

CÁLCULO DE MURO DE CARGA CON HORMIGÓN UHPC

URBANIZACIÓN SOTOGRANDE (SAN ROQUE)

CEMENTOS REZOLA

Nº EXPEDIENTE: O/2105594/1/01/01

INFORME

INGENIERIA | CONTROL DE CALIDAD | GEOTECNIA | EDIFICACION | CERTIFICACION | I+D+i | SEGURIDAD Y SALUD



Cementos Rezola
HEIDELBERGCEMENT Group

cemosa
Ingeniería y Control

FECHA: JULIO, 2021



CUADRO DE CONTROL

Descripción del documento	MEMORIA DE CÁLCULO DE MURO DE CARGA CON HORMIGÓN UHPC
Escrito por:	CEMOSA
Revisado por:	CEMOSA
Aprobado por:	CEMOSA
Fecha:	07/2021
Versión del documento:	01
Resumen:	

CONTROL DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Modificación
01	07/2021	Versión inicial

CONTROL DE DISTRIBUCIÓN

Fecha	Destinatario	Cargo/Entidad
13-07-2021	FYM	Copia digital pdf



INDICE DE CONTENIDO

1.-	Objeto	4
2.-	Descripción de la geometría	4
3.-	Modelo de cálculo	7
4.-	Cargas	8
5.-	Propiedades del material	10
6.-	Análisis de los paneles	11
6.1.-	Alternativa 1	11
6.2.-	Alternativa 2.....	12
7.-	Conclusiones	14



1.- Objeto

El objeto del presente documento es el de realizar la verificación estructural de los muros de carga realizados in situ con hormigón UHPC (*Ultra-High Performance Concrete*) para una vivienda unifamiliar en la urbanización de Sotogrande, en el término municipal de San Roque (Cádiz).

El hormigón UHPC es un tipo de hormigón de nueva generación que permite diseñar y producir formas complejas de gran resistencia y, a la vez, muy ligeras y esbeltas. Posee una elevada resistencia a la compresión, a la flexión y al desgaste, así como una gran durabilidad. Es un hormigón de consistencia fluida/líquida que consigue una baja absorción de agua. Se fabrica con fibras poliméricas, inorgánicas o metálicas y áridos silicios con un tamaño máximo de 1 mm.

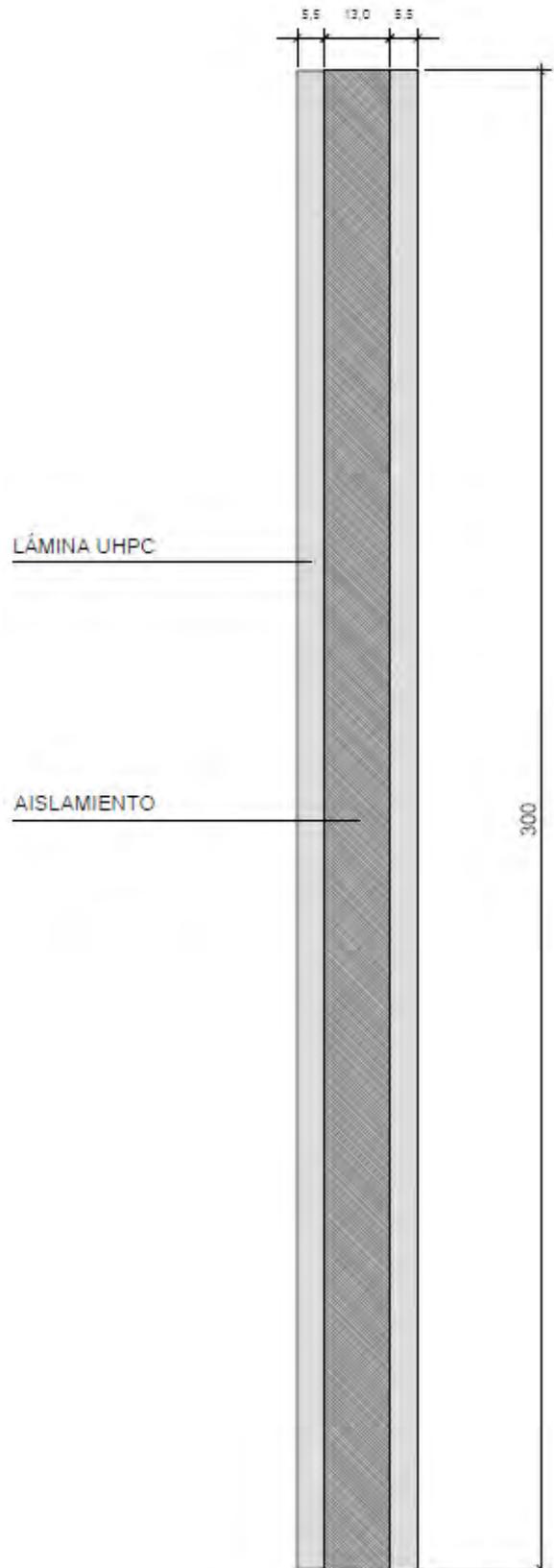
Este hormigón se fabricará con un mortero con las siguientes propiedades:

- **i.flow SPECIAL.** Es un premezclado de color blanco base de cemento, que al mezclarse con agua proporciona una pasta fluida de muy altas prestaciones, que puede usarse en la fabricación de hormigón autocompactante, sin riesgo de segregación ni exudación, rellenando el molde o encofrado sin quedar bloqueado por los huecos del armado.

2.- Descripción de la geometría

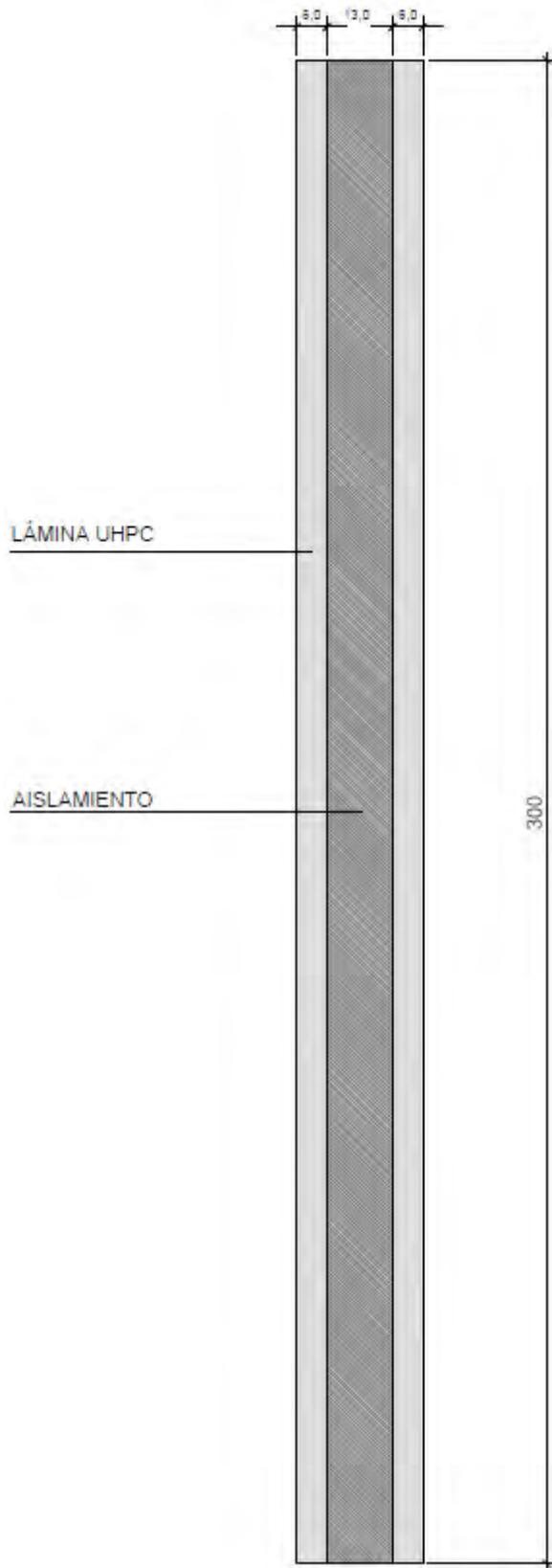
En el análisis que se llevará a cabo en este informe se consideran dos posibles geometrías para los muros de carga. A continuación, se describen las dos alternativas estudiadas y se muestran sus dimensiones principales.

- **Alternativa 1.** Muro de carga de formado por dos láminas de hormigón de UHPC de 55 milímetros de espesor y aislamiento de 13 milímetros de espesor.



Dimensiones para Alternativa 1 de muro de carga.

- **Alternativa 2.** Se dispone la misma tipología que para el caso anterior, pero se amplían los espesores de las láminas a 60 mm.

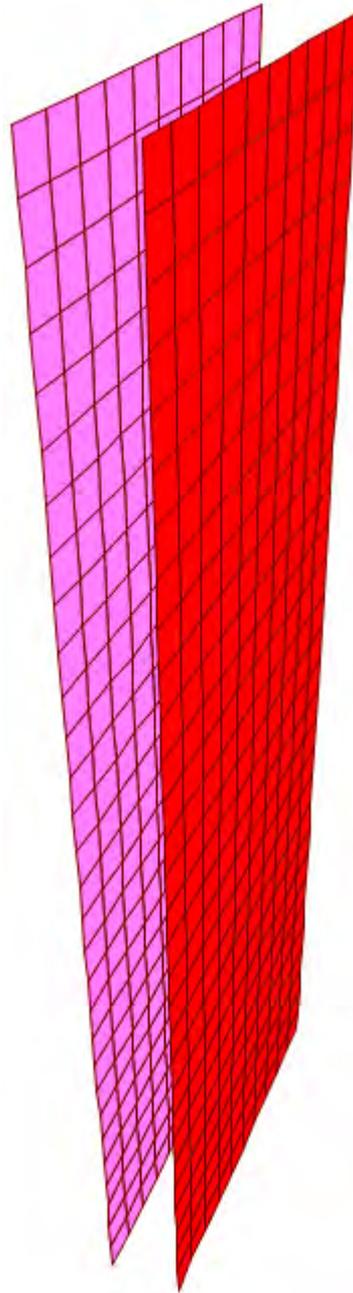


Dimensiones para Alternativa 2 de muro de carga.



3.- Modelo de cálculo

Para la obtención de los esfuerzos que solicitan a los paneles, han sido realizados varios modelos de cálculo de geometría exacta de los paneles mediante modelos en 3D, así como su comportamiento y condiciones de contorno reales mediante el programa de elementos finitos SAP2000, el cual permite definir las distintas situaciones analizadas.



Modelo 3D de cálculo realizado en SAP2000



4.- Cargas

Peso propio (PP)

El peso propio es calculado directamente por el programa de cálculo en función de las dimensiones de los elementos. Para ello se consideran los siguientes valores de peso específico en función del material a utilizar:

- i.flow SPECIAL 23,05 kN/m³

Carga muerta (CM)

La carga muerta se corresponde con el peso del forjado y todos los elementos constructivos que apoyarán sobre el muro de carga. Al no disponer de datos concretos de los elementos, y teniendo en cuenta lo establecido en el Anexo C del CTE DB-SE-AE, se considera una carga superficial de 4,5 kN/m²

- Peso propio forjado 3,00 kN/m²
- Peso de elementos de acabado 1,50 kN/m²

Sobrecarga de uso (SC 1, SC 2)

Como se ha comentado en el punto anterior se desconocen las características concretas del edificio donde se dispondrán los muros de carga. Por ello, se tendrán en cuenta dos situaciones distintas de sobrecargas. Los valores adoptados se muestran a continuación.

Para una categoría de uso A, y según lo indicado en la tabla 3.1, se considera una carga superficial de 2 kN/m².

Para una categoría de uso G1, y según lo indicado en la tabla 3.1, se considera una carga superficial de 1 kN/m².

No existirá concomitancia entre ambas acciones variables.

Viento (PRESIÓN, SUCCIÓN)

Para la obtención de la carga de viento se siguen las indicaciones establecidas en el Código Técnico de la Edificación (CTE DB SE-AE).

La presión estática de viento puede expresarse como:

$$Q_e = Q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

Donde:

La presión dinámica del viento se obtiene del Anejo D, apartado D.1 del citado documento y para la situación de proyecto (Cádiz) se tiene una zona eólica C y, por tanto:

$$q_e = 0,526 \text{ kN/m}^2$$

El coeficiente de exposición, c_e , se puede obtener de la tabla 3.4, para la cual, del lado de la seguridad, se considera un grado de aspereza del entorno tipo I y una altura del punto considerado de 1,5 m, por lo que se tiene:

$$c_e = 2,00$$

Los coeficientes eólicos, considerando una esbeltez en el plano paralelo al viento menor que 0,25, se pueden obtener de la tabla D.3, quedando:

$$c_p = 0,70$$



$$c_s = -1,20$$

Por lo tanto, la presión estática del viento a considerar sería:

$$q_{ep} = 0,74 \text{ kN/m}^2 \text{ (Presión)}$$

$$q_{es} = -1,26 \text{ kN/m}^2 \text{ (Succión)}$$

Las combinaciones de carga empleadas son las siguientes:

$$1,00 \cdot PP + 1,00 \cdot CM$$

$$1,35 \cdot PP + 1,35 \cdot CM$$

$$1,00 \cdot PP + 1,00 \cdot CM + 1,50 \cdot \text{PRESIÓN}$$

$$1,35 \cdot PP + 1,35 \cdot CM + 1,50 \cdot \text{PRESIÓN}$$

$$1,00 \cdot PP + 1,00 \cdot CM + 1,50 \cdot \text{SUCCIÓN}$$

$$1,35 \cdot PP + 1,35 \cdot CM + 1,50 \cdot \text{SUCCIÓN}$$

$$1,00 \cdot PP + 1,00 \cdot CM + 1,50 \cdot SC_1$$

$$1,35 \cdot PP + 1,35 \cdot CM + 1,50 \cdot SC_1$$

$$1,00 \cdot PP + 1,00 \cdot CM + 1,50 \cdot SC_2$$

$$1,35 \cdot PP + 1,35 \cdot CM + 1,50 \cdot SC_2$$

$$1,00 \cdot PP + 1,00 \cdot CM + 1,50 \cdot SC_2 + 0,90 \text{ PRESIÓN}$$

$$1,35 \cdot PP + 1,35 \cdot CM + 1,50 \cdot SC_2 + 0,90 \text{ PRESIÓN}$$

$$1,00 \cdot PP + 1,00 \cdot CM + 1,50 \cdot SC_2 + 0,90 \text{ SUCCIÓN}$$

$$1,35 \cdot PP + 1,35 \cdot CM + 1,50 \cdot SC_2 + 0,90 \text{ SUCCIÓN}$$

$$1,00 \cdot PP + 1,00 \cdot CM + 1,05 \cdot SC_2 + 1,50 \text{ PRESIÓN}$$

$$1,35 \cdot PP + 1,35 \cdot CM + 1,05 \cdot SC_2 + 1,50 \text{ PRESIÓN}$$

$$1,00 \cdot PP + 1,00 \cdot CM + 1,05 \cdot SC_2 + 1,50 \text{ SUCCIÓN}$$

$$1,35 \cdot PP + 1,35 \cdot CM + 1,05 \cdot SC_2 + 1,50 \text{ SUCCIÓN}$$



5.- Propiedades del material

Según se sabe, los materiales que serán empleados en la construcción de los paneles serán unos hormigones de altas prestaciones, los cuales han sido ensayados y, según los datos aportados por el fabricante, las resistencias características a flexo-tracción son:

$$\text{i.flow SPECIAL} \quad f_{ct,k,fl} = 9,00 \text{ MPa}$$

A partir de estos valores, y según las indicaciones de la EHE-08, se pueden obtener las resistencias de diseño a flexo-tracción y tracción, las cuales no podrán ser superadas en ninguna fibra de los paneles según el caso de análisis.

DATOS MATERIAL	
$f_{ct,k,fl}$ (MPa)	9,00
$f_{ct,k}$ (MPa)	5,84
γ_c (MPa)	1,50
$f_{ct,d,fl}$ (MPa)	6,00
f_{ctd} (MPa)	3,90

Resistencia de diseño a tracción y flexotracción del hormigón i.flow SPECIAL.

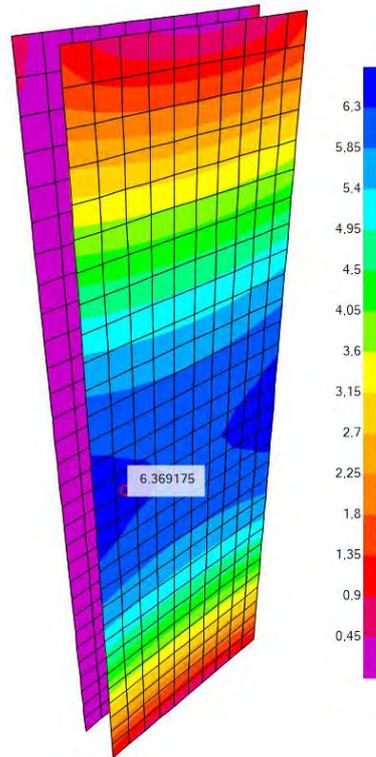
En las situaciones en las que los paneles trabajen predominantemente a flexión, la resistencia límite que fija la máxima tensión de tracción que éstos podrán soportar será la resistencia de diseño a flexo-tracción. En el caso de que el esfuerzo predominante sea de tracción pura la limitación tensional vendrá impuesta por la resistencia de diseño a tracción.



6.- Análisis de los paneles

En este apartado se han considerado las dos tipologías de paneles descritas en el apartado 2.

6.1.- Alternativa 1



TENSIÓN DE COMPARACIÓN DE VON MISES (MPa)

VERIFICACIÓN A FLEXIÓN i.flow SPECIAL						
DATOS PANEL				VERIFICACIÓN		
L (m)	e (m)	I (m ⁴)	γ (m)	f _{ct,d,fl} (MPa)	σ _{VM} (MPa)	¿σ _{VM} < f _{ct,d,fl} ?
1,00	0,055	1,38646E-05	0,028	6,00	6,36	NO CUMPLE

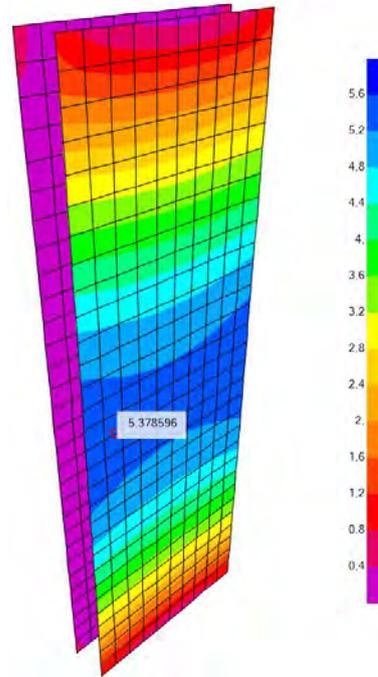
Verificación tensional para la tipología 1 de muro de carga. Material i.flow SPECIAL → NO CUMPLE.

El panel más solicitado es sobre el que actúa la acción del viento, trabajando predominantemente a flexotracción, por lo que la tensión de comparación ha sido la resistencia de diseño a flexotracción.

Se puede observar que la tensión de comparación de Von Mises para la combinación de cálculo más desfavorable supera el valor de la resistencia a flexotracción de diseño del elemento, por lo tanto, se descarta su uso como muro de carga para el caso que nos ocupa.



6.2.- Alternativa 2



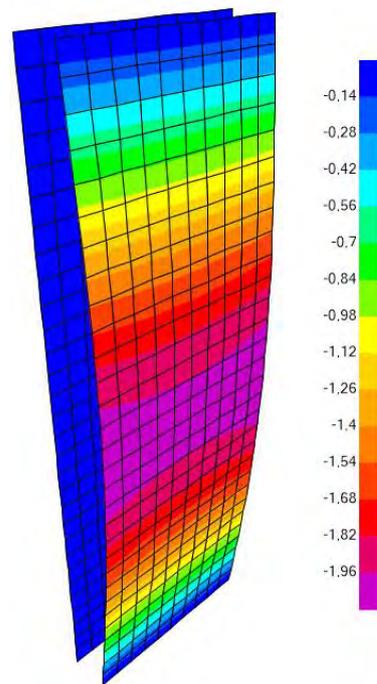
TENSIÓN DE COMPARACIÓN DE VON MISES (MPa)

VERIFICACIÓN A FLEXIÓN i.flow SPECIAL						
DATOS PANEL				VERIFICACIÓN		
L (m)	e (m)	I (m ⁴)	γ (m)	f _{ct,d,fl} (MPa)	σ _{VM} (MPa)	¿σ _{VM} < f _{ct,d,fl} ?
1,00	0,060	0,000018	0,030	6,00	5,38	CUMPLE

Verificación tensional para la tipología 2 de muro de carga. Material i.flow SPECIAL →CUMPLE.

Para esta alternativa, la resistencia a flexotracción de diseño del elemento resulta superior a la tensión de comparación de Von Mises obtenida en el modelo de cálculo para la combinación más desfavorable, por lo tanto, se acepta su uso como muro de carga para la vivienda unifamiliar.

Además, para esta alternativa, se comprueban las deformaciones producidas por la acción del viento.



Deformaciones transversales producidas en el muro debidas a la acción del viento

Se obtiene una deformación máxima de 2 mm, equivalente a un límite de $L/1500$, superior a los establecidos por la normativa, por lo tanto, se verifican las deformaciones.



7.- Conclusiones

En base a lo desarrollado en los apartados anteriores, se listan a continuación las conclusiones obtenidas:

- Para la alternativa 1 (espesor de láminas 55 mm), la tensión de comparación de Von Mises obtenida en el modelo cálculo supera el valor de la resistencia a flexotracción de diseño del elemento. Por lo tanto, se descarta la disposición de esta solución.
- Para la alternativa 2 (espesor de láminas 60 mm), la resistencia a flexotracción de diseño del elemento resulta superior a la de tensión de comparación de Von Mises obtenida en el modelo de cálculo en todos los puntos. Por lo tanto, se verifican todas las comprobaciones y se acepta su uso como muro de carga para la situación descrita. Además, se han comprobado las deformaciones producidas por la acción del viento, resultando menores que los límites marcados por la normativa.

En Málaga, a 13 de julio de 2021

Fdo. **EUGENIO LORENTE MORENO**
Ingeniero Civil

Fdo. **JUAN SÁNCHEZ BERROCAL**
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

