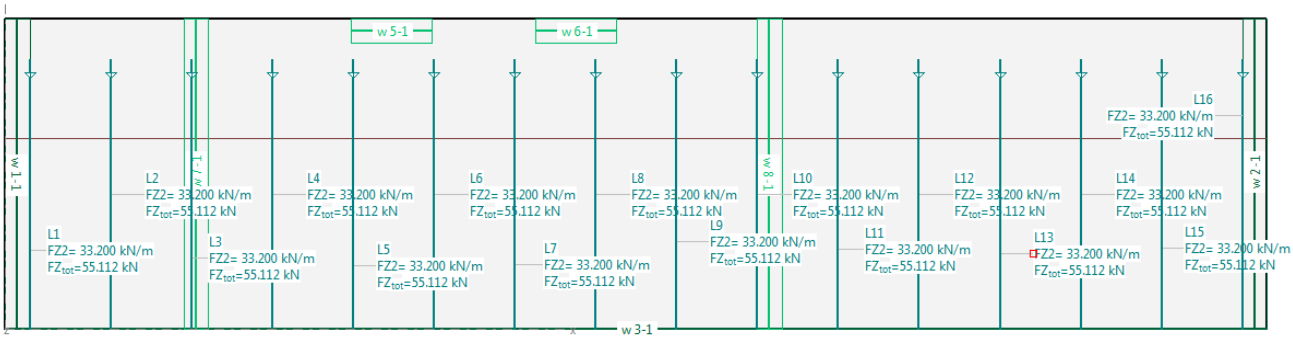
PAREDES

Id	Tipo		Apoyos			Geometría		Materiales		
	Descripción	N.Lin.	sdz [kN/m²]	srx [kN]	sry [kN]	Ancho [m]	Altura [m]	$f_{E\ sdz}$	Cuerpo	Armaduras
W1	general	No	empotrado	empotrado	empotrado	0.30	10.00	1.000	C	R
W2	general	No	empotrado	empotrado	empotrado	0.30	10.00	1.000	C	R
W3	general	No	empotrado	empotrado	empotrado	0.30	10.00	1.000	C	R
W5	Rot. libre	No	empotrado	libre	libre	0.30	3.80	1.000	C	R
W6	Rot. libre	No	empotrado	libre	libre	0.30	3.80	1.000	C	R
W7	Rot. libre	No	empotrado	libre	libre	0.30	3.80	1.000	C	R
W8	Rot. libre	No	empotrado	libre	libre	0.30	3.80	1.000	C	R

4.3 *CARGAS CONSIDERADAS EN EL MODELO*

Se estudia el comportamiento del muro considerando una presión hidrostática máxima sobre el mismo. La cota de coronación del muro es la 1033.97 y la cota máxima de agua en las cámaras consideradas es la 1033.47, es decir 0.50 m por debajo de la coronación del muro.

Se muestra a continuación la entrada gráfica de dicha carga en el modelo:



4.4 *ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U.)*

4.4.1 ENVOLVENTE DE CÁLCULO

Se incluyen a continuación los listados de la envolvente de cálculo E.L.U. incluida en el programa:

Especificación de envolventes: !ELU

Especificación de envolventes

Acción			Combinaciones de acciones		
No	Nombre	Fac	1	2	
1	Carga muerta	1	1.35	1	

Fac : todos los factores de combinación son multiplicados por este factor

Superposiciones de hipótesis de carga para las acciones

para la especificación de envolventes !ELU

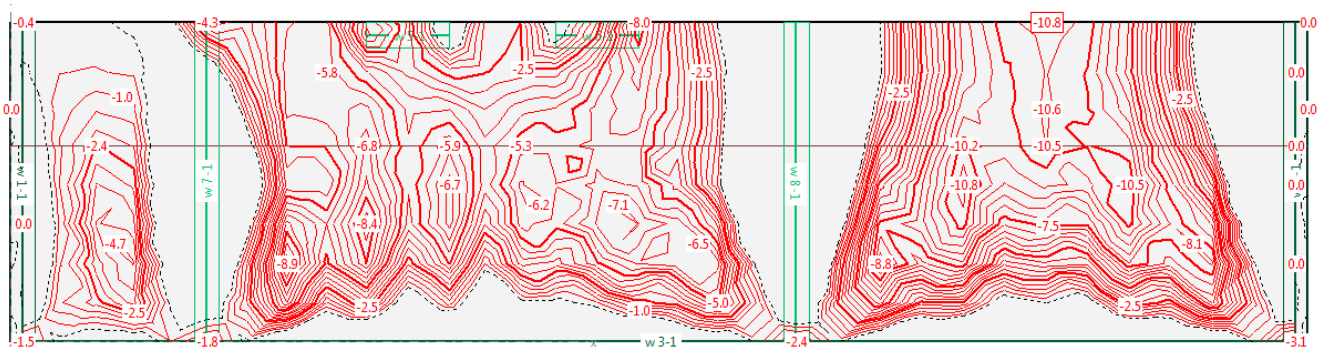
Acción	Alt	aditivo	excluyente	Hipótesis de carga	Factor	Comb.
Carga muerta		Permanente		CM Empuje hidrostático	1.000	

Alt : Superposición alternativa

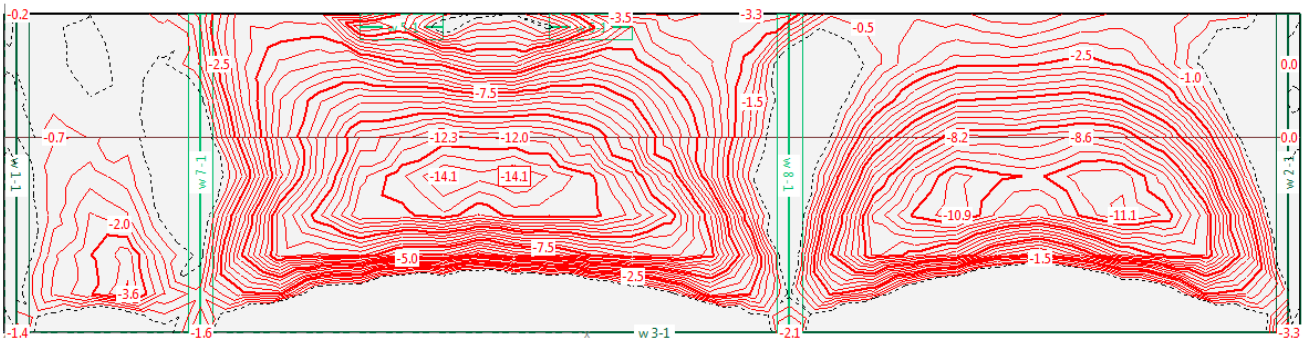
4.4.2 E.L.U. FLEXIÓN

Se han obtenido las isolíneas de momentos flectores en toda la estructura. Con dichas isolíneas, el programa CEDRUS-7, ayudado por su post-procesador seccional FAGUS-7, ha calculado la armadura necesaria en cada zona.

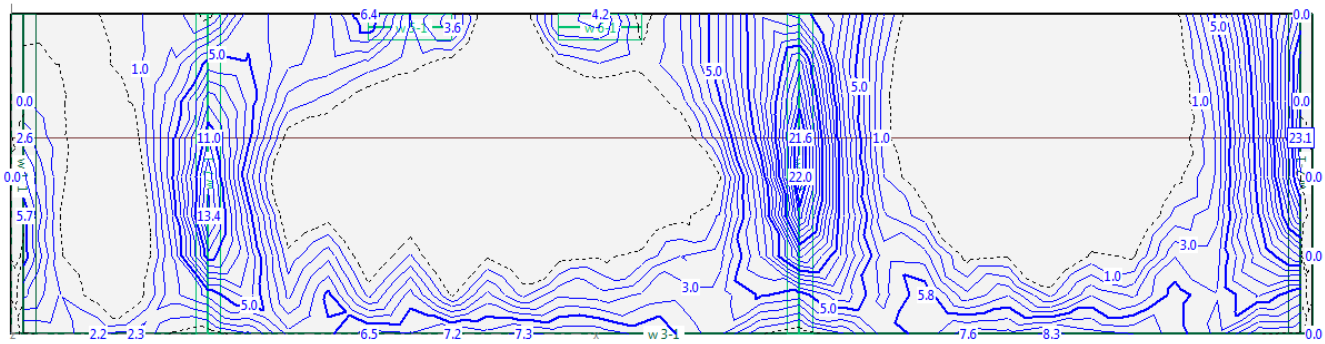
A continuación se representan tanto las isolíneas de momentos flectores como las armaduras necesarias obtenidas, en ambas caras y direcciones:



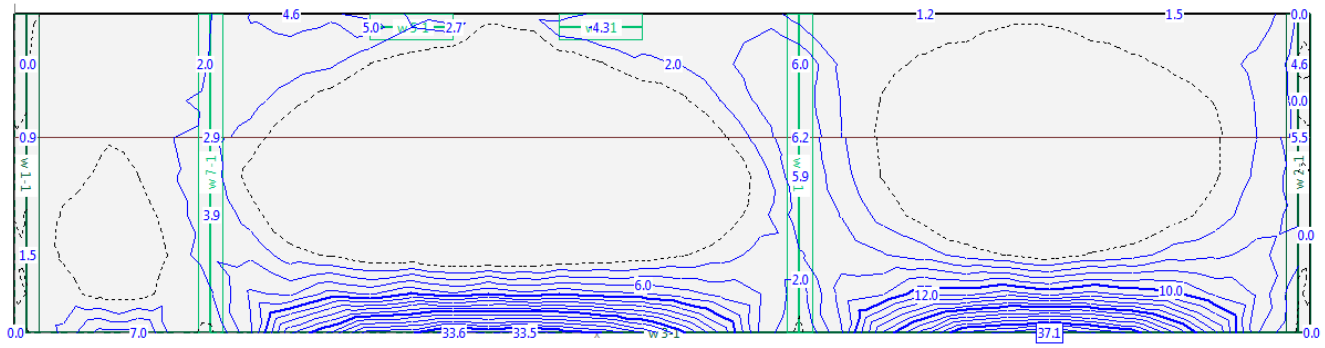
Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección x (mkN)



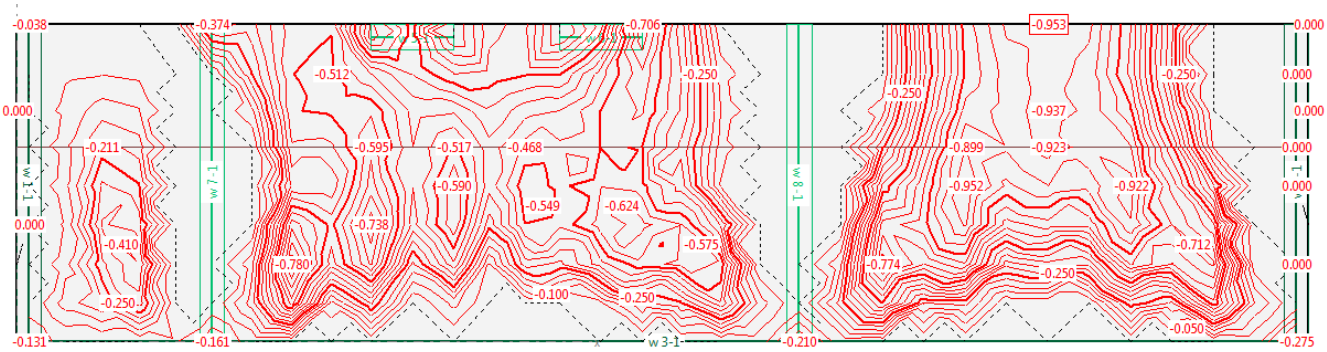
Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección y (mkN)



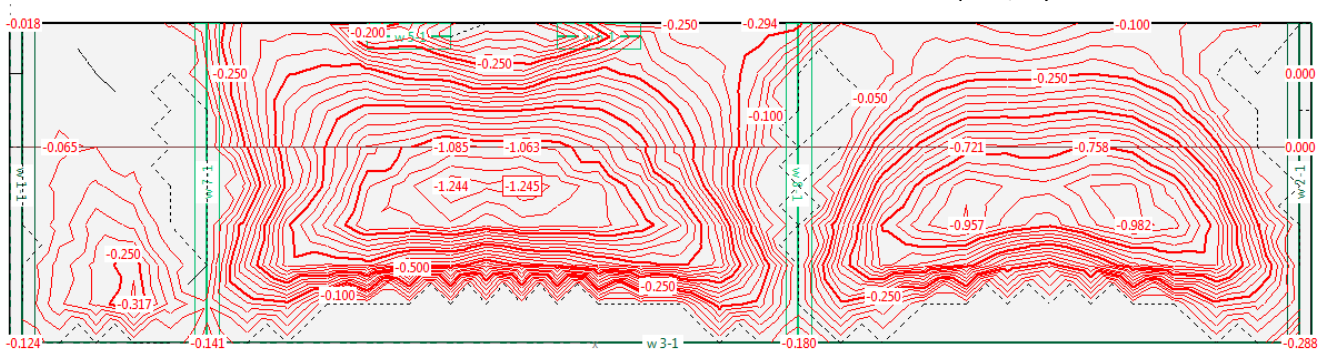
Momentos flectores en cara interior del muro y dirección x (mkN)



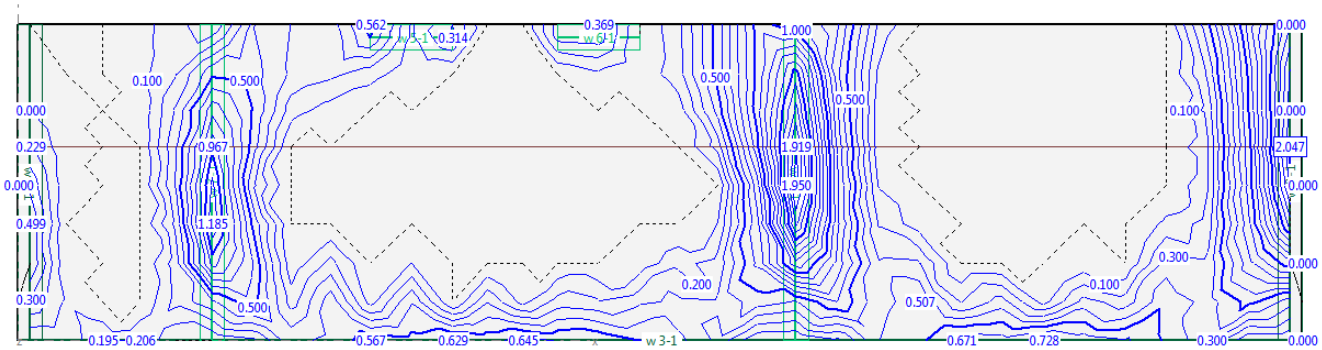
Momentos flectores en cara interior del muro y dirección y (mkN)



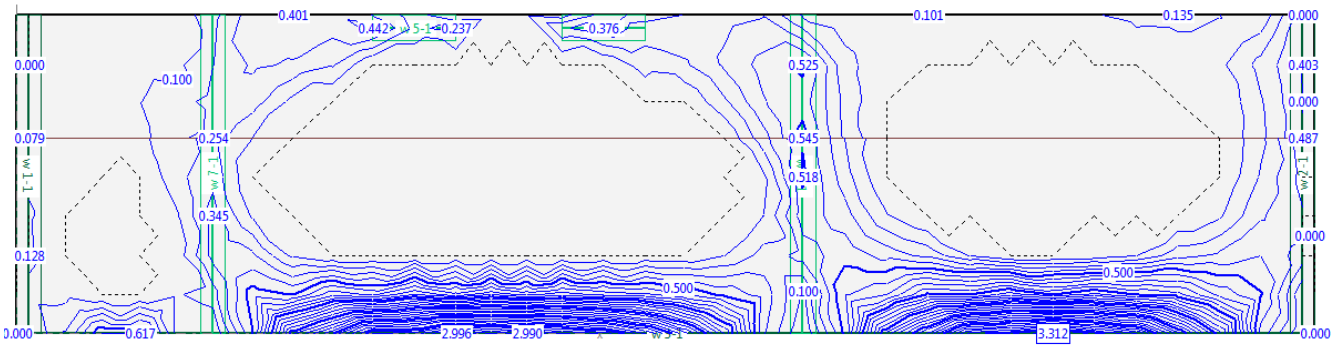
Armadura necesaria en cara exterior del muro en dirección x (cm^2/m)



Armadura necesaria en cara exterior del muro en dirección y (cm^2/m)



Armadura necesaria en cara interior del muro en dirección x (cm²/m)



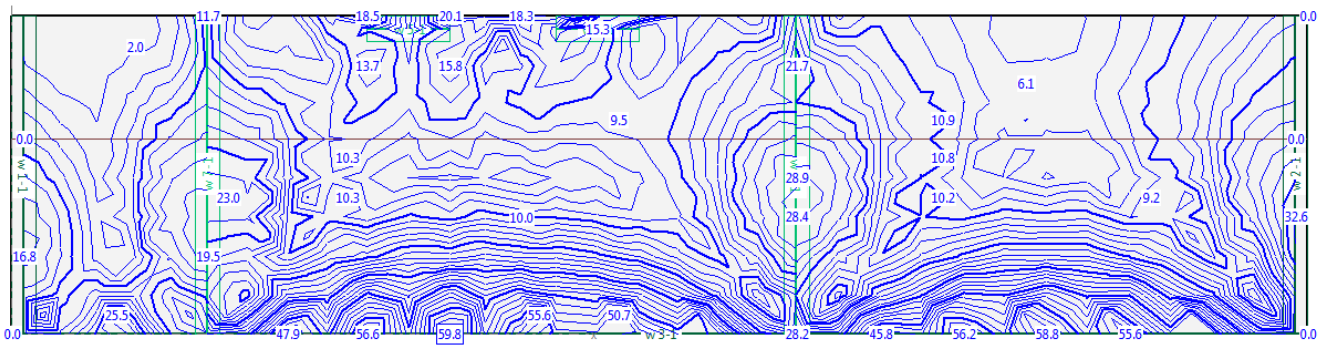
Armadura necesaria en cara interior del muro en dirección y (cm²/m)

Cómo se puede apreciar en las gráficas anteriores, el máximo momento flector en la zona existente del muro es Md = 37.1 mkN, y la armadura máxima necesaria es de 3.31 cm^2. La armadura existente es de **ø10/0.15 m en ambas caras y direcciones** (5.27 cm^2 por cara y dirección). Por lo tanto, la armadura en los muros existentes es suficiente para las solicitaciones pésimas de flexión.

En cuanto a la zona de recrecimiento, el máximo momento flector es Md = 23.1 mkN, y la armadura máxima necesaria es de 2.05 cm^2. Se dispone en los recrecimientos una armadura de **ø12/0.20 m en ambas caras y direcciones** (5.65 cm^2 por cara y dirección), suficiente para las solicitaciones pésimas de flexión obtenidas.

4.4.3 E.L.U. RASANTE

Para coser la junta existente entre la superficie de los muros existentes y la superficie de los recrecimientos proyectados, se proyectan unas conexiones con **2ø12/0.30 m** (7.53 cm^2/m). Estos conectores deben soportar el máximo rasante obtenido en la junta en el modelo. A continuación se representan las isolíneas de máximos esfuerzos cortantes:



Cómo puede apreciarse en la gráfica anterior, el máximo esfuerzo rasante en la junta es Vd = 24 kN/m. Por lo tanto, ζr,d = 24/(0.3*1.0) = 80 kN/m^2 = 0.08 MPa.

Se utiliza el Prontuario Informático del Hormigón EHE-08 para comprobar que ζr,d < ζr,u:

PRONTUARIO INFORMÁTICO DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL 3.1 SEGÚN EHE-08

Cátedra de Hormigón Estructural ETSICCPM - IECA

Obra: ETAP SOTO DEL REAL
Fecha: 18/12/2017
Hora: 12:17:41

Cálculo de juntas entre hormigones a rasante

1 Datos

- Materiales

```
Tipo de hormigón: HA-30
Tipo de acero:    B-500-S
fck [MPa] = 30.00
fyk [MPa] = 500.00
```

- Tipo de Sección

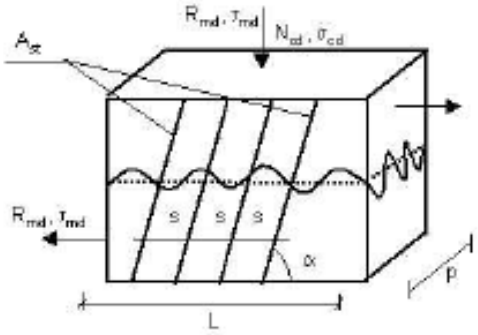
```
Con armadura transversal
```

- Rugosidad

```
β  = 0.20
μ  = 0.30
```

- Geometría

```
p [m] = 1.0
l [m] = 0.3
```



- Resto datos

```
Ángulo de las armaduras α                    = 90.0
Axil sobre la superficie de contacto Nd [kN] = 0.0
Tensión rasante de cálculo [MPa]             = 0.08
```

2 Comprobación

```
Ast,total [cm²]          = 7.53
s [cm]  [kN]             = 30
Rasante último Rmu [kN]  = 0.56
```

4.5 *ESTADO LÍMITE SERVICIO (E.L.S.)*

4.5.1 E.L.S. FISURACIÓN

Se incluyen a continuación los listados de la envolvente de cálculo utilizada para la verificación del E.L.S. de fisuración (combinación de acciones cuasi-permanente) incluida en el programa:

Especificación de envolventes: !ELS(cuasi-permanente)

Descripción
Situación de diseño estándar: ELS Estado límite servicio, combinación cuasi-permanente

Especificación de envolventes

Acción			Combinaciones de acciones	
No	Nombre	Fac	1	
1	Carga muerta	1	1	

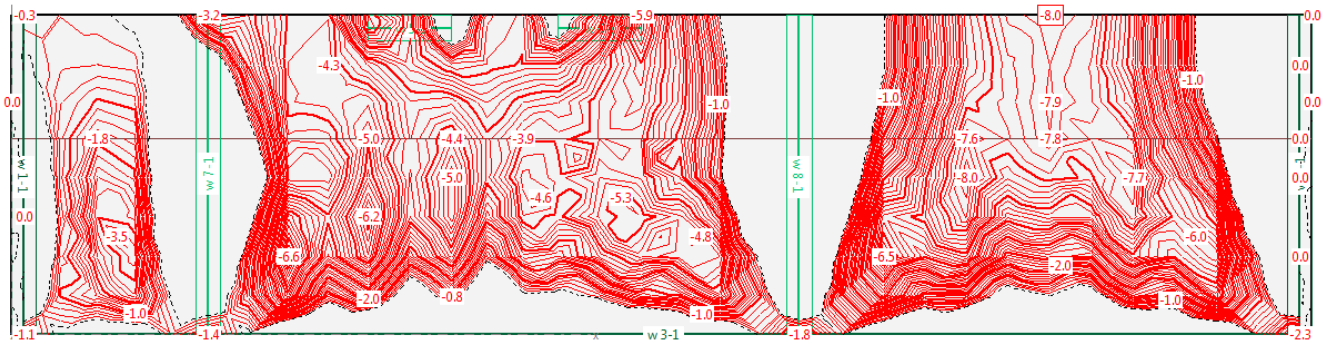
Fac : todos los factores de combinación son multiplicados por este factor

Superposiciones de hipótesis de carga para las acciones
para la especificación de envolventes !ELS(cuasi-permanente)

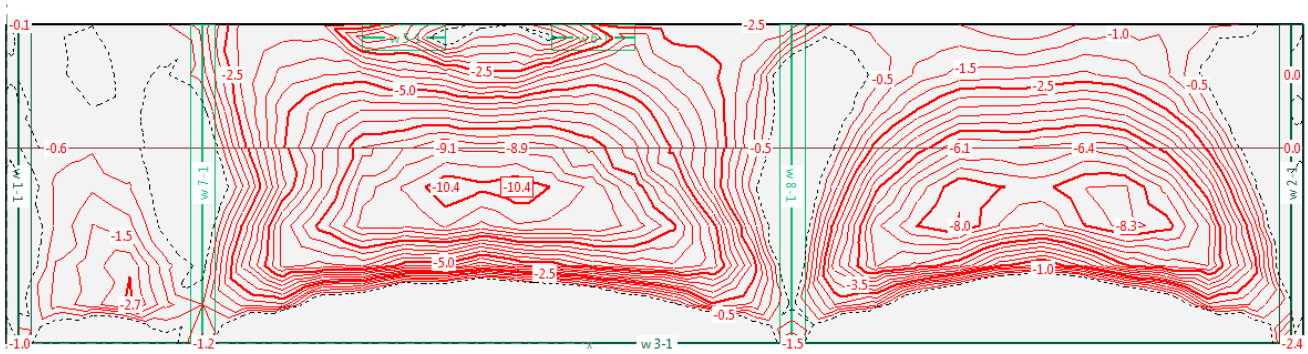
Acción	Alt	aditivo	excluyente	Hipótesis de carga	Factor	Comb.
Carga muerta		Permanente		CM Empuje hidrostático	1.000	

Alt : Superposición alternativa

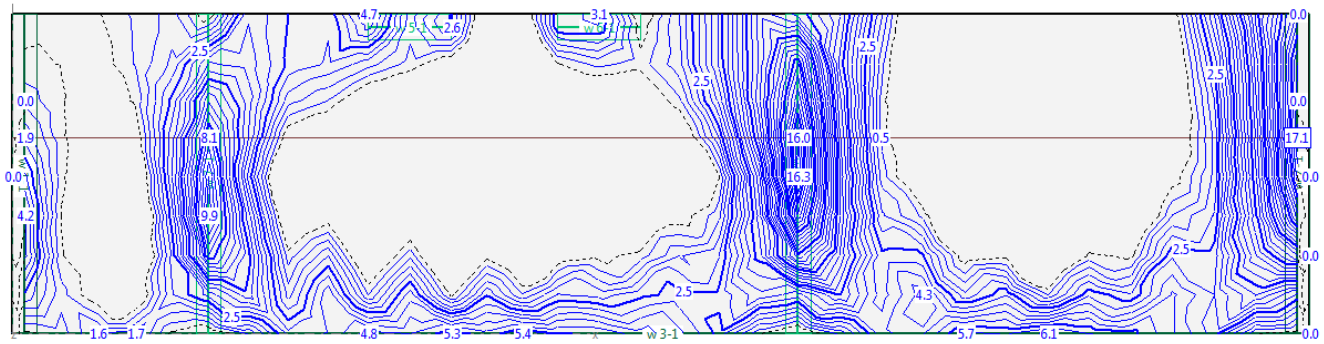
Se han obtenido las isolíneas de momentos flectores en toda la estructura. A continuación se representan dichas isolíneas de momentos flectores en ambas caras y direcciones:



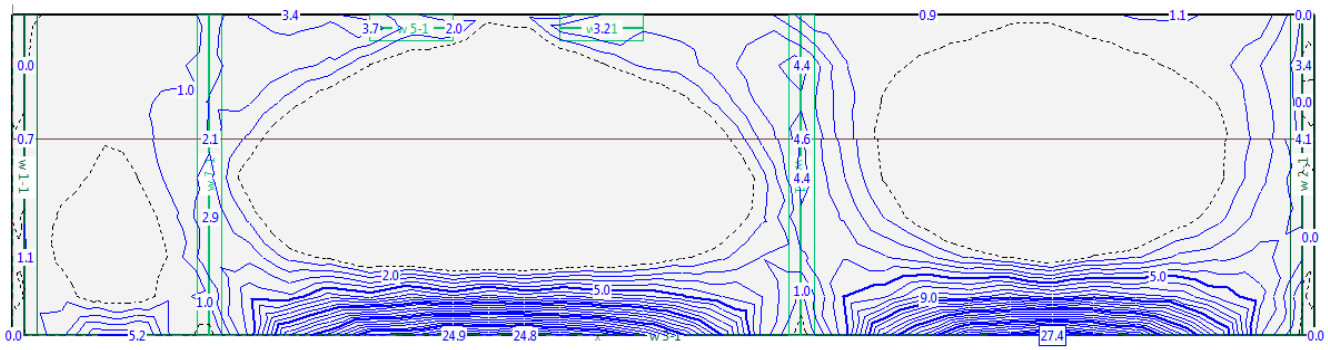
Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección x (mkN)



Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección y (mkN)



Momentos flectores en cara interior del muro y dirección x (mkN)



Momentos flectores en cara interior del muro y dirección y (mkN)

Cómo se puede apreciar en las gráficas anteriores, el máximo momento flector en la zona existente del muro es Mk = 27.4 mkN. En cuanto a la zona de recrecimiento, el máximo momento flector es Mk = 17.1 mkN.

Dado que el hormigón empleado es HA-30/B/20/IV+Qb, se tomará una apertura máxima de fisura wmáx = 0.1 mm. Se comprobará que wk < wmáx o que Mk < Mfis (en este último caso la estructura no fisura y wk = 0.0 mm).

A continuación se incluyen las hojas de cálculo utilizadas para realizar los cálculos de fisuración, para ambos casos, según la EHE-08, para comprobar que la armadura dispuesta en apartados anteriores es suficiente.

```
*************************************************
******** CALCULO A FISURACION EHE08 V4.0 *********
*************************************************

Título: ETAP SOTO DEL REAL
Fecha: 13/12/2017 9:43:01
Acciona Ingeniería

Hipótesis de cálculo
--------------------
Cálculos según Art. 49.2 y Anejo 8 de EHE08

Parámetros de fisuración adoptados
----------------------------------
Abertura característica máxima Wmáx = 0.200 mm
Coeficiente beta 1.70, K1 = 0.000, K2 = 0.50
Sección tipo viga plana, muro o losa

Sección de cálculo
------------------
Hormigón de resistencia característica fck = 30 N/mm² y E = 28577 N/mm²
Acero de límite elástico fyk = 500 N/mm² y Es = 200000 N/mm²
Sección rectangular de ancho 1.00 m y canto 0.300 m
Recubrimiento 35 mm y diámetro de la barra transvesal 10 mm
Armadura a tracción en capa exterior 5.50 cm², en capa interior 0.00 cm² y total 5.50 cm²
Diámetro equivalente = 0.0mm
Armadura a compresión 5.27 cm²
Canto útil considerado d = 0.250 m
Inercia bruta = 0.002250 m4 e Inercia fisurada =0.000191 m4
fctm,fl = 3.77 y Mfis = 56.5 mkN

Acciones consideradas
---------------------
Flexión simple con Mk = 27.4 mkN

Resultados del cálculo
----------------------
El momento de fisuración es superior al solicitante, Mfis > Mk, 56.5 mkN > 27.4 mkN
Abertura de fisura wk = 0.000 mm
```

```
*************************************************
******** CALCULO A FISURACION EHE08 V4.0 *********
*************************************************

Título: ETAP SOTO DEL REAL
Fecha: 13/12/2017 10:02:06
Acciona Ingeniería

Hipótesis de cálculo
--------------------
Cálculos según Art. 49.2 y Anejo 8 de EHE08

Parámetros de fisuración adoptados
----------------------------------
Abertura característica máxima Wmáx = 0.200 mm
Coeficiente beta 1.70, K1 = 0.000, K2 = 0.50
Sección tipo viga plana, muro o losa

Sección de cálculo
------------------
Hormigón de resistencia característica fck = 30 N/mm² y E = 28577 N/mm²
Acero de límite elástico fyk = 500 N/mm² y Es = 200000 N/mm²
Sección rectangular de ancho 1.00 m y canto 0.300 m
Recubrimiento 35 mm y diámetro de la barra transvesal 12 mm
Armadura a tracción en capa exterior 6.19 cm², en capa interior 0.00 cm² y total 6.19 cm²
Diámetro equivalente = 0.0mm
Armadura a compresión 5.65 cm²
Canto útil considerado d = 0.247 m
Inercia bruta = 0.002250 m4 e Inercia fisurada =0.000207 m4
fctm,fl = 3.77 y Mfis = 56.5 mkN

Acciones consideradas
---------------------
Flexión simple con Mk = 17.1 mkN

Resultados del cálculo
----------------------
El momento de fisuración es superior al solicitante, Mfis > Mk, 56.5 mkN > 17.1 mkN
Abertura de fisura wk = 0.000 mm
```

4.6 *CONCLUSIONES*

Los muros exteriores existentes en las cámaras de mezcla, floculación, depósitos de agua de lavado, aditivos y tratamiento, y espesamiento son los listados a continuación:

- 2 muros exteriores de 15.60 m de longitud, 0.50 m de espesor y 2.35 m de altura.
- 2 muros exteriores de 15.60 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.35 m de altura.
- 4 muros exteriores de 3.80 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.35 m de altura.

Todos estos muros exteriores existentes tienen una **armadura vertical de ø10/0.15 m en ambas caras y una armadura horizontal de ø10/0.15 m en ambas caras**.

Se ha comprobado en apartados anteriores que esta armadura es suficiente para las solicitaciones en ELU y ELS consideradas.

Se proyecta el recrecimiento de todos estos muros conectando a los muros existentes unos nuevos muros de 0.30 m de espesor y 1.47 m de altura, para obtener, finalmente, muros de 3.82 m de altura.

De los cálculos realizados se ha obtenido una **armadura vertical de ø12/0.20 m en ambas caras y una armadura horizontal de ø12/0.20 m en ambas caras** para dichos recrecimientos.

Finalmente, para coser la junta existente entre la superficie de los muros existentes y la superficie de los recrecimientos proyectados, se proyectan unas conexiones con **2ø12/0.30 m**.

5. CÁLCULO DE LOS MUROS EXTERIORES EN CÁMARAS DE DECANTACIÓN LAMELAR

5.1 *PROGRAMA DE CÁLCULO EMPLEADO*

Para el análisis de los muros exteriores en cámaras de decantación lamelar y soplantes, se ha utilizado el programa CEDRUS-7 de CUBUS AG, descrito en el apartado 2.5.1 del presente Anejo de Cálculos Estructurales.

5.2 *MODELO DE ENTRADA*

Se trata en el presente apartado de realizar la comprobación estructural de los muros exteriores existentes en las cámaras anteriormente mencionadas, así como el dimensionamiento estructural del recrecimiento proyectado para dichos muros exteriores.

Los muros exteriores existentes en las cámaras de decantación lamelar y soplantes son los listados a continuación:

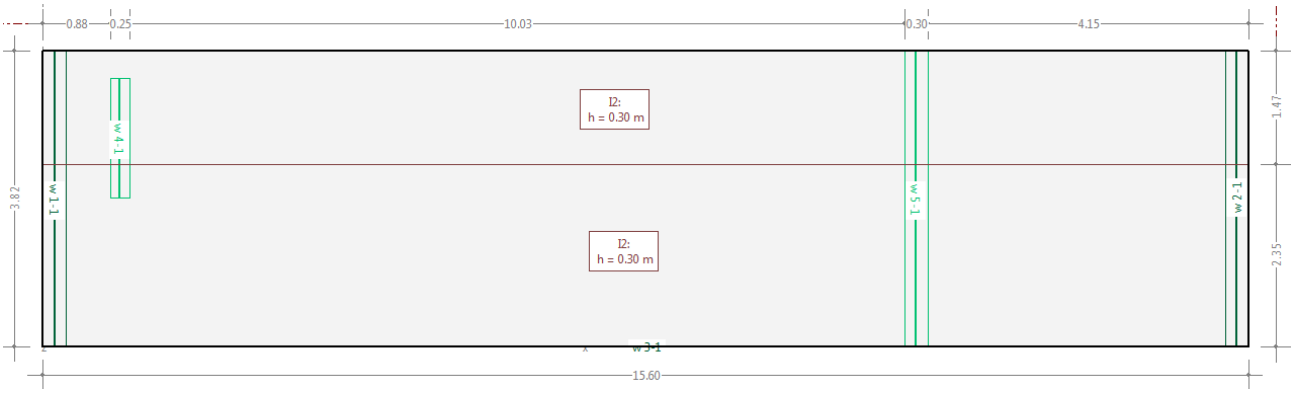
- 2 muros exteriores de 15.60 m de longitud, 0.50 m de espesor y 2.35 m de altura.
- 2 muros exteriores de 15.60 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.35 m de altura.
- 4 muros exteriores de 3.80 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.35 m de altura.

Todos estos muros exteriores existentes tienen una armadura vertical de ø10/0.15 m en ambas caras y una armadura horizontal de ø10/0.15 m en ambas caras.

Se proyecta el recrecimiento de todos estos muros conectando a los muros existentes unos nuevos muros de 0.30 m de espesor y 1.47 m de altura, para obtener, finalmente, muros de 3.82 m de altura.

Se realiza la comprobación de la armadura existente y el diseño de los recrecimientos mediante un único modelo con la situación más desfavorable: muro de 15.60 m de longitud, 0.30 m de espesor y altura total de 3.82 m (2.35 m + recrecimiento de 1.47 m).

A continuación se presenta de forma gráfica la geometría del modelo (contorno del muro, apoyos, y arriostramientos mediante muros interiores):



Los listados de entrada de la estructura calculada son los siguientes:

DATOS de la ESTRUCTURA

MATERIALES Código: EHE-08. Instr.Hormigón Estruct.

ID	Tipo	Elemento	E [kN/mm²]	ν	ρ [t/m³]	α [‰]	Clase	f [N/mm²]	
C	Hormigón	(general)	28.50	0.20	2.50	0.010	H300	-30.00	f_{ck}
R	Acero para armadu	(general)	200.00	0.30	8.00	0.012	AEH500	500.00	f_{yk}

ETIQUETAS DE MATERIAL: Recubrimiento de la armadura base

Id	Recubrimiento de la armadura				Armadura base			
	u_{XT} [cm]	u_{YT} [cm]	u_{XB} [cm]	u_{YB} [cm]	as_{XT} [cm²/m]	as_{YT} [cm²/m]	as_{XB} [cm²/m]	as_{YB} [cm²/m]
I2	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-	-	-
I2	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-	-	-

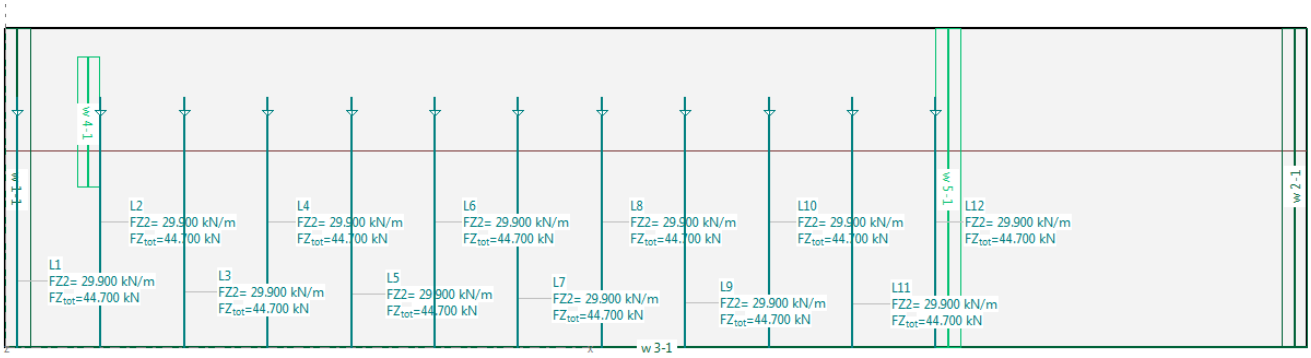
PAREDES

Id	Tipo		Apoyos			Geometría		Materiales		
	Descripción	N.Lin.	sdz [kN/m²]	srx [kN]	sry [kN]	Ancho [m]	Altura [m]	$f_{E\ sdz}$	Cuerpo	Armaduras
W1	general	No	empotrado	empotrado	empotrado	0.30	10.00	1.000	C	R
W2	general	No	empotrado	empotrado	empotrado	0.30	10.00	1.000	C	R
W3	general	No	empotrado	empotrado	empotrado	0.30	10.00	1.000	C	R
W4	Rot. libre	No	empotrado	libre	libre	0.25	3.80	1.000	C	R
W5	Rot. libre	No	empotrado	libre	libre	0.30	3.80	1.000	C	R

5.3 *CARGAS CONSIDERADAS EN EL MODELO*

Se estudia el comportamiento del muro considerando una presión hidrostática máxima sobre el mismo. La cota de coronación del muro es la 1033.97 y la cota máxima de agua en las cámaras consideradas es la 1033.14, es decir 0.83 m por debajo de la coronación del muro.

Se muestra a continuación la entrada gráfica de dicha carga en el modelo:



5.4 *ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U.)*

5.4.1 ENVOLVENTE DE CÁLCULO

Se incluyen a continuación los listados de la envolvente de cálculo E.L.U. incluida en el programa:

Especificación de envolventes: !ELU

Especificación de envolventes

Acción			Combinaciones de acciones		
No	Nombre	Fac	1	2	
1	Carga muerta	1	1.35	1	

Fac : todos los factores de combinación son multiplicados por este factor

Superposiciones de hipótesis de carga para las acciones

para la especificación de envolventes !ELU

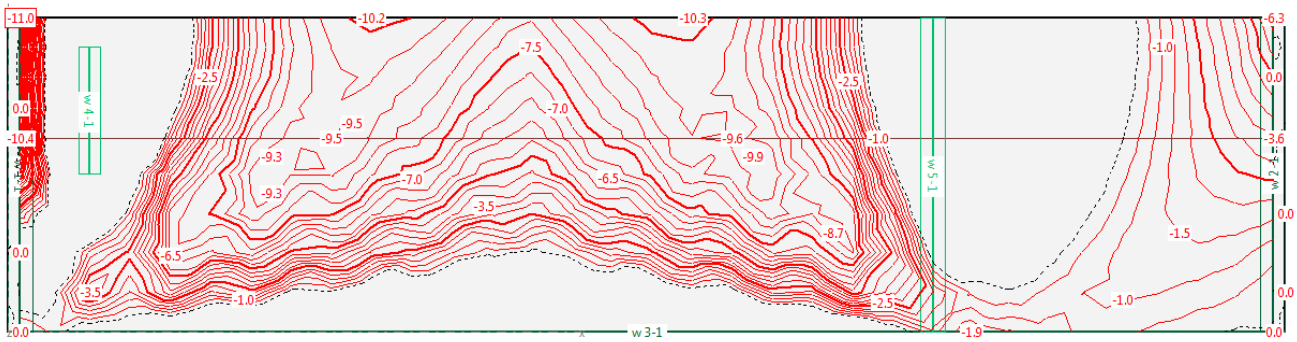
Acción	Alt	aditivo	excluyente	Hipótesis de carga	Factor	Comb.
Carga muerta		Permanente		CM Empuje hidrostático	1.000	

Alt : Superposición alternativa

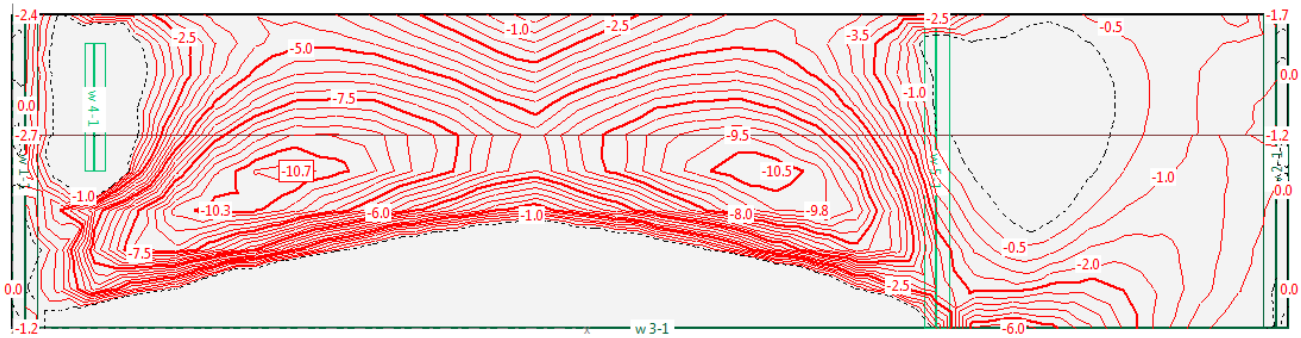
5.4.2 E.L.U. FLEXIÓN

Se han obtenido las isolíneas de momentos flectores en toda la estructura. Con dichas isolíneas, el programa CEDRUS-7, ayudado por su post-procesador seccional FAGUS-7, ha calculado la armadura necesaria en cada zona.

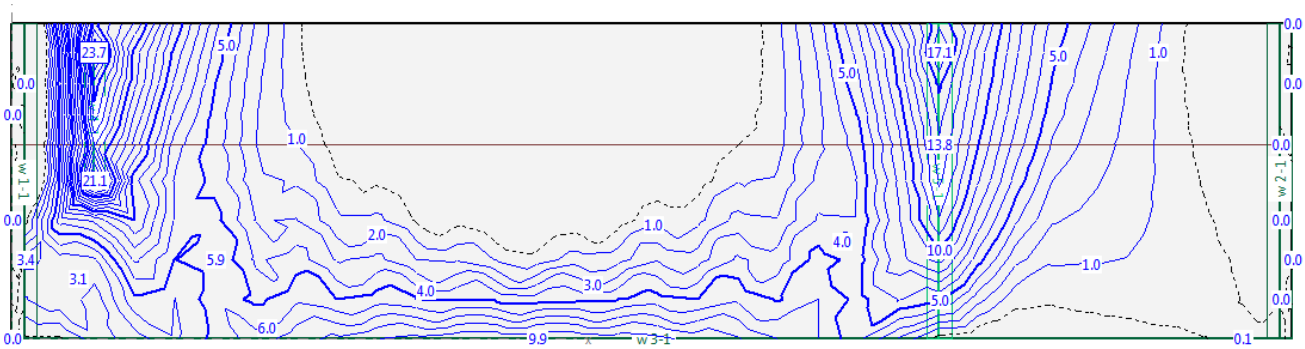
A continuación se representan tanto las isolíneas de momentos flectores como las armaduras necesarias obtenidas, en ambas caras y direcciones:



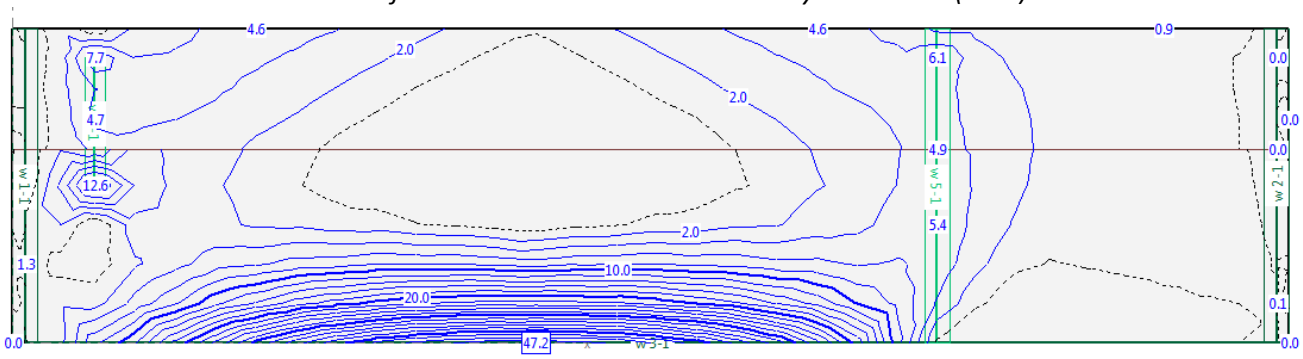
Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección x (mkN)



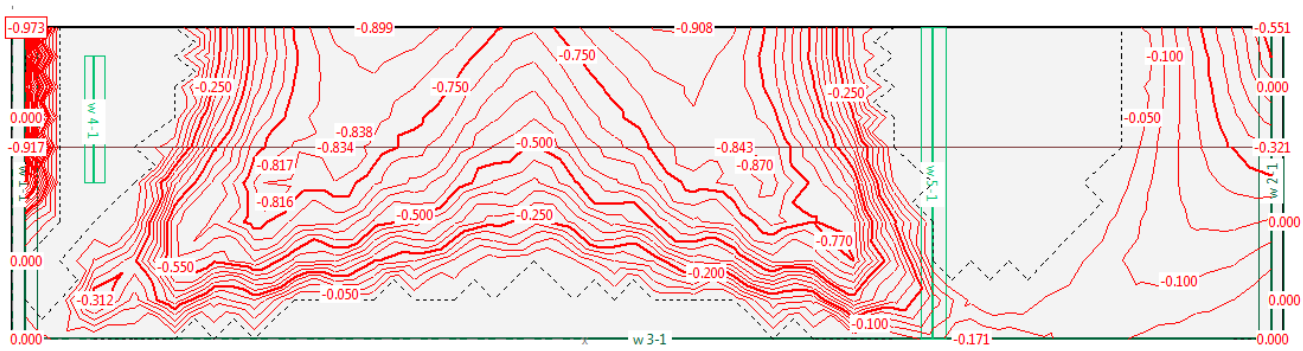
Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección y (mkN)



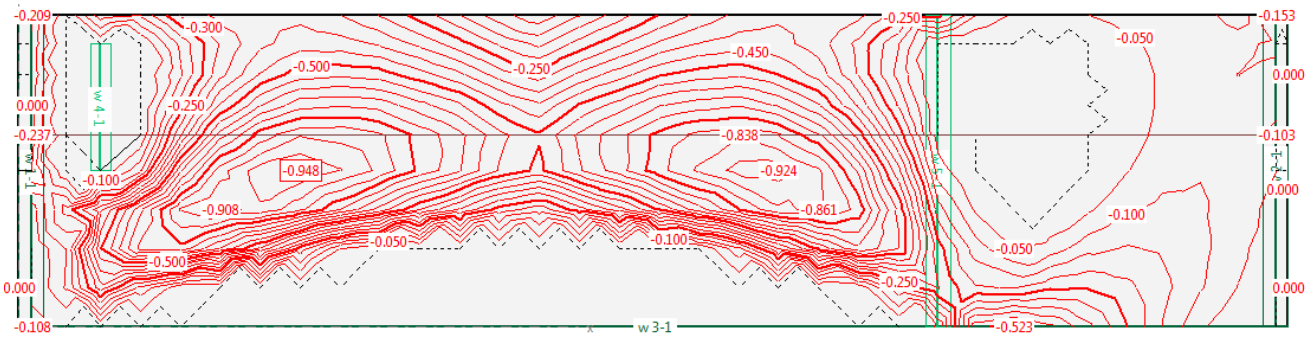
Momentos flectores en cara interior del muro y dirección x (mkN)



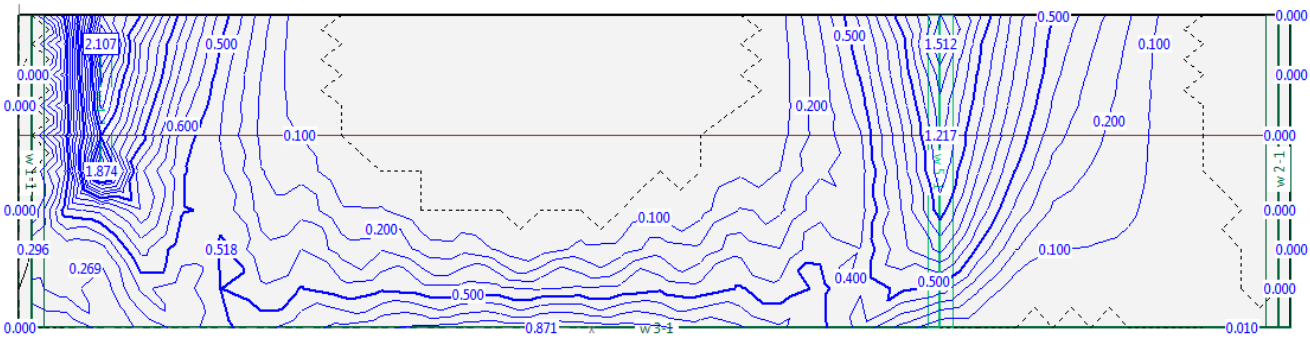
Momentos flectores en cara interior del muro y dirección y (mkN)



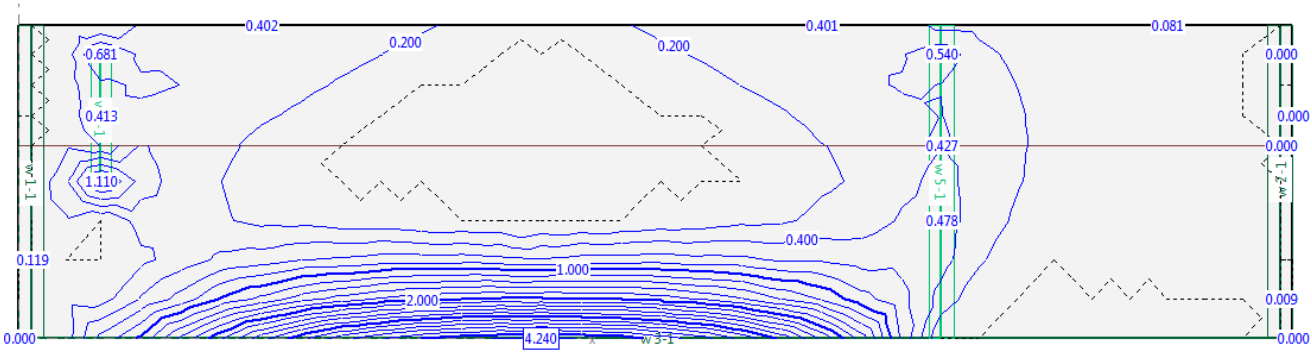
Armadura necesaria en cara exterior del muro en dirección x (cm^2/m)



Armadura necesaria en cara exterior del muro en dirección y (cm^2/m)



Armadura necesaria en cara interior del muro en dirección x (cm²/m)



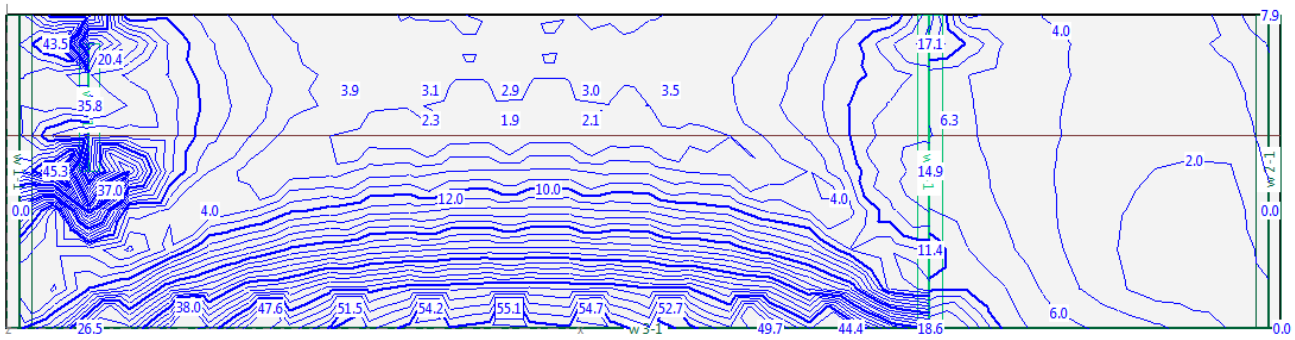
Armadura necesaria en cara interior del muro en dirección y (cm²/m)

Cómo se puede apreciar en las gráficas anteriores, el máximo momento flector en la zona existente del muro es Md = 47.2 mkN, y la armadura máxima necesaria es de 4.24 cm². La armadura existente es de **ø10/0.15 m en ambas caras y direcciones** (5.27 cm² por cara y dirección). Por lo tanto, la armadura en los muros existentes es suficiente para las solicitaciones pésimas de flexión.

En cuanto a la zona de recrecimiento, el máximo momento flector es Md = 23.7 mkN, y la armadura máxima necesaria es de 2.11 cm². Se dispone en los recrecimientos una armadura de **ø12/0.20 m en ambas caras y direcciones** (5.65 cm² por cara y dirección), suficiente para las solicitaciones pésimas de flexión obtenidas.

5.4.3 E.L.U. RASANTE

Para coser la junta existente entre la superficie de los muros existentes y la superficie de los recrecimientos proyectados, se proyectan unas conexiones con **2ø12/0.30 m** (7.53 cm²/m). Estos conectores deben soportar el máximo rasante obtenido en la junta en el modelo. A continuación se representan las isolíneas de máximos esfuerzos cortantes:



Cómo puede apreciarse en la gráfica anterior, el máximo esfuerzo rasante en la junta es Vd = 45 kN/m. Por lo tanto, ζr,d = 45/(0.3*1.0) = 150 kN/m^2 = 0.15 MPa.

Se utiliza el Prontuario Informático del Hormigón EHE-08 para comprobar que ζr,d < ζr,u:

PRONTUARIO INFORMÁTICO DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL 3.1 SEGÚN EHE-08

Cátedra de Hormigón Estructural ETSICCPM - IECA

Obra: ETAP SOTO DEL REAL
Fecha: 18/12/2017
Hora: 13:50:28

Cálculo de juntas entre hormigones a rasante

1 Datos

- Materiales

```
Tipo de hormigón: HA-30
Tipo de acero:    B-500-S
fck [MPa] = 30.00
fyk [MPa] = 500.00
```

- Tipo de Sección

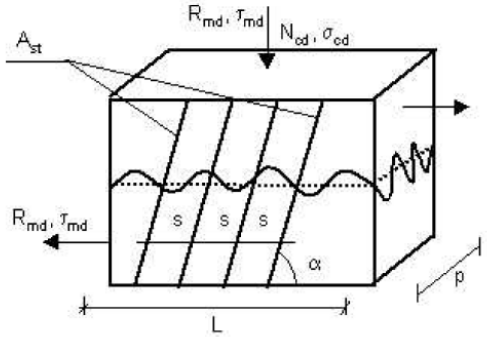
```
Con armadura transversal
```

- Rugosidad

```
β  = 0.20
μ  = 0.30
```

- Geometría

```
p [m] = 1.0
l [m] = 0.3
```



- Resto datos

```
Ángulo de las armaduras α                    = 90.0
Axil sobre la superficie de contacto Nd [kN] = 0.0
Tensión rasante de cálculo [MPa]             = 0.15
```

2 Comprobación

```
Ast,total [cm²]              = 7.53
s [cm]  [kN]                 = 30
Rasante último Rmu [kN]      = 0.56
```

5.5 *ESTADO LÍMITE SERVICIO (E.L.S.)*

5.5.1 E.L.S. FISURACIÓN

Se incluyen a continuación los listados de la envolvente de cálculo utilizada para la verificación del E.L.S. de fisuración (combinación de acciones cuasi-permanente) incluida en el programa:

Especificación de envolventes: !ELS(cuasi-permanente)

Descripción
Situación de diseño estándar: ELS Estado límite servicio, combinación cuasi-permanente

Especificación de envolventes

Acción			Combinaciones de acciones	
No	Nombre	Fac	1	
1	Carga muerta	1	1	

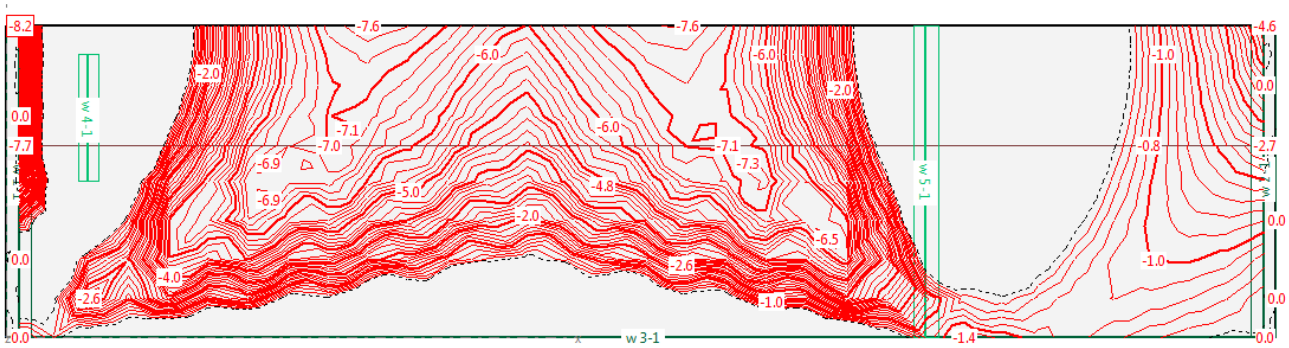
Fac : todos los factores de combinación son multiplicados por este factor

Superposiciones de hipótesis de carga para las acciones
para la especificación de envolventes !ELS(cuasi-permanente)

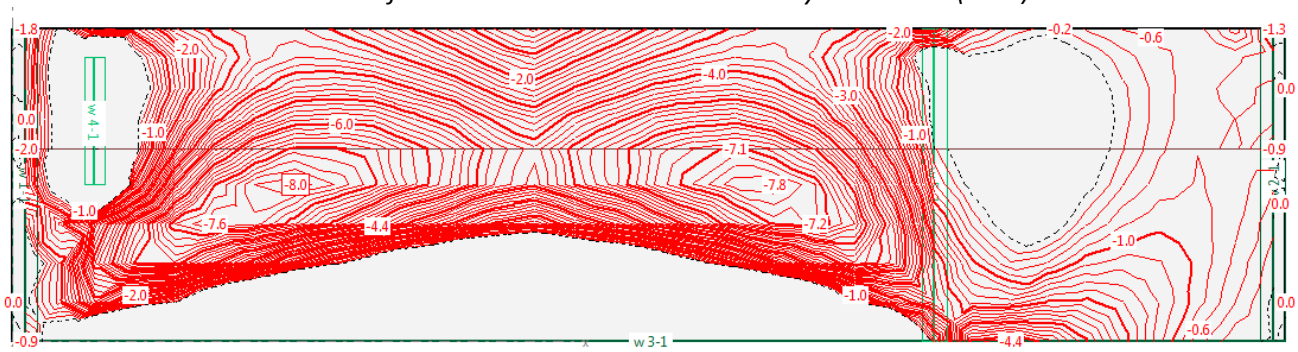
Acción	Alt	aditivo	excluyente	Hipótesis de carga	Factor	Comb.
Carga muerta		Permanente		CM Empuje hidrostático	1.000	

Alt : Superposición alternativa

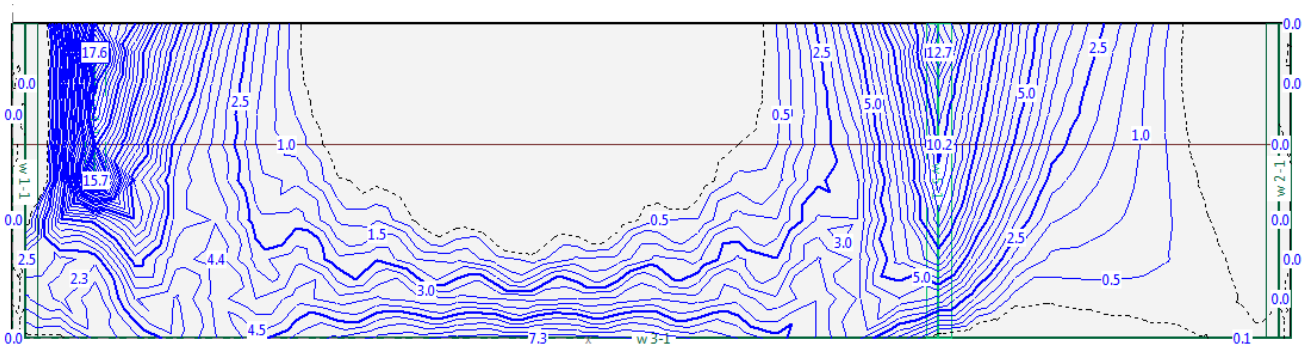
Se han obtenido las isolíneas de momentos flectores en toda la estructura. A continuación se representan dichas isolíneas de momentos flectores en ambas caras y direcciones:



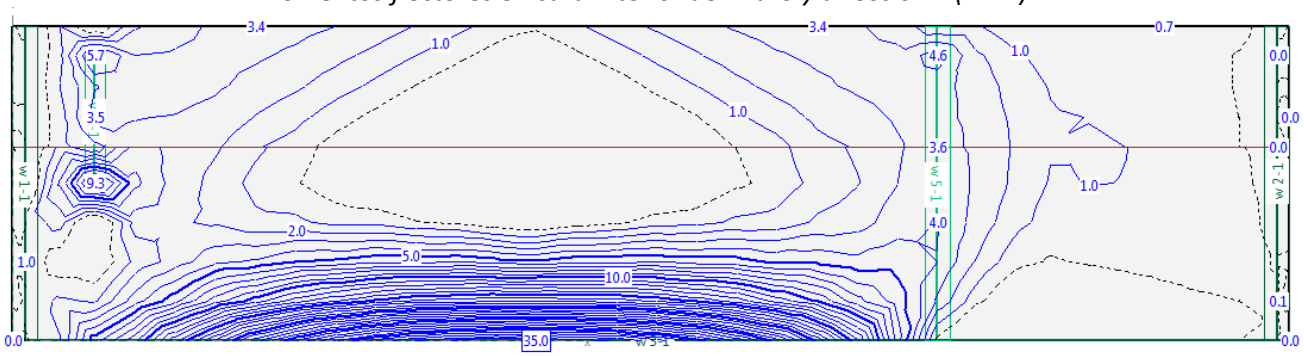
Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección x (mkN)



Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección y (mkN)



Momentos flectores en cara interior del muro y dirección x (mkN)



Momentos flectores en cara interior del muro y dirección y (mkN)

Cómo se puede apreciar en las gráficas anteriores, el máximo momento flector en la zona existente del muro es Mk = 35.0 mkN. En cuanto a la zona de recrecimiento, el máximo momento flector es Mk = 17.6 mkN.

Dado que el hormigón empleado es HA-30/B/20/IV+Qb, se tomará una apertura máxima de fisura wmáx = 0.1 mm. Se comprobará que wk < wmáx o que Mk < Mfis (en este último caso la estructura no fisura y wk = 0.0 mm).

A continuación se incluyen las hojas de cálculo utilizadas para realizar los cálculos de fisuración, para ambos casos, según la EHE-08, para comprobar que la armadura dispuesta en apartados anteriores es suficiente.

```
*************************************************
******** CALCULO A FISURACION EHE08 V4.0 *********
*************************************************

Título: ETAP SOTO DEL REAL
Fecha: 13/12/2017 11:01:36
Acciona Ingeniería

Hipótesis de cálculo
--------------------
Cálculos según Art. 49.2 y Anejo 8 de EHE08

Parámetros de fisuración adoptados
----------------------------------
Abertura característica máxima Wmáx = 0.200 mm
Coeficiente beta 1.70, K1 = 0.000, K2 = 0.50
Sección tipo viga plana, muro o losa

Sección de cálculo
------------------
Hormigón de resistencia característica fck = 30 N/mm² y E = 28577 N/mm²
Acero de límite elástico fyk = 500 N/mm² y Es = 200000 N/mm²
Sección rectangular de ancho 1.00 m y canto 0.300 m
Recubrimiento 35 mm y diámetro de la barra transvesal 10 mm
Armadura a tracción en capa exterior 5.50 cm², en capa interior 0.00 cm² y total 5.50 cm²
Diámetro equivalente = 0.0mm
Armadura a compresión 5.27 cm²
Canto útil considerado d = 0.250 m
Inercia bruta = 0.002250 m4 e Inercia fisurada =0.000191 m4
fctm,fl = 3.77 y Mfis = 56.5 mkN

Acciones consideradas
---------------------
Flexión simple con Mk = 35.0 mkN

Resultados del cálculo
----------------------
El momento de fisuración es superior al solicitante, Mfis > Mk, 56.5 mkN > 35.0 mkN
Abertura de fisura wk = 0.000 mm
```

```
*************************************************
******** CALCULO A FISURACION EHE08 V4.0 *********
*************************************************

Título: ETAP SOTO DEL REAL
Fecha: 13/12/2017 12:29:51
Acciona Ingeniería

Hipótesis de cálculo
--------------------
Cálculos según Art. 49.2 y Anejo 8 de EHE08

Parámetros de fisuración adoptados
----------------------------------
Abertura característica máxima Wmáx = 0.200 mm
Coeficiente beta 1.70, K1 = 0.000, K2 = 0.50
Sección tipo viga plana, muro o losa

Sección de cálculo
------------------
Hormigón de resistencia característica fck = 30 N/mm² y E = 28577 N/mm²
Acero de límite elástico fyk = 500 N/mm² y Es = 200000 N/mm²
Sección rectangular de ancho 1.00 m y canto 0.300 m
Recubrimiento 35 mm y diámetro de la barra transvesal 12 mm
Armadura a tracción en capa exterior 6.19 cm², en capa interior 0.00 cm² y total 6.19 cm²
Diámetro equivalente = 0.0mm
Armadura a compresión 5.65 cm²
Canto útil considerado d = 0.247 m
Inercia bruta = 0.002250 m4 e Inercia fisurada =0.000207 m4
fctm,fl = 3.77 y Mfis = 56.5 mkN

Acciones consideradas
---------------------
Flexión simple con Mk = 17.6 mkN

Resultados del cálculo
----------------------
El momento de fisuración es superior al solicitante, Mfis > Mk, 56.5 mkN > 17.6 mkN
Abertura de fisura wk = 0.000 mm
```

5.6 *CONCLUSIONES*

Los muros exteriores existentes en las cámaras de decantación lamelar y soplantes son los listados a continuación:

- 2 muros exteriores de 15.60 m de longitud, 0.50 m de espesor y 2.35 m de altura.
- 2 muros exteriores de 15.60 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.35 m de altura.
- 4 muros exteriores de 3.80 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.35 m de altura.

Todos estos muros exteriores existentes tienen una **armadura vertical de ø10/0.15 m en ambas caras y una armadura horizontal de ø10/0.15 m en ambas caras**.

Se ha comprobado en apartados anteriores que esta armadura es suficiente para las solicitaciones en ELU y ELS consideradas.

Se proyecta el recrecimiento de todos estos muros conectando a los muros existentes unos nuevos muros de 0.30 m de espesor y 1.47 m de altura, para obtener, finalmente, muros de 3.82 m de altura.

De los cálculos realizados se ha obtenido una **armadura vertical de ø12/0.20 m en ambas caras y una armadura horizontal de ø12/0.20 m en ambas caras** para dichos recrecimientos.

Finalmente, para coser la junta existente entre la superficie de los muros existentes y la superficie de los recrecimientos proyectados, se proyectan unas conexiones con **2ø12/0.30 m**.

6. CÁLCULO DE LOS MUROS EXTERIORES EN CÁMARAS DE FILTRACIÓN

6.1 *PROGRAMA DE CÁLCULO EMPLEADO*

Para el análisis de los muros exteriores en cámaras de filtración, se ha utilizado el programa CEDRUS-7 de CUBUS AG, descrito en el apartado 2.5.1 del presente Anejo de Cálculos Estructurales.

6.2 *MODELO DE ENTRADA*

Se trata en el presente apartado de realizar la comprobación estructural de los muros exteriores existentes en las cámaras anteriormente mencionadas, así como el dimensionamiento estructural del recrecimiento proyectado para dichos muros exteriores.

Los muros exteriores existentes en las cámaras de filtración son los listados a continuación:

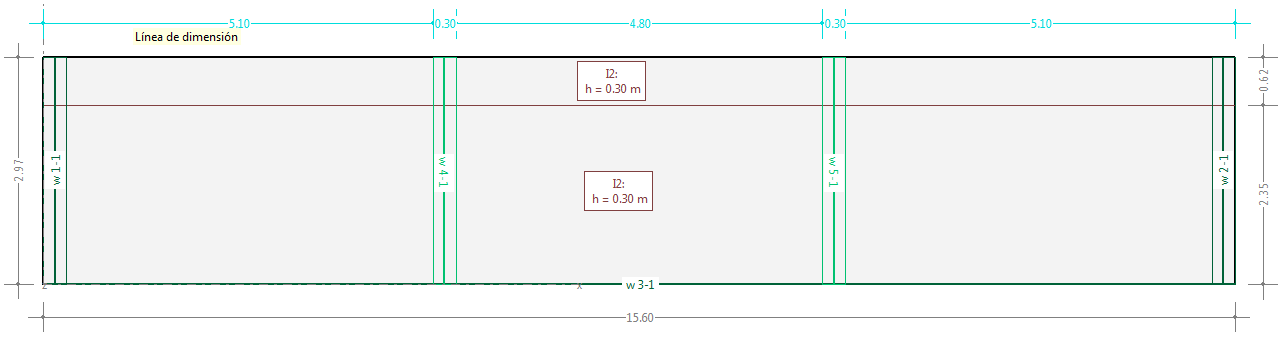
- 2 muros exteriores de 15.60 m de longitud, 0.50 m de espesor y 2.35 m de altura.
- 2 muros exteriores de 15.60 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.35 m de altura.
- 4 muros exteriores de 3.80 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.35 m de altura.

Todos estos muros exteriores existentes tienen una armadura vertical de ø10/0.15 m en ambas caras y una armadura horizontal de ø10/0.15 m en ambas caras.

Se proyecta el recrecimiento de todos estos muros conectando a los muros existentes unos nuevos muros de 0.30 m de espesor y 0.62 m de altura, para obtener, finalmente, muros de 2.97 m de altura.

Se realiza la comprobación de la armadura existente y el diseño de los recrecimientos mediante un único modelo con la situación más desfavorable: muro de 15.60 m de longitud, 0.30 m de espesor y altura total de 2.97 m (2.35 m + recrecimiento de 0.62 m).

A continuación se presenta de forma gráfica la geometría del modelo (contorno del muro, apoyos, y arriostramientos mediante muros interiores):



Los listados de entrada de la estructura calculada son los siguientes:

DATOS de la ESTRUCTURA

MATERIALES Código: EHE-08. Instr.Hormigón Estruct.

ID	Tipo	Elemento	E [kN/mm²]	ν	ρ [t/m³]	α [‰]	Clase	f [N/mm²]	
C	Hormigón	(general)	28.50	0.20	2.50	0.010	H300	-30.00	f_{ck}
R	Acero para armadu	(general)	200.00	0.30	8.00	0.012	AEH500	500.00	f_{yk}

ETIQUETAS DE MATERIAL: Recubrimiento de la armadura base

Id	Recubrimiento de la armadura				Armadura base			
	u_{XT} [cm]	u_{YT} [cm]	u_{XB} [cm]	u_{YB} [cm]	as_{XT} [cm²/m]	as_{YT} [cm²/m]	as_{XB} [cm²/m]	as_{YB} [cm²/m]
I2	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-	-	-
I2	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-	-	-

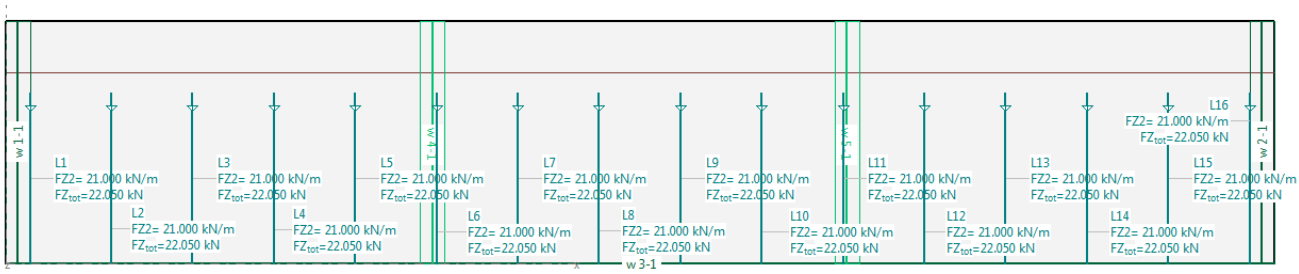
PAREDES

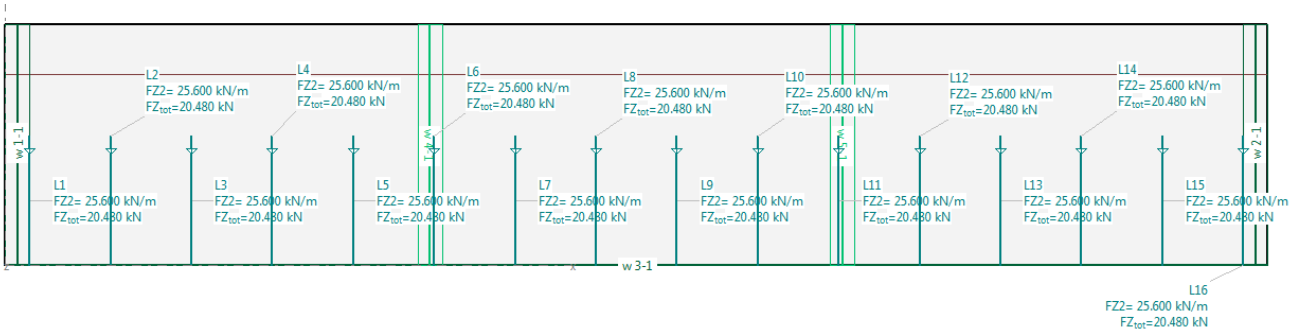
Id	Tipo		Apoyos			Geometría		Materiales		
	Descripción	N.Lin.	sdz [kN/m²]	srx [kN]	sry [kN]	Ancho [m]	Altura [m]	$f_{E\ sdz}$	Cuerpo	Armaduras
W1	general	No	empotrado	empotrado	empotrado	0.30	10.00	1.000	C	R
W2	general	No	empotrado	empotrado	empotrado	0.30	10.00	1.000	C	R
W3	general	No	empotrado	empotrado	empotrado	0.30	10.00	1.000	C	R
W4	Rot. libre	No	empotrado	libre	libre	0.30	3.80	1.000	C	R
W5	Rot. libre	No	empotrado	libre	libre	0.30	3.80	1.000	C	R

6.3 *CARGAS CONSIDERADAS EN EL MODELO*

Se estudia el comportamiento del muro considerando una presión hidrostática máxima sobre el mismo, y una presión máxima debida a la arenas de los filtros. La cota de coronación del muro es la 1033.09, la cota máxima de agua en las cámaras consideradas es la 1032.22, es decir 0.87 m por debajo de la coronación del muro, y la cota máxima de arenas saturadas es la 1031.72, es decir 1.37 m por debajo de la coronación del muro.

Se muestra a continuación la entrada gráfica de dichas cargas en el modelo (presión hidrostática y presión de arenas):





6.4 *ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U.)*

6.4.1 ENVOLVENTE DE CÁLCULO

Se incluyen a continuación los listados de la envolvente de cálculo E.L.U. incluida en el programa:

Especificación de envolventes: !ELU

Especificación de envolventes

Acción			Combinaciones de acciones		
No	Nombre	Fac	1	2	
1	Carga muerta	1	1.35	1	

Fac : todos los factores de combinación son multiplicados por este factor

Superposiciones de hipótesis de carga para las acciones

para la especificación de envolventes !ELU

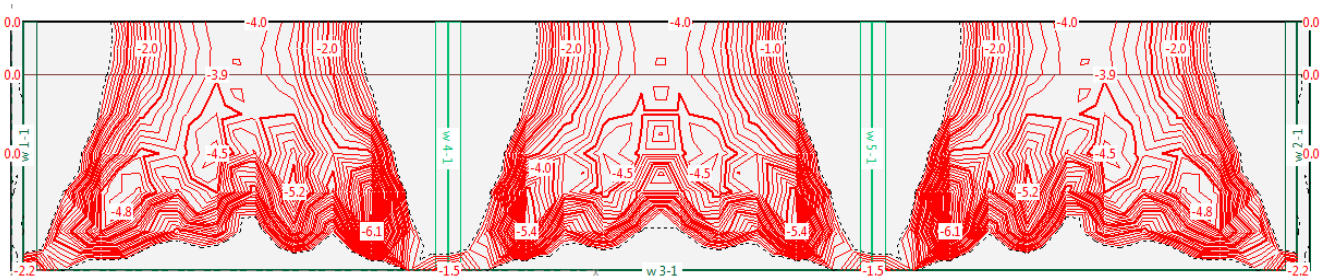
Acción	Alt	aditivo	excluyente	Hipótesis de carga	Factor	Comb.
Carga muerta		Permanente		CM1 Empuje hidrostático	1.000	
		Permanente		CM2 Empuje arenas	1.000	

Alt : Superposición alternativa

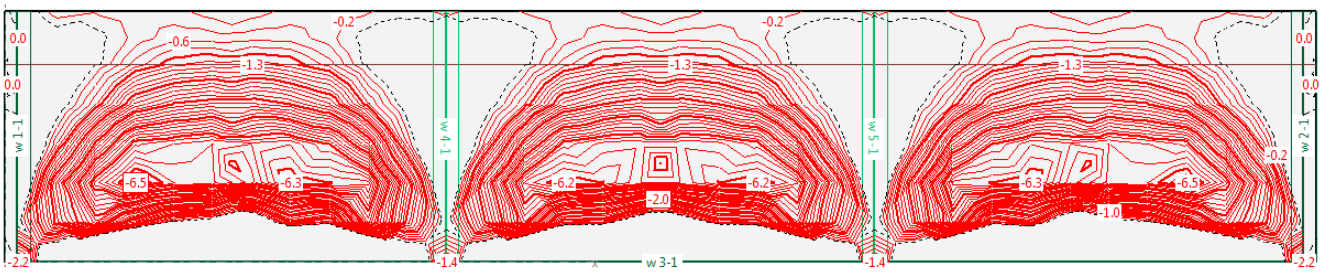
6.4.2 E.L.U. FLEXIÓN

Se han obtenido las isolíneas de momentos flectores en toda la estructura. Con dichas isolíneas, el programa CEDRUS-7, ayudado por su post-procesador seccional FAGUS-7, ha calculado la armadura necesaria en cada zona.

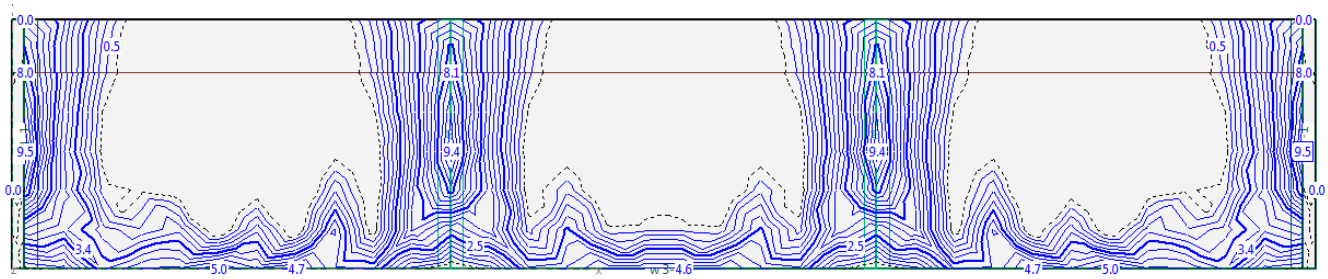
A continuación se representan tanto las isolíneas de momentos flectores como las armaduras necesarias obtenidas, en ambas caras y direcciones:



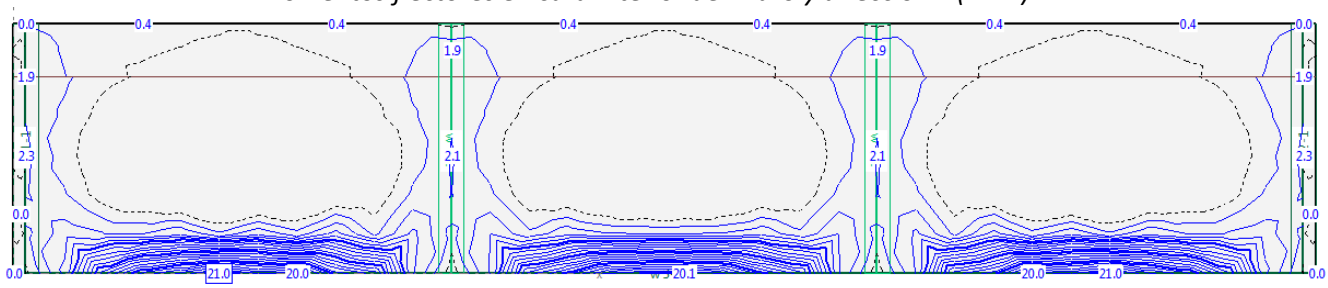
Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección x (mkN)



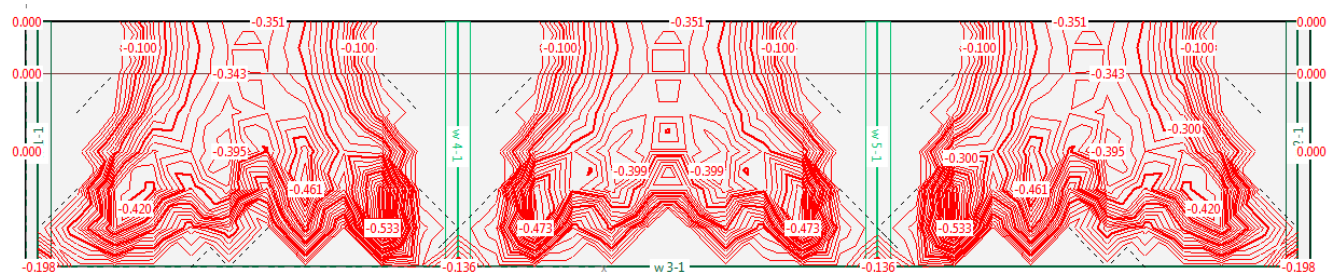
Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección y (mkN)



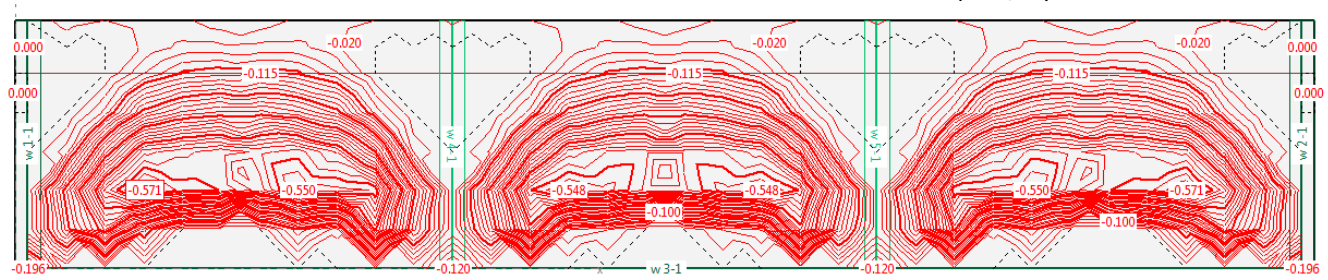
Momentos flectores en cara interior del muro y dirección x (mkN)



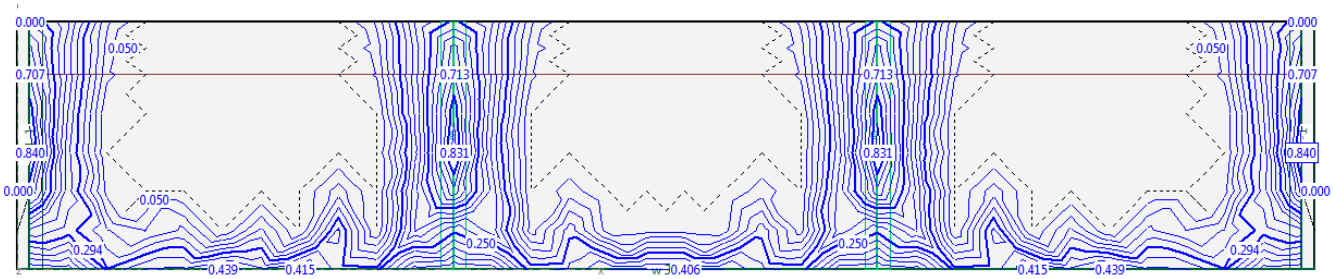
Momentos flectores en cara interior del muro y dirección y (mkN)



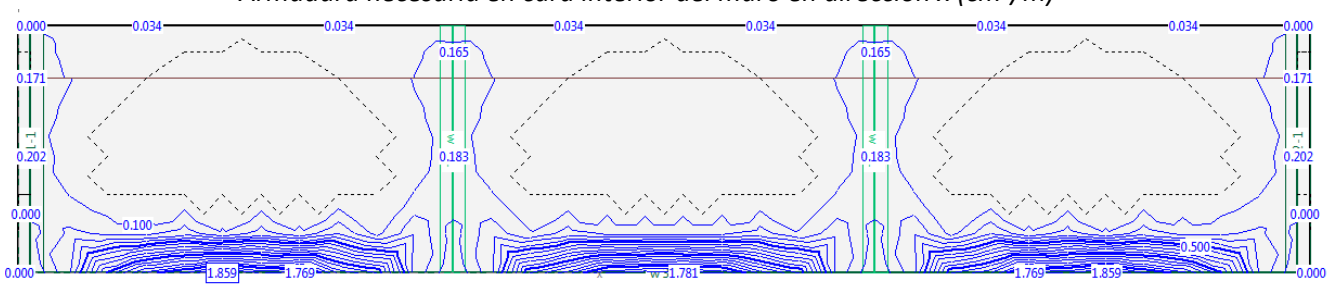
Armadura necesaria en cara exterior del muro en dirección x (cm^2/m)



Armadura necesaria en cara exterior del muro en dirección y (cm^2/m)



Armadura necesaria en cara interior del muro en dirección x (cm²/m)



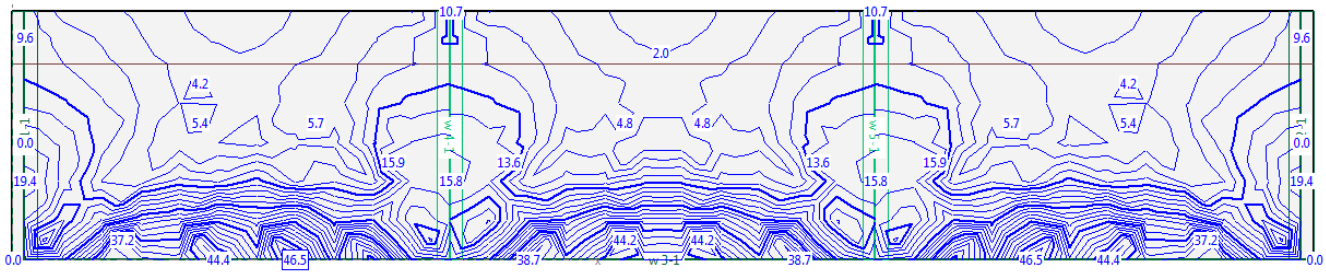
Armadura necesaria en cara interior del muro en dirección y (cm²/m)

Cómo se puede apreciar en las gráficas anteriores, el máximo momento flector en la zona existente del muro es Md = 21.0 mkN, y la armadura máxima necesaria es de 1.86 cm^2. La armadura existente es de **ø10/0.15 m en ambas caras y direcciones** (5.27 cm^2 por cara y dirección). Por lo tanto, la armadura en los muros existentes es suficiente para las solicitaciones pésimas de flexión.

En cuanto a la zona de recrecimiento, el máximo momento flector es Md = 8.1 mkN, y la armadura máxima necesaria es de 0.71 cm^2. Se dispone en los recrecimientos una armadura de **ø12/0.20 m en ambas caras y direcciones** (5.65 cm^2 por cara y dirección), suficiente para las solicitaciones pésimas de flexión obtenidas.

6.4.3 E.L.U. RASANTE

Para coser la junta existente entre la superficie de los muros existentes y la superficie de los recrecimientos proyectados, se proyectan unas conexiones con **2ø12/0.30 m** (7.53 cm^2/m). Estos conectores deben soportar el máximo rasante obtenido en la junta en el modelo. A continuación se representan las isolíneas de máximos esfuerzos cortantes:



Cómo puede apreciarse en la gráfica anterior, el máximo esfuerzo rasante en la junta es Vd = 10 kN/m. Por lo tanto, ζr,d = 10/(0.3*1.0) = 30 kN/m^2 = 0.03 MPa.

Se utiliza el Prontuario Informático del Hormigón EHE-08 para comprobar que ζr,d < ζr,u:

PRONTUARIO INFORMÁTICO DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL 3.1 SEGÚN EHE-08

Cátedra de Hormigón Estructural ETSICCPM - IECA

Obra: ETAP SOTO DEL REAL
Fecha: 18/12/2017
Hora: 14:38:14

Cálculo de juntas entre hormigones a rasante

1 Datos

- Materiales

```
Tipo de hormigón: HA-30
Tipo de acero:    B-500-S
fck [MPa] = 30.00
fyk [MPa] = 500.00
```

- Tipo de Sección

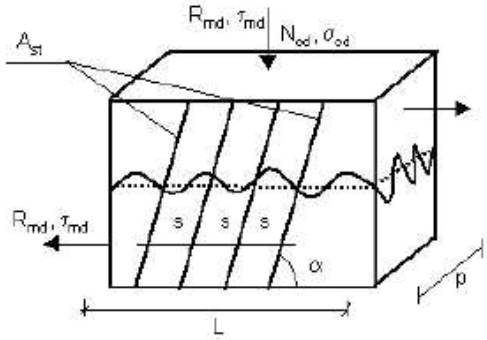
```
Con armadura transversal
```

- Rugosidad

```
β  = 0.20
μ  = 0.30
```

- Geometría

```
p [m] = 1.0
l [m] = 0.3
```



- Resto datos

```
Ángulo de las armaduras α                    = 90.0
Axil sobre la superficie de contacto Nd [kN] = 0.0
Tensión rasante de cálculo [MPa]             = 0.03
```

2 Comprobación

```
Ast,total [cm²]          = 7.53
s [cm]   [kN]            = 30
Rasante último Rmu [kN]  = 0.56
```

6.5 *ESTADO LÍMITE SERVICIO (E.L.S.)*

6.5.1 E.L.S. FISURACIÓN

Se incluyen a continuación los listados de la envolvente de cálculo utilizada para la verificación del E.L.S. de fisuración (combinación de acciones cuasi-permanente) incluida en el programa:

Especificación de envolventes: !ELS(cuasi-permanente)

Descripción
Situación de diseño estándar: ELS Estado límite servicio, combinación cuasi-permanente

Especificación de envolventes

Acción			Combinaciones de acciones	
No	Nombre	Fac	1	
1	Carga muerta	1	1	

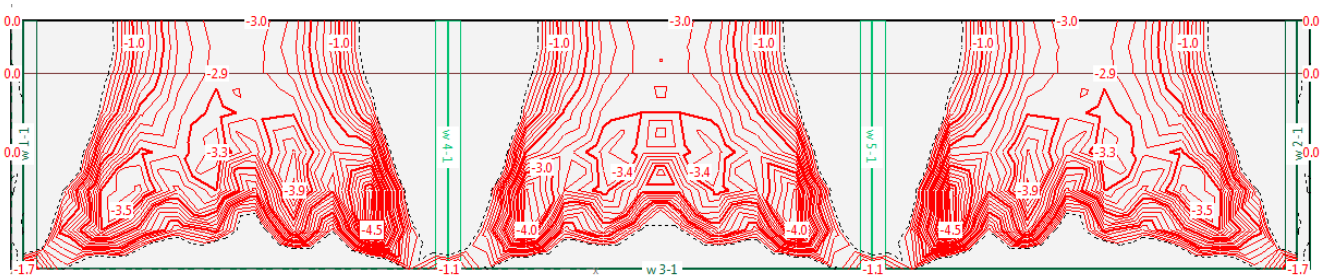
Fac : todos los factores de combinación son multiplicados por este factor

Superposiciones de hipótesis de carga para las acciones
para la especificación de envolventes !ELS(cuasi-permanente)

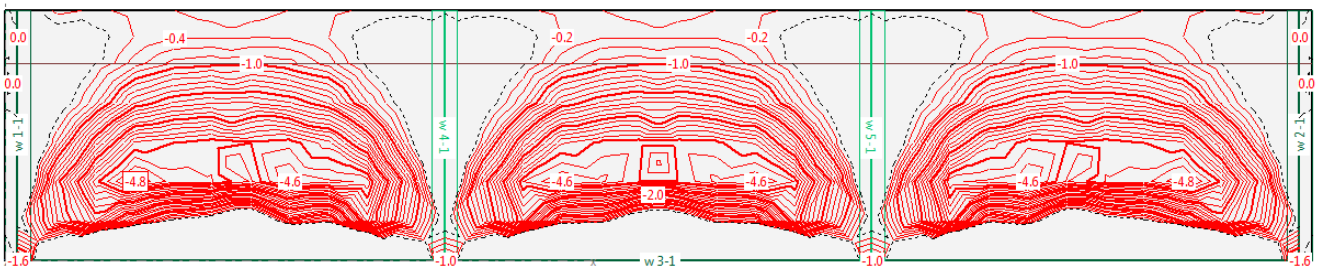
Acción	Alt	aditivo	excluyente	Hipótesis de carga	Factor	Comb.
Carga muerta		Permanente		CM1 Empuje hidrostático	1.000	
		Permanente		CM2 Empuje arenas	1.000	

Alt : Superposición alternativa

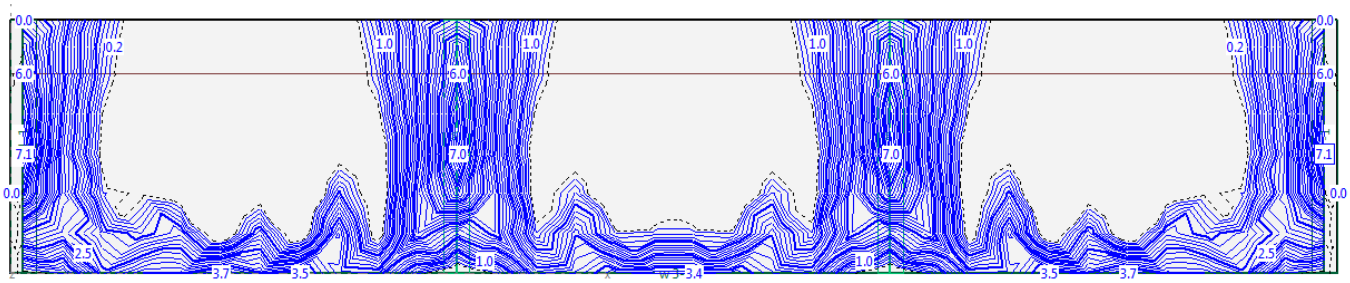
Se han obtenido las isolíneas de momentos flectores en toda la estructura. A continuación se representan dichas isolíneas de momentos flectores en ambas caras y direcciones:



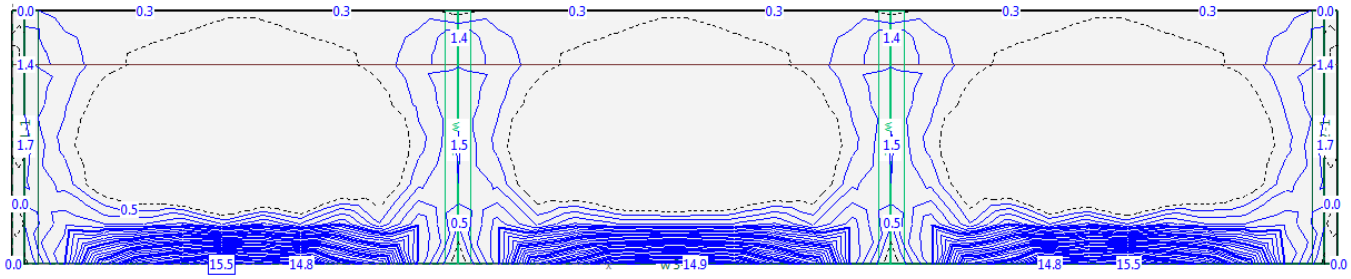
Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección x (mkN)



Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección y (mkN)



Momentos flectores en cara interior del muro y dirección x (mkN)



Momentos flectores en cara interior del muro y dirección y (mkN)

Cómo se puede apreciar en las gráficas anteriores, el máximo momento flector en la zona existente del muro es Mk = 15.5 mkN. En cuanto a la zona de recrecimiento, el máximo momento flector es Mk = 6.0 mkN.

Dado que el hormigón empleado es HA-30/B/20/IV+Qb, se tomará una apertura máxima de fisura wmáx = 0.1 mm. Se comprobará que wk < wmáx o que Mk < Mfis (en este último caso la estructura no fisura y wk = 0.0 mm).

A continuación se incluyen las hojas de cálculo utilizadas para realizar los cálculos de fisuración, para ambos casos, según la EHE-08, para comprobar que la armadura dispuesta en apartados anteriores es suficiente.

```
*************************************************
******** CALCULO A FISURACION EHE08 V4.0 *********
*************************************************

Título: ETAP SOTO DEL REAL
Fecha: 13/12/2017 12:31:58
Acciona Ingeniería

Hipótesis de cálculo
--------------------
Cálculos según Art. 49.2 y Anejo 8 de EHE08

Parámetros de fisuración adoptados
----------------------------------
Abertura característica máxima Wmáx = 0.200 mm
Coeficiente beta 1.70, K1 = 0.000, K2 = 0.50
Sección tipo viga plana, muro o losa

Sección de cálculo
------------------
Hormigón de resistencia característica fck = 30 N/mm² y E = 28577 N/mm²
Acero de límite elástico fyk = 500 N/mm² y Es = 200000 N/mm²
Sección rectangular de ancho 1.00 m y canto 0.300 m
Recubrimiento 35 mm y diámetro de la barra transvesal 10 mm
Armadura a tracción en capa exterior 5.50 cm², en capa interior 0.00 cm² y total 5.50 cm²
Diámetro equivalente = 0.0mm
Armadura a compresión 5.27 cm²
Canto útil considerado d = 0.250 m
Inercia bruta = 0.002250 m4 e Inercia fisurada =0.000191 m4
fctm,fl = 3.77 y Mfis = 56.5 mkN

Acciones consideradas
---------------------
Flexión simple con Mk = 15.5 mkN

Resultados del cálculo
----------------------
El momento de fisuración es superior al solicitante, Mfis > Mk, 56.5 mkN > 15.5 mkN
Abertura de fisura wk = 0.000 mm
```

```
*************************************************
******** CALCULO A FISURACION EHE08 V4.0 *********
*************************************************

Título: ETAP SOTO DEL REAL
Fecha: 13/12/2017 12:37:21
Acciona Ingeniería

Hipótesis de cálculo
--------------------
Cálculos según Art. 49.2 y Anejo 8 de EHE08

Parámetros de fisuración adoptados
----------------------------------
Abertura característica máxima Wmáx = 0.200 mm
Coeficiente beta 1.70, K1 = 0.000, K2 = 0.50
Sección tipo viga plana, muro o losa

Sección de cálculo
------------------
Hormigón de resistencia característica fck = 30 N/mm² y E = 28577 N/mm²
Acero de límite elástico fyk = 500 N/mm² y Es = 200000 N/mm²
Sección rectangular de ancho 1.00 m y canto 0.300 m
Recubrimiento 35 mm y diámetro de la barra transvesal 12 mm
Armadura a tracción en capa exterior 6.19 cm², en capa interior 0.00 cm² y total 6.19 cm²
Diámetro equivalente = 0.0mm
Armadura a compresión 5.65 cm²
Canto útil considerado d = 0.247 m
Inercia bruta = 0.002250 m4 e Inercia fisurada =0.000207 m4
fctm,fl = 3.77 y Mfis = 56.5 mkN

Acciones consideradas
---------------------
Flexión simple con Mk = 6.0 mkN

Resultados del cálculo
----------------------
El momento de fisuración es superior al solicitante, Mfis > Mk, 56.5 mkN > 6.0 mkN
Abertura de fisura wk = 0.000 mm
```

6.6 *CONCLUSIONES*

Los muros exteriores existentes en las cámaras de filtración son los listados a continuación:

- 2 muros exteriores de 15.60 m de longitud, 0.50 m de espesor y 2.35 m de altura.
- 2 muros exteriores de 15.60 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.35 m de altura.
- 4 muros exteriores de 3.80 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.35 m de altura.

Todos estos muros exteriores existentes tienen una **armadura vertical de ø10/0.15 m en ambas caras y una armadura horizontal de ø10/0.15 m en ambas caras**.

Se ha comprobado en apartados anteriores que esta armadura es suficiente para las solicitaciones en ELU y ELS consideradas.

Se proyecta el recrecimiento de todos estos muros conectando a los muros existentes unos nuevos muros de 0.30 m de espesor y 0.62 m de altura, para obtener, finalmente, muros de 2.97 m de altura.

De los cálculos realizados se ha obtenido una **armadura vertical de ø12/0.20 m en ambas caras y una armadura horizontal de ø12/0.20 m en ambas caras** para dichos recrecimientos.

Finalmente, para coser la junta existente entre la superficie de los muros existentes y la superficie de los recrecimientos proyectados, se proyectan unas conexiones con **2ø12/0.30 m**.

7. CÁLCULO DE LOS MUROS INTERIORES

7.1 *PROGRAMA DE CÁLCULO EMPLEADO*

Para el análisis de los nuevos muros interiores proyectados en las diferentes cámaras necesarios para la correcta definición de los diferentes tratamientos de la E.T.A.P., se ha utilizado el programa CEDRUS-7 de CUBUS AG, descrito en el apartado 2.5.1 del presente Anejo de Cálculos Estructurales.

7.2 *MODELO DE ENTRADA*

Se trata en el presente apartado de realizar el dimensionamiento estructural de todos los muros interiores, longitudinales y transversales, diseñados en las diferentes cámaras de la E.T.A.P.

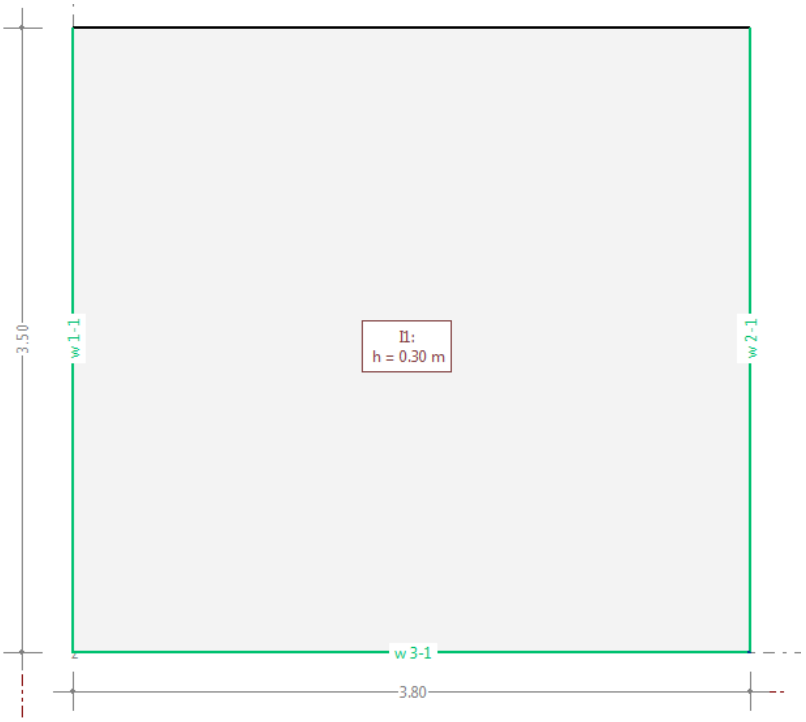
Los muros interiores son los listados a continuación:

- 2 muros interiores longitudinales de 1.70 m de longitud, 0.30 m de espesor y 3.50 m de altura.
- 6 muros interiores transversales de 3.80 m de longitud, 0.30 m de espesor y 3.50 m de altura.
- 2 muros interiores transversales de 3.80 m de longitud, 0.25 m de espesor y 1.54 m de altura.
- 4 muros interiores transversales de 3.80 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.62 m de altura.
- 6 muros interiores longitudinales de 4.76 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.62 m de altura.
- varias canaletas necesarias para el correcto funcionamiento hidráulico de la E.T.A.P.

Todos estos muros interiores se conectan entre sí mediante intersecciones con detalles de armado en T y en L, y a los muros y losas existentes mediante conectores.

Se realiza el dimensionamiento de dichos muros interiores mediante un único modelo con la situación más desfavorable: muro de 3.80 m de longitud, 0.30 m de espesor y 3.50 m de altura, con presión hidrostática máxima en uno de sus lados y nula por el otro.

A continuación se presenta de forma gráfica la geometría del modelo (contorno del muro y apoyos):



Los listados de entrada de la estructura calculada son los siguientes:

DATOS de la ESTRUCTURA

MATERIALES Código: EHE-08. Instr.Hormigón Estruct.

ID	Tipo	Elemento	E [kN/mm²]	ν	ρ [t/m³]	α [‰]	Clase	f [N/mm²]	
C	Hormigón	(general)	28.50	0.20	2.50	0.010	H300	-30.00	f_{ck}
R	Acero para armadu	(general)	200.00	0.30	8.00	0.012	AEH500	500.00	f_{yk}

ETIQUETAS DE MATERIAL: Recubrimiento de la armadura base

Id	Recubrimiento de la armadura				Armadura base			
	u_{XT} [cm]	u_{YT} [cm]	u_{XB} [cm]	u_{YB} [cm]	as_{XT} [cm²/m]	as_{YT} [cm²/m]	as_{XB} [cm²/m]	as_{YB} [cm²/m]
I1	3.5	3.5	3.5	3.5	-	-	-	-

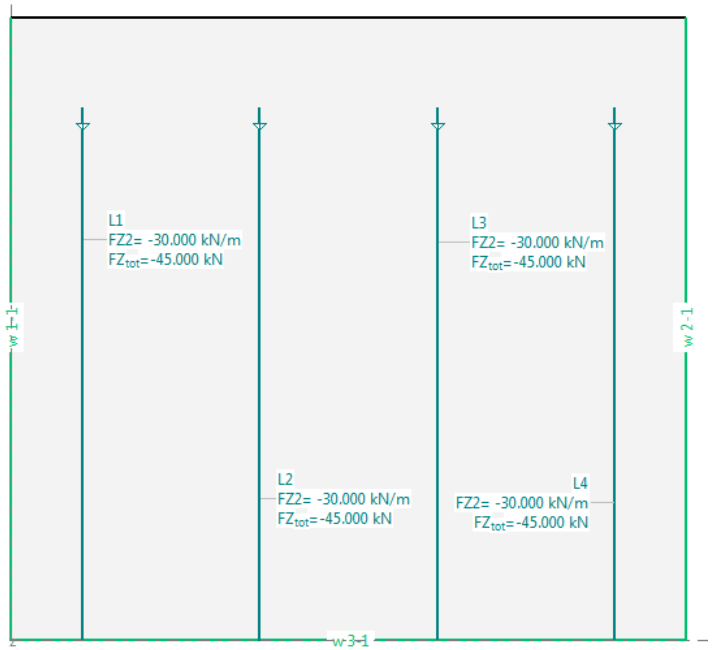
PAREDES

Id	Tipo Descripción	N.Lin.	Apoyos sdz [kN/m²]	srx [kN]	sry [kN]	Geometría Ancho [m]	Altura [m]	$f_{E\ sdz}$	Materiales Cuerpo	Armaduras
W1	Rot. libre	No	empotrado	libre	libre	0.30	5.00	1.000	C	R
W2	Rot. libre	No	empotrado	libre	libre	0.30	5.00	1.000	C	R
W3	Rot. libre	No	empotrado	libre	libre	0.30	5.00	1.000	C	R

7.3 *CARGAS CONSIDERADAS EN EL MODELO*

Se estudia el comportamiento del muro considerando una presión hidrostática máxima sobre una cara y nula sobre la otra. La cota de coronación del muro modelizado es la 1033.97, y la cota máxima de agua en las cámaras consideradas es la 1033.47, es decir 0.50 m por debajo de la coronación del muro.

Se muestra a continuación la entrada gráfica de dicha carga en el modelo:



7.4 *ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (E.L.U.)*

7.4.1 ENVOLVENTE DE CÁLCULO

Se incluyen a continuación los listados de la envolvente de cálculo E.L.U. incluida en el programa:

Especificación de envolventes: !ELU

Especificación de envolventes

Acción			Combinaciones de acciones		
No	Nombre	Fac	1	2	
1	Carga muerta	1	1.35	1	

Fac : todos los factores de combinación son multiplicados por este factor

Superposiciones de hipótesis de carga para las acciones

para la especificación de envolventes !ELU

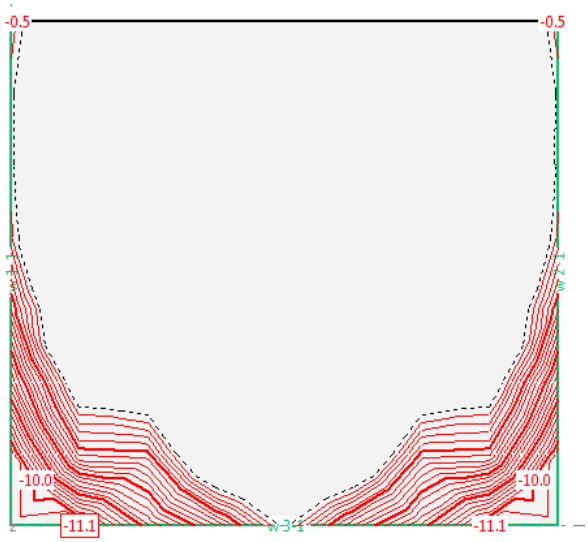
Acción	Alt	aditivo	excluyente	Hipótesis de carga	Factor	Comb.
Carga muerta		Permanente		CM Empuje hidrostático	1.000	

Alt : Superposición alternativa

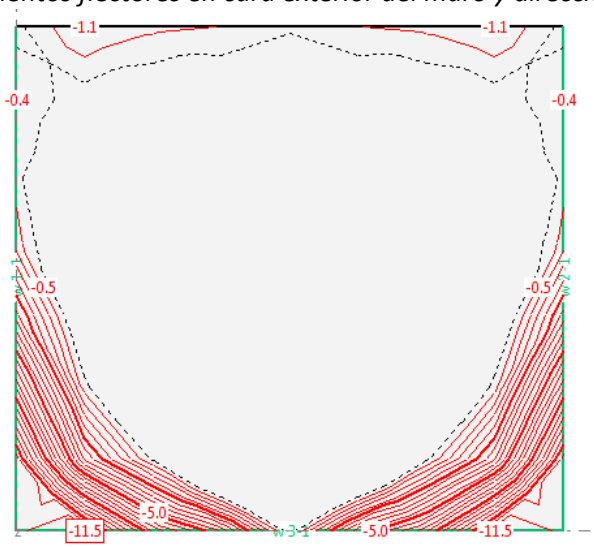
7.4.2 E.L.U. FLEXIÓN

Se han obtenido las isolíneas de momentos flectores en toda la estructura. Con dichas isolíneas, el programa CEDRUS-7, ayudado por su post-procesador seccional FAGUS-7, ha calculado la armadura necesaria en cada zona.

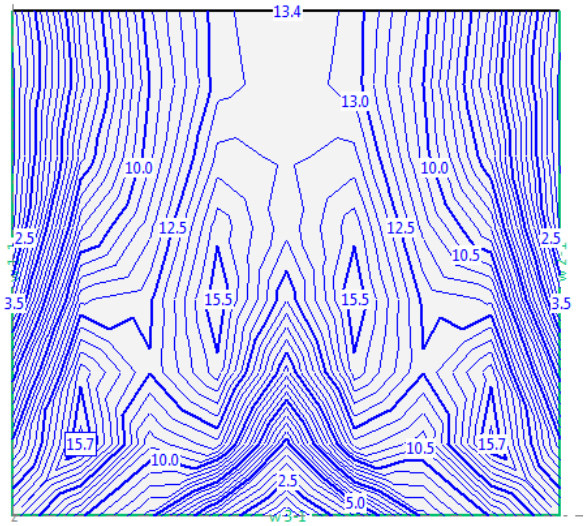
A continuación se representan tanto las isolíneas de momentos flectores como las armaduras necesarias obtenidas, en ambas caras y direcciones:



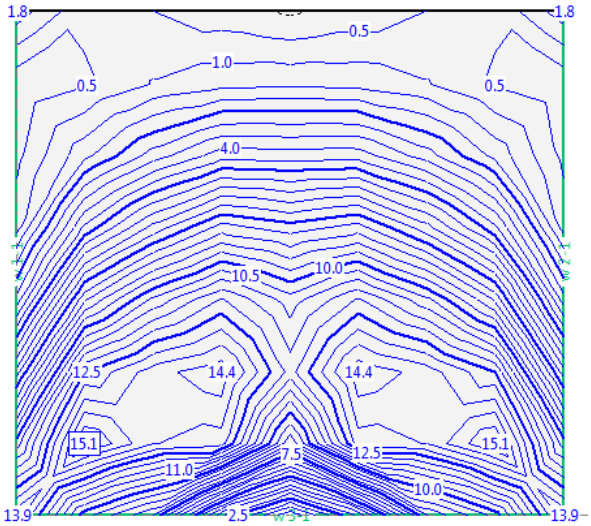
Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección x (mkN)



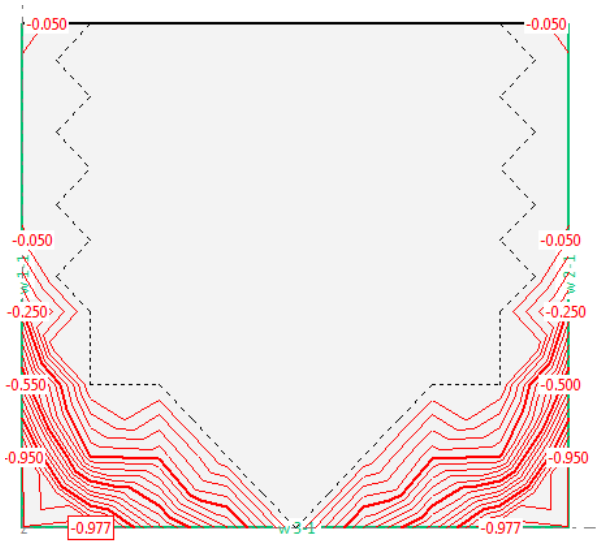
Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección y (mkN)



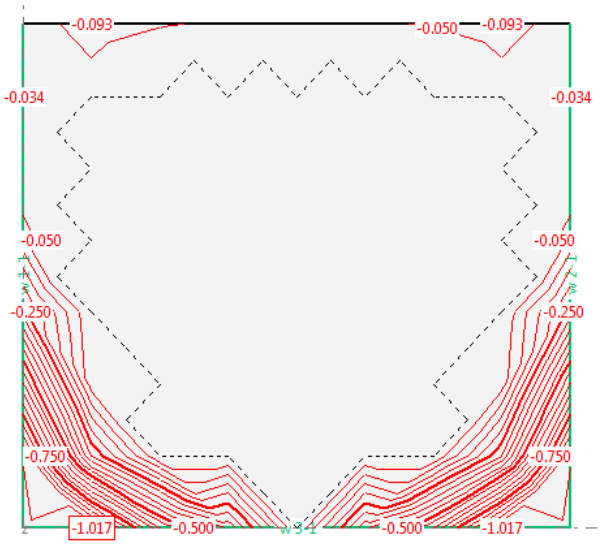
Momentos flectores en cara interior del muro y dirección x (mkN)



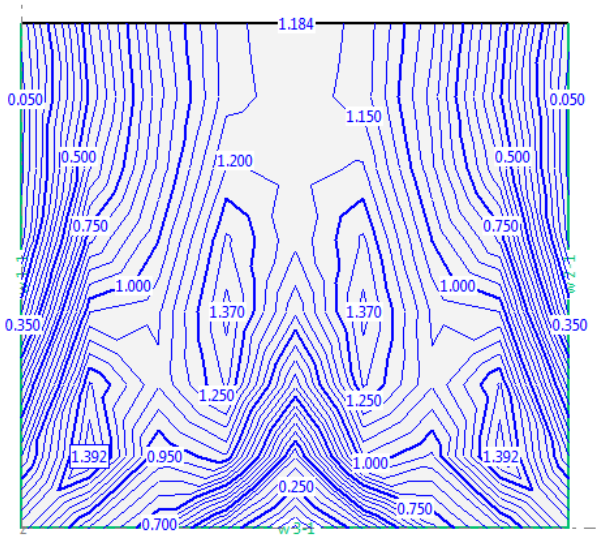
Momentos flectores en cara interior del muro y dirección y (mkN)



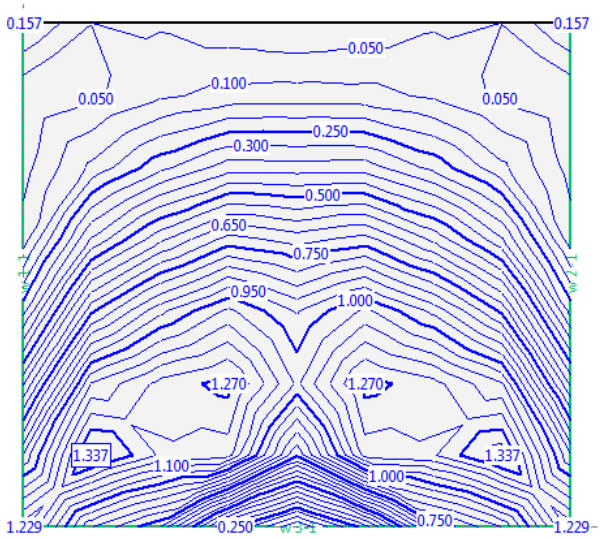
Armadura necesaria en cara exterior del muro en dirección x (cm^2/m)



Armadura necesaria en cara exterior del muro en dirección y (cm^2/m)



Armadura necesaria en cara interior del muro en dirección x (cm²/m)



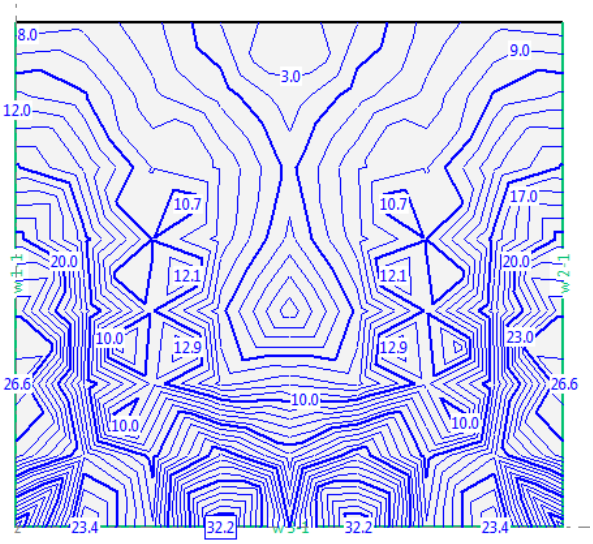
Armadura necesaria en cara interior del muro en dirección y (cm²/m)

Cómo se puede apreciar en las gráficas anteriores, el máximo momento flector es Md = 15.7 mkN, y la armadura máxima necesaria es de 1.34 cm^2. Se dispone en todos los muros interiores una armadura de **ø12/0.20 m en ambas caras y direcciones** (5.65 cm^2 por cara y dirección), suficiente para las solicitaciones pésimas de flexión obtenidas.

7.4.3 E.L.U. RASANTE

Para conectar los muros interiores con los muros existentes y con las soleras existentes, se proyectan unas conexiones con **ø12/0.30 m** (3.76 cm^2/m). Estos conectores deben soportar el máximo rasante obtenido en los contactos del muro.

A continuación se representan las isolíneas de máximos esfuerzos cortantes:



Cómo puede apreciarse en la gráfica anterior, el máximo esfuerzo rasante en las conexiones es Vd = 32.2 kN/m. Por lo tanto, ζr,d = 32.2/(0.3*1.0) = 107 kN/m^2 = 0.11 MPa.

Se utiliza el Prontuario Informático del Hormigón EHE-08 para comprobar que ζr,d < ζr,u:

PRONTUARIO INFORMÁTICO DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL 3.1 SEGÚN EHE-08

Cátedra de Hormigón Estructural ETSICCPM - IECA

Obra: ETAP SOTO DEL REAL
Fecha: 18/12/2017
Hora: 15:37:58

Cálculo de juntas entre hormigones a rasante

1 Datos

- Materiales

```
Tipo de hormigón: HA-30
Tipo de acero:    B-500-S
fck [MPa] = 30.00
fyk [MPa] = 500.00
```

- Tipo de Sección

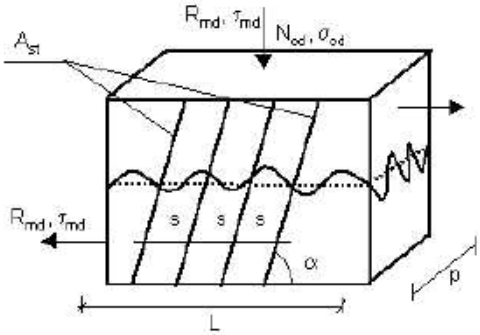
```
Con armadura transversal
```

- Rugosidad

```
β  = 0.20
μ  = 0.30
```

- Geometría

```
p [m] = 1.0
l [m] = 0.3
```



- Resto datos

```
Ángulo de las armaduras α                    = 90.0
Axil sobre la superficie de contacto Nd [kN] = 0.0
Tensión rasante de cálculo [MPa]             = 0.11
```

2 Comprobación

```
Ast,total [cm²]              = 3.76
s [cm]   [kN]                = 30
Rasante último Rmu [kN]      = 0.40
```

7.5 *ESTADO LÍMITE SERVICIO (E.L.S.)*

7.5.1 E.L.S. FISURACIÓN

Se incluyen a continuación los listados de la envolvente de cálculo utilizada para la verificación del E.L.S. de fisuración (combinación de acciones cuasi-permanente) incluida en el programa:

Especificación de envolventes: !ELS(cuasi-permanente)

Descripción
Situación de diseño estándar: ELS Estado límite servicio, combinación cuasi-permanente

Especificación de envolventes

Acción			Combinaciones de acciones	
No	Nombre	Fac	1	
1	Carga muerta	1	1	

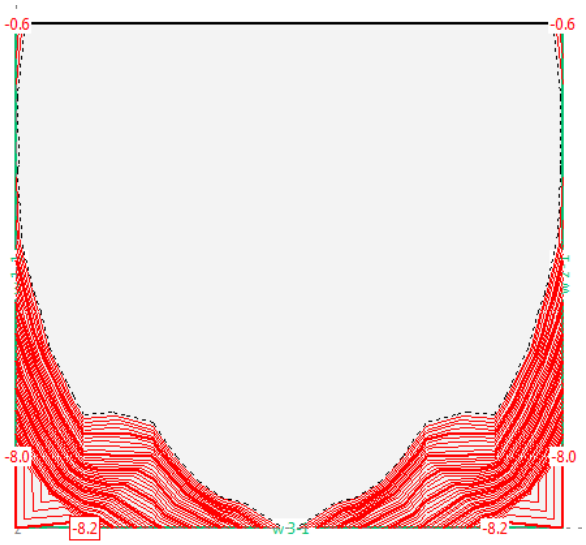
Fac : todos los factores de combinación son multiplicados por este factor

Superposiciones de hipótesis de carga para las acciones
para la especificación de envolventes !ELS(cuasi-permanente)

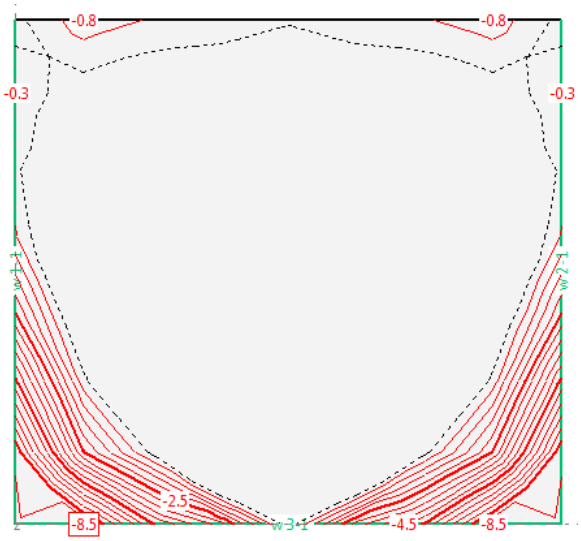
Acción	Alt	aditivo	excluyente	Hipótesis de carga	Factor	Comb.
Carga muerta		Permanente		CM Empuje hidrostático	1.000	

Alt : Superposición alternativa

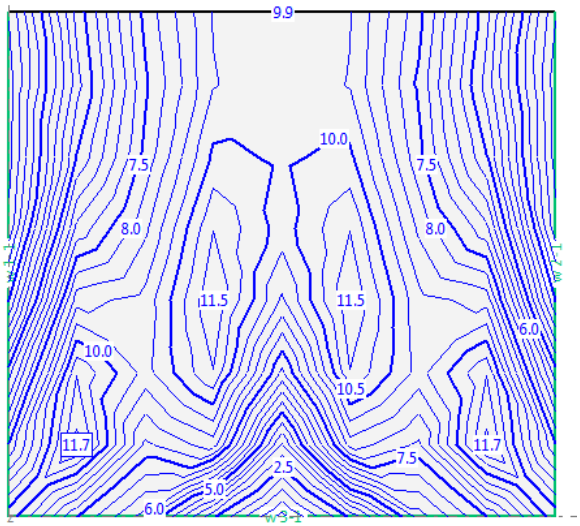
Se han obtenido las isolíneas de momentos flectores en toda la estructura. A continuación se representan dichas isolíneas de momentos flectores en ambas caras y direcciones:



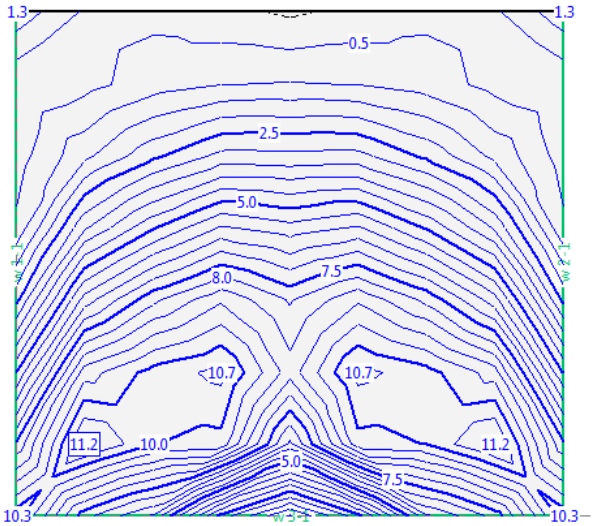
Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección x (mkN)



Momentos flectores en cara exterior del muro y dirección y (mkN)



Momentos flectores en cara interior del muro y dirección x (mkN)



Momentos flectores en cara interior del muro y dirección y (mkN)

Cómo se puede apreciar en las gráficas anteriores, el máximo momento flector en el muro es Mk = 11.7 mkN.

Dado que el hormigón empleado es HA-30/B/20/IV+Qb, se tomará una apertura máxima de fisura wmáx = 0.1 mm. Se comprobará que wk < wmáx o que Mk < Mfis (en este último caso la estructura no fisura y wk = 0.0 mm).

A continuación se incluye las hoja de cálculo utilizada para realizar los cálculos de fisuración, según la EHE-08, para comprobar que la armadura dispuesta en apartados anteriores es suficiente.

```
*************************************************
******** CALCULO A FISURACION EHE08 V4.0 *********
*************************************************

Título: ETAP SOTO DEL REAL
Fecha: 13/12/2017 14:17:53
Acciona Ingeniería

Hipótesis de cálculo
--------------------
Cálculos según Art. 49.2 y Anejo 8 de EHE08

Parámetros de fisuración adoptados
----------------------------------
Abertura característica máxima Wmáx = 0.200 mm
Coeficiente beta 1.70, K1 = 0.125, K2 = 0.50
Sección tipo viga plana, muro o losa

Sección de cálculo
------------------
Hormigón de resistencia característica fck = 30 N/mm² y E = 28577 N/mm²
Acero de límite elástico fyk = 500 N/mm² y Es = 200000 N/mm²
Sección rectangular de ancho 1.00 m y canto 0.300 m
Recubrimiento 35 mm y diámetro de la barra transvesal 12 mm
Armadura a tracción en capa exterior 6.19 cm², en capa interior 0.00 cm² y total 6.19 cm²
Diámetro equivalente = 12.0mm
Armadura a compresión 5.65 cm²
Canto útil considerado d = 0.247 m
Inercia bruta = 0.002250 m4 e Inercia fisurada =0.000207 m4
fctm,fl = 3.77 y Mfis = 56.5 mkN

Acciones consideradas
---------------------
Flexión simple con Mk = 11.5 mkN

Resultados del cálculo
----------------------
El momento de fisuración es superior al solicitante, Mfis > Mk, 56.5 mkN > 11.5 mkN
Abertura de fisura wk = 0.000 mm
```

7.6 *CONCLUSIONES*

Los muros interiores, longitudinales y transversales, diseñados en las diferentes cámaras de la E.T.A.P. son los listados a continuación:

- 2 muros interiores longitudinales de 1.70 m de longitud, 0.30 m de espesor y 3.50 m de altura.
- 6 muros interiores transversales de 3.80 m de longitud, 0.30 m de espesor y 3.50 m de altura.
- 2 muros interiores transversales de 3.80 m de longitud, 0.25 m de espesor y 1.54 m de altura.
- 4 muros interiores transversales de 3.80 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.62 m de altura.
- 6 muros interiores longitudinales de 4.76 m de longitud, 0.30 m de espesor y 2.62 m de altura.
- varias canaletas necesarias para el correcto funcionamiento hidráulico de la E.T.A.P.

Todos estos muros interiores se conectan entre sí mediante intersecciones con detalles de armado en T y en L, y a los muros y losas existentes mediante conectores.

De los cálculos realizados se ha obtenido una **armadura vertical de ø12/0.20 m en ambas caras y una armadura horizontal de ø12/0.20 m en ambas caras** para todos los muros interiores.

Finalmente, para conectar los muros interiores con los muros existentes y con las soleras existentes, se proyectan unas conexiones con **ø12/0.30 m**.

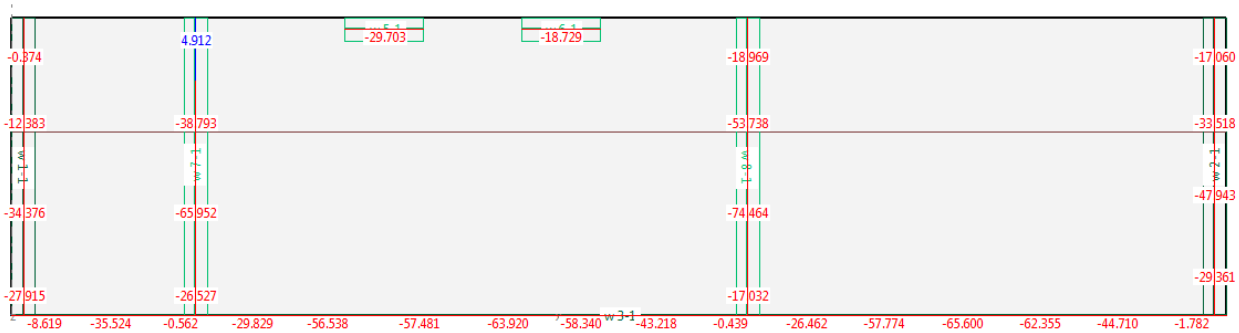
8. CÁLCULO DE CONECTORES DE MUROS INTERIORES TRANSVERSALES SOMETIDOS A TRACCIÓN

Los conectores proyectados entre los muros interiores y los muros exteriores existentes están sometidos, en algunos casos, a tracciones que deben ser absorbidas por los conectores diseñados (**ø12/0.30 m**).

Estas tracciones (Nd) se obtienen de los modelos anteriormente calculados de los muros exteriores en los apartados 3, 4 y 5 del presente anejo de cálculo.

8.1 *MUROS INTERIORES TRANSVERSALES EN CÁMARAS DE MEZCLA*

Se incluye a continuación la salida gráfica de las reacciones del modelo realizado de los muros exteriores en cámara de mezcla y floculación para obtener el Nd (ELU):



En la gráfica anterior se observa que el máximo esfuerzo de tracción en los conectores del muro interior transversal en cámara de mezcla es de 66 kN/m.

La armadura a disponer en este caso será igual a As = Nd/(fyk/γ_S) = 1.52 cm^2. Se ha dispuesto una armadura de 3.76 cm^2 (**ø12/0.30 m**), por lo que la comprobación es satisfactoria.

Sin embargo, si queremos reducir la longitud de anclaje de estos conectores de 30 cm a 20 cm (dado que el espesor de los muros exteriores existentes es de 30 cm), necesitamos además que se cumpla la siguiente inecuación:

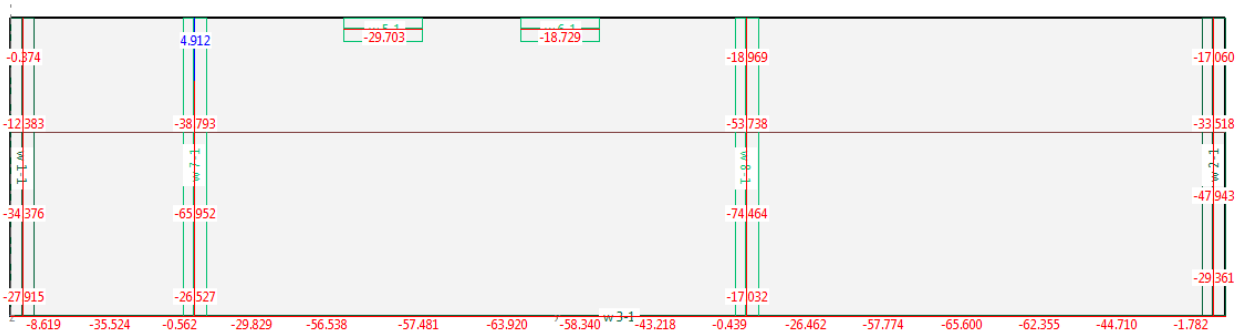
Ad/As > 30/20

Es decir, 3.76/1.52 > 1.50 O.K.

Por lo tanto, **la longitud de anclaje de los conectores, en el caso de los muros interiores transversales en cámaras de mezcla, puede reducirse hasta los 20 cm**.

8.2 *MUROS INTERIORES TRANSVERSALES EN CÁMARAS DE FLOCULACIÓN*

Se incluye a continuación la salida gráfica de las reacciones del modelo realizado de los muros exteriores en cámara de mezcla y floculación para obtener el Nd (ELU):



En la gráfica anterior se observa que el máximo esfuerzo de tracción en los conectores del muro interior transversal en cámara de floculación es de 74.5 kN/m.

La armadura a disponer en este caso será igual a As = Nd/(fyk/γ_S) = 1.71 cm^2. Se ha dispuesto una armadura de 3.76 cm^2 (**ø12/0.30 m**), por lo que la comprobación es satisfactoria.

Sin embargo, si queremos reducir la longitud de anclaje de estos conectores de 30 cm a 20 cm (dado que el espesor de los muros exteriores existentes es de 30 cm), necesitamos además que se cumpla la siguiente inecuación:

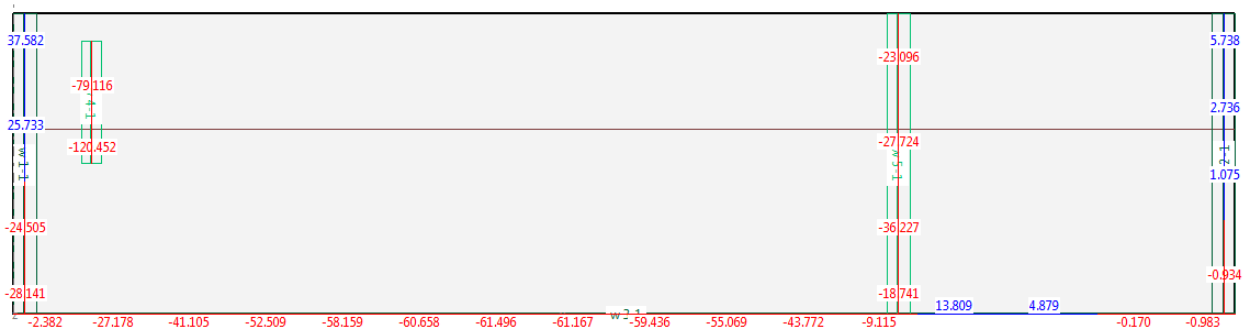
Ad/As > 30/20

Es decir, 3.76/1.71 > 1.50 O.K.

Por lo tanto, **la longitud de anclaje de los conectores, en el caso de los muros interiores transversales en cámaras de floculación, puede reducirse hasta los 20 cm**.

8.3 *MUROS INTERIORES TRANSVERSALES EN CÁMARAS DE DECANTACIÓN LAMELAR*

Se incluye a continuación la salida gráfica de las reacciones del modelo realizado de los muros exteriores en cámara de decantación lamelar para obtener el Nd (ELU):



En la gráfica anterior se observa que el máximo esfuerzo de tracción en los conectores del muro interior transversal en cámara de decantación lamelar es de 36.2 kN/m.

La armadura a disponer en este caso será igual a As = Nd/(fyk/γ_S) = 0.83 cm^2. Se ha dispuesto una armadura de 3.76 cm^2 (**ø12/0.30 m**), por lo que la comprobación es satisfactoria.

Sin embargo, si queremos reducir la longitud de anclaje de estos conectores de 30 cm a 20 cm (dado que el espesor de los muros exteriores existentes es de 30 cm), necesitamos además que se cumpla la siguiente inecuación:

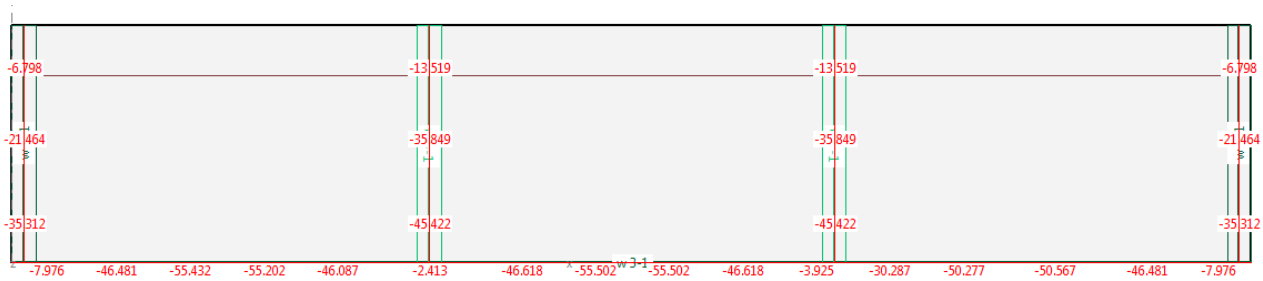
Ad/As > 30/20

Es decir, 3.76/0.83 > 1.50 O.K.

Por lo tanto, **la longitud de anclaje de los conectores, en el caso de los muros interiores transversales en cámaras de decantación lamelar, puede reducirse hasta los 20 cm**.

8.4 *MUROS INTERIORES TRANSVERSALES EN CÁMARAS DE FILTRACIÓN*

Se incluye a continuación la salida gráfica de las reacciones del modelo realizado de los muros exteriores en cámara de filtración para obtener el Nd (ELU):



En la gráfica anterior se observa que el máximo esfuerzo de tracción en los conectores del muro interior transversal en cámara de decantación lamelar es de 45.4 kN/m.

La armadura a disponer en este caso será igual a As = Nd/(fyk/γ_S) = 1.04 cm^2. Se ha dispuesto una armadura de 3.76 cm^2 (**ø12/0.30 m**), por lo que la comprobación es satisfactoria.

Sin embargo, si queremos reducir la longitud de anclaje de estos conectores de 30 cm a 20 cm (dado que el espesor de los muros exteriores existentes es de 30 cm), necesitamos además que se cumpla la siguiente inecuación:

Ad/As > 30/20

Es decir, 3.76/1.04 > 1.50 O.K.

Por lo tanto, **la longitud de anclaje de los conectores, en el caso de los muros interiores transversales en cámaras de filtración, puede reducirse hasta los 20 cm**.

9. CÁLCULO DE LAS LOSAS DE APOYO DE LOS AGITADORES

En este apartado se realiza el dimensionamiento de la armadura de las losas de apoyo de los agitadores. Estas losas, de 0.30 m de espesor, tienen un ancho de 1.0 m y una luz máxima entre apoyos de 3.80 m.

Para el cálculo de estas losas se ha utilizado una hoja de cálculo de elaboración propia según la EHE-08.

Los datos de entrada en dicha hoja de cálculo son los siguientes:

Ancho apoyo izquierdo:	0.30 m
Ancho apoyo derecho:	0.30 m
Distancia interior entre apoyos:	3.80 m
Canto de la losa:	0.30 m
fck:	30 N/mm^2
Recubrimiento:	35 mm
Apertura máxima de fisura:	wmáx = 0.100 mm
Carga muerta:	2 kN/m^2 (agitadores)
Sobrecarga:	1 kN/m^2 (mantenimiento)
Armadura longitudinal en cara inferior:	**ø16/0.20 m (10.05 cm^2/m)**
Armadura longitudinal en cara superior:	**ø12/0.20 m (5.65 cm^2/m)**
Armadura transversal en cara inferior:	**ø12/0.20 m (5.65 cm^2/m)**
Armadura transversal en cara superior:	**ø12/0.20 m (5.65 cm^2/m)**

La hoja de cálculo realiza las siguientes comprobaciones:

<u>ELU FLEXIÓN:</u>

Armadura longitudinal necesaria en cara inferior:	As = 5.52 cm^2/m < 10.05 cm^2/m **O.K.**
Armadura longitudinal necesaria en cara superior:	As = 2.70 cm^2/m < 5.65 cm^2/m **O.K.**
Armadura transversal necesaria en cara inferior:	As = 2.70 cm^2/m < 5.65 cm^2/m **O.K.**
Armadura transversal necesaria en cara superior:	As = 2.70 cm^2/m < 5.65 cm^2/m **O.K.**

<u>ELU CORTANTE:</u>

No es necesaria armadura a cortante.

<u>ELS FISURACIÓN:</u>

wk = 0.052 mm < 0.100 mm **O.K.**

Se incluye a continuación la hoja de cálculo utilizada con los comentados datos de entrada y datos de salida:

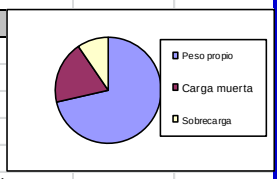
Cálculo de losas armadas biapoyadas

Fecha	18/12/2017		Versión	3.0				
TITULO:	ETAP SOTO DEL REAL							

1.- Geometría

Ancho apoyo izquierdo =			0.30	m				
Ancho apoyo derecho =			0.30	m				
Distancia interior entre caras de apoyos =				3.80	m			
Luz de cálculo =		4.10	m					
canto =	0.30	m						
rel. canto / Luz = 1 /		13.67						
Aligeramientos Φ =		0.00	a	1.00	m			
Distancia borde apoyo al inicio del aligeramiento =					1.00	m		
f_{ck} =	30	N/mm²	Tipo	B/20/IV+Qb		Acero	B500S	
recubrimiento =		35	mm	Apertura de fisura w_{max} =			0.1	mm

2.- Esfuerzos



Peso propio		71.4	%					
pp =	7.50	kN/m						
Cargas muertas		19.0	%					
Relleno cm =		2.00	kN/m²	→	2	kN/m		
Pavimento =		0.00	kN/m²	→	0	kN/m		
Sobrecargas		9.5	%	Tipo sc	IAP			
sc uniforme =		1.00	kN/m²	→	1	kN/m		
Puntual =		0.00	kN		0	kN/m		
Dist a sc puntual =		1.00	m	→	aplicados en		1.00	m
Dist b sc puntual =		1.00	m					

3.- ELU

3.1.- Flexión

	pp	cm	pavimento	sc unif	sc punt	
M_k (mkN)	16	4	0	2	0	
γ	1.35	1.35	2.03	1.50	1.50	Total
M_d (mkN)	21	6	0	3	0	30

Armadura de cálculo =			3.74	cm²				
Armadura geométrica(0.09 %) =			2.70	cm²				
Armadura mecánica =			5.52	cm²				
			5.52	cm² en	1	m de ancho		
			5.52	cm²/m				
$A_{s\ inf\ dispuesta}$ =		1	x	5	Φ	16	pm	
						10.05	cm²/m	ok
$A_{s\ superior}$ > 25% $A_{s\ inf\ dispuesta}$ =			2.51	cm²/m				
$A_{s\ sup\ dispuesta}$ =		1	x	5	Φ	12	pm	
						5.65	cm²/m	ok
Armadura dirección transversal								
Inferior geométrica (0.09%) =			2.70	cm²/m				
20% de la principal =			2.01	cm²/m	EHE art.56			
			2.70	cm²/m				
$A_{s\ inf\ dispuesta}$ =		1	x	5	Φ	12	pm	
						5.65	cm²/m	ok
Superior geométrica (0.09%) =			2.70	cm²/m				
25% inferior =			1.41	cm²/m				
			2.70	cm²/m				
$A_{s\ sup\ dispuesta}$ =		1	x	5	Φ	12	pm	
						5.65	cm²/m	ok

3.2.- Cortante

	pp	cm	pavimento	sc unif	sc punt	
V_k (kN)	13	4	0	2	0	Total
V_d (kN)	18	5	0	3	0	26

Piezas sin armadura a cortante

V_{u2} = 125 kN en 1.00 m de ancho

No es necesaria armadura a cortante

Piezas con armadura a cortante

V_{cu} = 104 kN en 1.00 m de ancho

$A_{s\ cal}$ = 0.00 cm/m²

$A_{s\ min}$ = 10.00 cm/m²

10.00 cm/m²

$A_{s\ dispuesta}$ **0** c Φ **12** a **0.25** m

$A_{s\ dispuesta}$ = 0.00 cm²/m No es necesaria armadura a cortante

4.- ELS

4.1.- Flechas

I_{bruta} = 0.002 m^4 (en 1.00 m de ancho)

I_{fis} = 0.000 m^4 (en 1.00 m de ancho)

M_a = 21 mkN

$M_{nom\ fis}$ = 54 mkN ($f_{ct,fl}$ W_b)

Inercia $_{equivalente}$ = 0.002

I_{bruta} / $I_{equivalente}$ = 1.00

	δ_{inst} (mm)	$\delta_{inst\ I\ eq}$ (mm)	λ	$\delta_{diferida}$ (mm)	δ_{total} (mm)	δ_{activa} (mm)
pp	0.4	0.4	1.50	0.64	1.07	0.64
cm	0.1	0.1	1.00	0.11	0.23	0.11
sc unif	0.1	0.1	0.00	0.00	0.06	0.0
carro	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0
					1.4	0.8

Limitaciones EHE

δ_{total}	1/250 =	16.4	mm	ok
δ_{activa}	1/400	10.3	mm	ok

En edificación normal se limita la flecha activa a 1 cm EHE.

Contraflecha = 1 mm

Coeficientes envolvente programa de cálculo

	pp	cm	sc
flecha activa	1.50	1.00	0.70
flecha total	2.50	2.00	0.70
contraflecha	2.50	2.00	0.00

4.2.- Fisuración

$w_k = \beta S_m \varepsilon_{sm}$ = 0.052 mm ok

β = 1.7

S_m = 170 mm

ε_{sm} = 0.000181

M_{fis} = 43 mkN ($f_{ct,m}$ W_b) $M_{k,cuasip.}$ = 21 mkN

σ_{sr} = 191 N/mm²

σ_s = 91 N/mm²