

# CÁLCULO DE PETOS DE TERRAZA CON HORMIGÓN UHPC

CONJUNTO RESIDENCIAL LIMONAR HOMES (MÁLAGA)

CEMENTOS REZOLA

Nº EXPEDIENTE: O/2104564/1/01

INFORME

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



**Cementos Rezola**  
HEIDELBERGCEMENT Group

**cemosa**  
Ingeniería y Control

FECHA: JUNIO, 2021



---

#### CUADRO DE CONTROL

Descripción del documento	MEMORIA DE CÁLCULO DE PETO PARA TERRAZA
Escrito por:	CEMOSA
Revisado por:	CEMOSA
Aprobado por:	CEMOSA
Fecha:	06/2021
Versión del documento:	01
Resumen:	

---

#### CONTROL DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Modificación
01	06/2021	Versión inicial

---

#### CONTROL DE DISTRIBUCIÓN

Fecha	Destinatario	Cargo/Entidad
14-06-2021	FYM	Copia digital pdf

---



## INDICE DE CONTENIDO

<b>1.-</b>	<b>Objeto</b> .....	<b>4</b>
<b>2.-</b>	<b>Descripción de la geometría</b> .....	<b>4</b>
<b>3.-</b>	<b>Modelo de cálculo</b> .....	<b>8</b>
<b>4.-</b>	<b>Cargas</b> .....	<b>9</b>
<b>5.-</b>	<b>Propiedades del material</b> .....	<b>11</b>
<b>6.-</b>	<b>Análisis de los paneles</b> .....	<b>12</b>
6.1.-	Alternativa 1a con i.flow SPECIAL .....	12
6.2.-	Alternativa 1a con i.design EFFIX ARCA .....	13
6.3.-	Alternativa 1b con i.flow SPECIAL .....	14
6.4.-	Alternativa 1b con i.design EFFIX ARCA .....	15
6.5.-	Alternativa 2 con i.flow SPECIAL .....	16
6.6.-	Alternativa 2 con i.design EFFIX ARCA .....	17
<b>7.-</b>	<b>Peso de los elementos</b> .....	<b>18</b>
<b>8.-</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>19</b>



## 1.- Objeto

El objeto del presente documento es el de realizar la verificación estructural de los paneles prefabricados con hormigón UHPC (*Ultra-High Performance Concrete*) que servirán de peto de terrazas en el nuevo conjunto residencial de Limonar Homes, en el término municipal de Málaga.

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.

Estos hormigones se fabricarán con dos morteros con distintas 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.
- i.design EFFIX ARCA. Es un mortero de muy altas prestaciones obtenido por el amasado de un preparado premezclado con base cementosa y fibras estructurales (PVA) al que se añade agua necesaria para su fabricación. Se utiliza para la realización de elementos de revestimiento y objetos arquitectónicos.

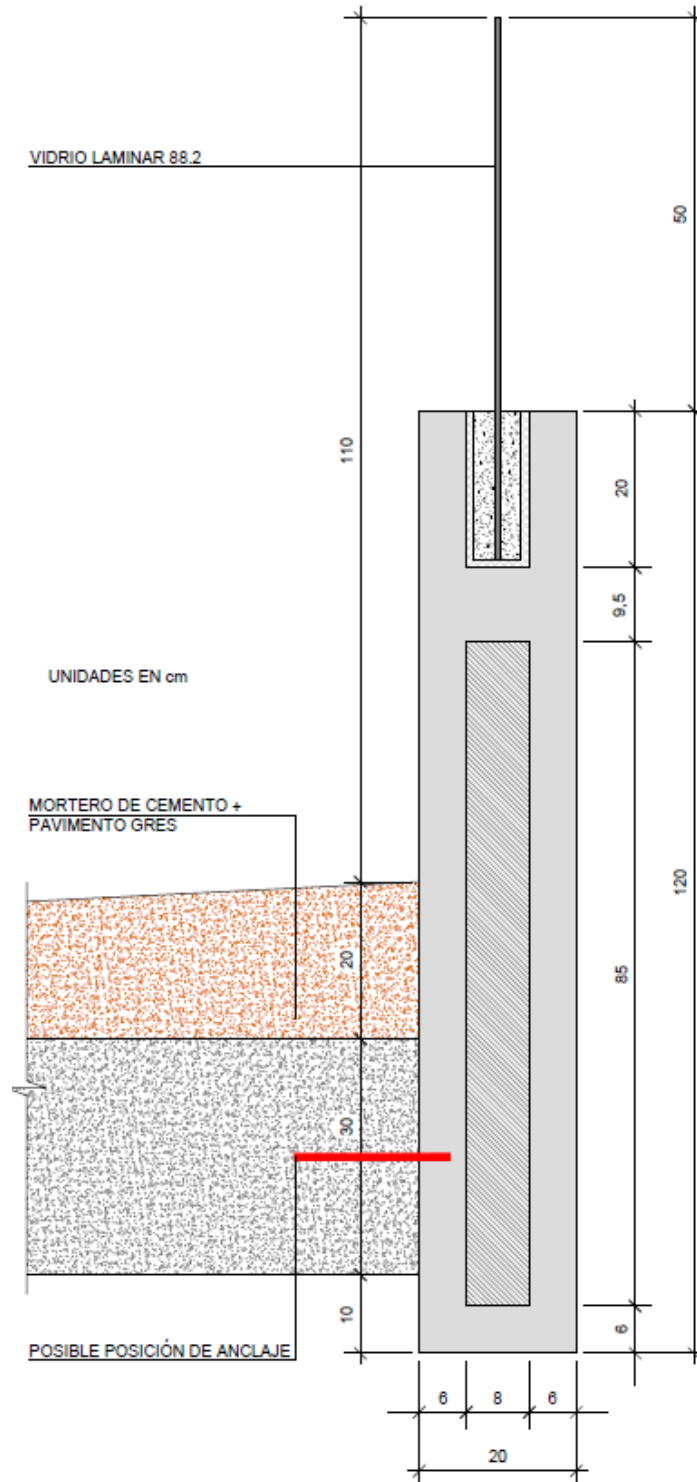
Además, se darán recomendaciones para los puntos de anclaje, para así garantizar el correcto funcionamiento de los mismos y de los elementos de fachada.

## 2.- Descripción de la geometría

En el análisis que se llevará a cabo en este informe se consideran tres posibles geometrías para los petos de fachada, según la solución que se opte por disponer. A continuación, se describen las posibles alternativas y se muestran sus dimensiones principales.



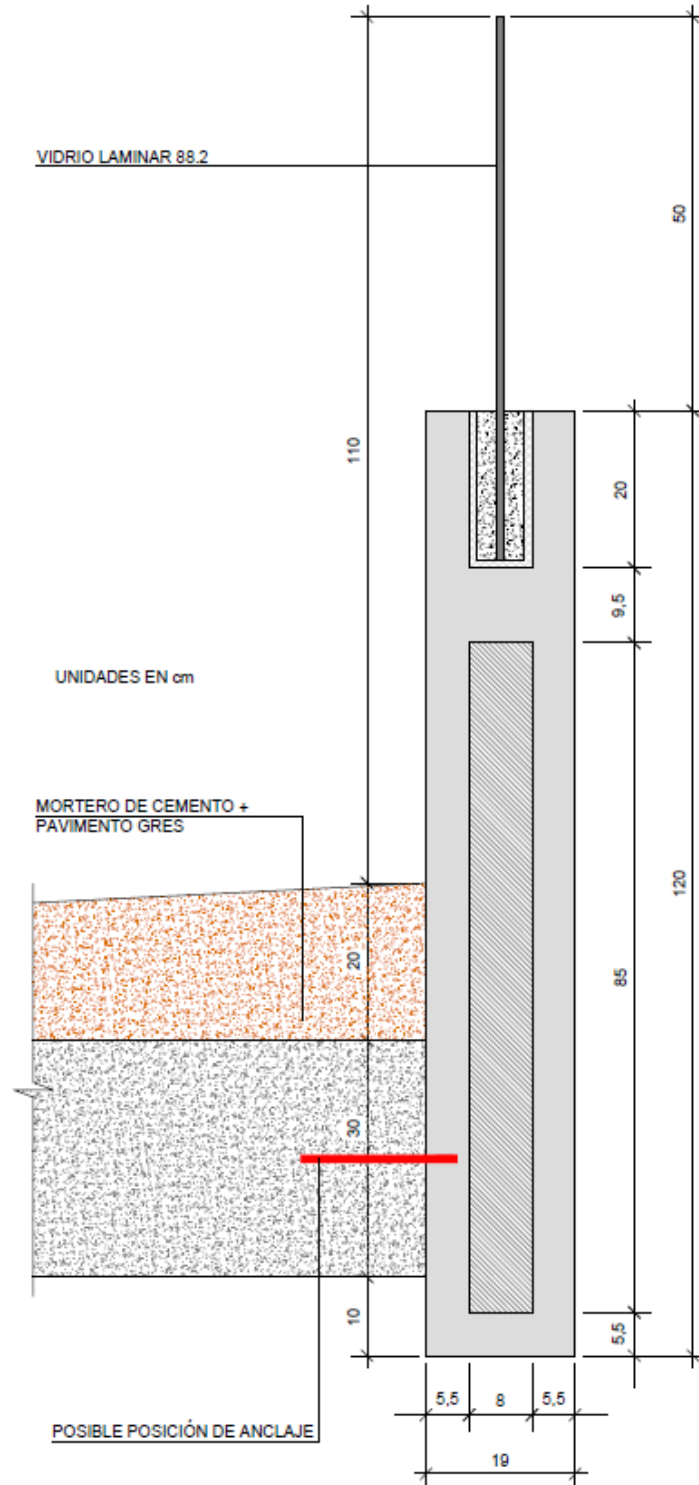
- **Alternativa 1a.** En este caso se coloca el sistema de cerramiento completo, consistente en un elemento de hormigón de alta resistencia ahuecado, con piezas de 6 milímetros de espesor y con forma en U en su parte superior para la ubicación del vidrio laminar.



*Dimensiones para Alternativa 1a de peto de terraza.*



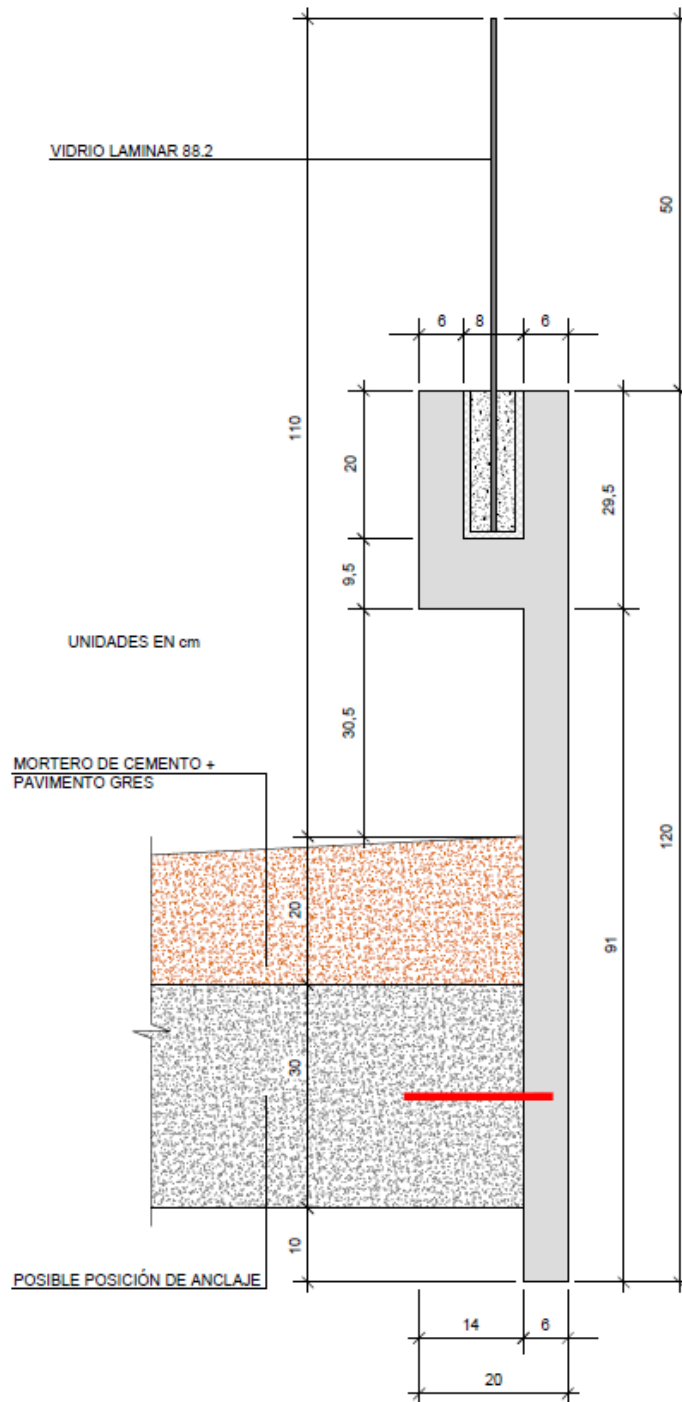
- **Alternativa 1b.** Se dispone la misma tipología que para el caso anterior, pero se ajustan los espesores a 55 mm.



Dimensiones para Alternativa 1b de peto de terraza.



- **Alternativa 2.** Se considera una segunda situación, en la que se reducen las dimensiones del elemento. Se mantiene la forma en U de la zona superior, pero se suprime el panel interior de 6 milímetros de espesor.

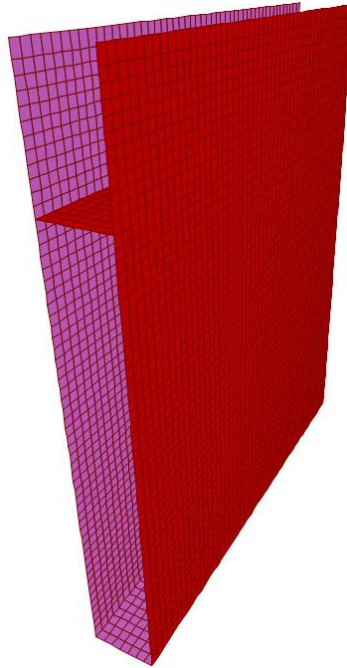


*Dimensiones para Alternativa 2 de peto de terraza.*

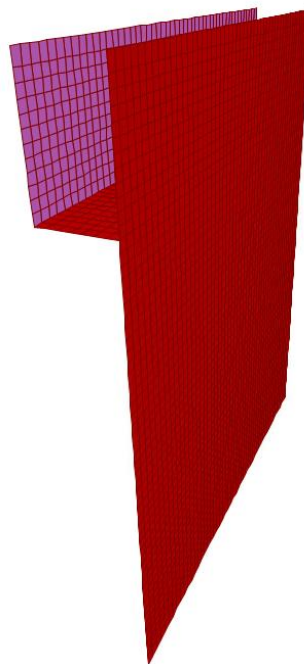


### 3.- Modelo de cálculo

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 para el análisis de la alternativa 1.*



*Modelo 3D de cálculo realizado en SAP2000 para el análisis de la alternativa 2.*





## 4.- Cargas

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, las cargas actuantes sobre la estructura son el peso propio y la acción del viento.

### **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/m<sup>3</sup>
- i.design EFFIX ARCA 22,26 kN/m<sup>3</sup>

### **Carga muerta (CM)**

La carga muerta se corresponde con el peso del vidrio colocado sobre el panel. Para ello, se considera una carga superficial sobre el elemento de 0,78 kN/m<sup>2</sup>.

### **Empuje sobre barandillas (EMP)**

Para obtener la fuerza de empuje sobre la barandilla se han seguido las indicaciones establecidas en el Código Técnico de la Edificación (CTE DB SE-AE).

Para una categoría de uso A, y según lo indicado en la tabla 3.3, se considera una carga de 0,80 kN/m aplicada a 1,10 metros de altura, por ser esta la cota superior del vidrio.

### **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 (Málaga) se tiene una zona eólica A y, por tanto:

$$q_e = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

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 III y una altura del punto considerado de 10 m, por lo que se tiene:

$$c_e = 2,35$$

Los coeficientes eólicos, considerando una esbeltez en el plano paralelo al viento mayor que 5,00, se pueden obtener de la tabla 3.5, quedando:

$$c_p = 0,80$$

$$c_s = -0,70$$

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

$$q_{ep} = 0,80 \text{ kN/m}^2 \text{ (Presión)}$$

$$q_{es} = -0,70 \text{ kN/m}^2 \text{ (Succión)}$$



Las combinaciones de carga empleadas son las siguientes:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



## 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:

i.flow SPECIAL	$f_{ct,k,fl} = 9,00$ MPa
i.design EFFIX ARCA	$f_{ct,k,fl} = 10,00$ 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
$e_{panel}$ (mm)	60,00
$f_{ct,k}$ (MPa)	5,84
$\gamma_c$ (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.*

DATOS MATERIAL	
$f_{ct,k,fl}$ (MPa)	10,00
$e_{panel}$ (mm)	60,00
$f_{ct,k}$ (MPa)	6,49
$\gamma_c$ (MPa)	1,50
$f_{ct,d,fl}$ (MPa)	6,67
$f_{ctd}$ (MPa)	4,33

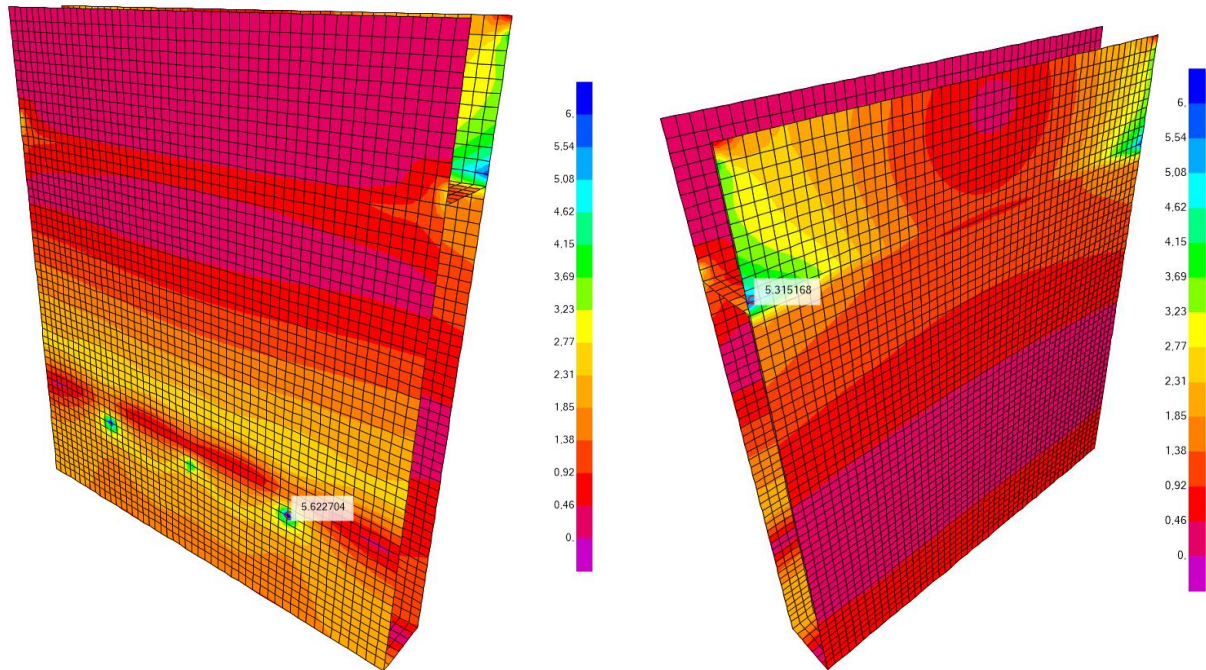
*Resistencia de diseño a tracción y flexotracción del hormigón i.design EFFIX ARCA.*

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 1a con i.flow SPECIAL



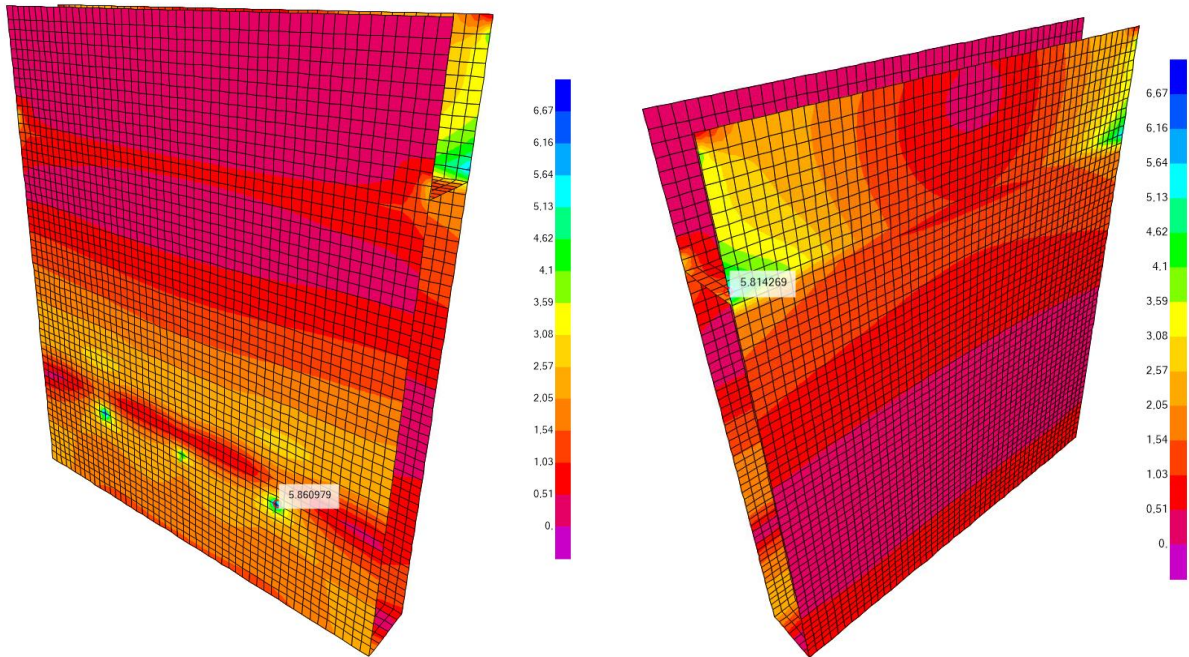
TENSIÓN DE COMPARACIÓN DE VON MISES (MPa)

VERIFICACIÓN A FLEXIÓN i.flow SPECIAL						
DATOS PANEL				VERIFICACIÓN		
L (m)	e (m)	I (m <sup>4</sup> )	y (m)	f <sub>ct,d,fl</sub> (MPa)	σ <sub>VM</sub> (MPa)	¿σ <sub>VM</sub> < f <sub>ct,d,fl</sub> ?
1,00	0,060	0,000018	0,030	6,00	5,62	CUMPLE

Verificación tensional para la tipología 1a de peto de terraza. Material i.flow SPECIAL → CUMPLE.



6.2.- Alternativa 1a con i.design EFFIX ARCA



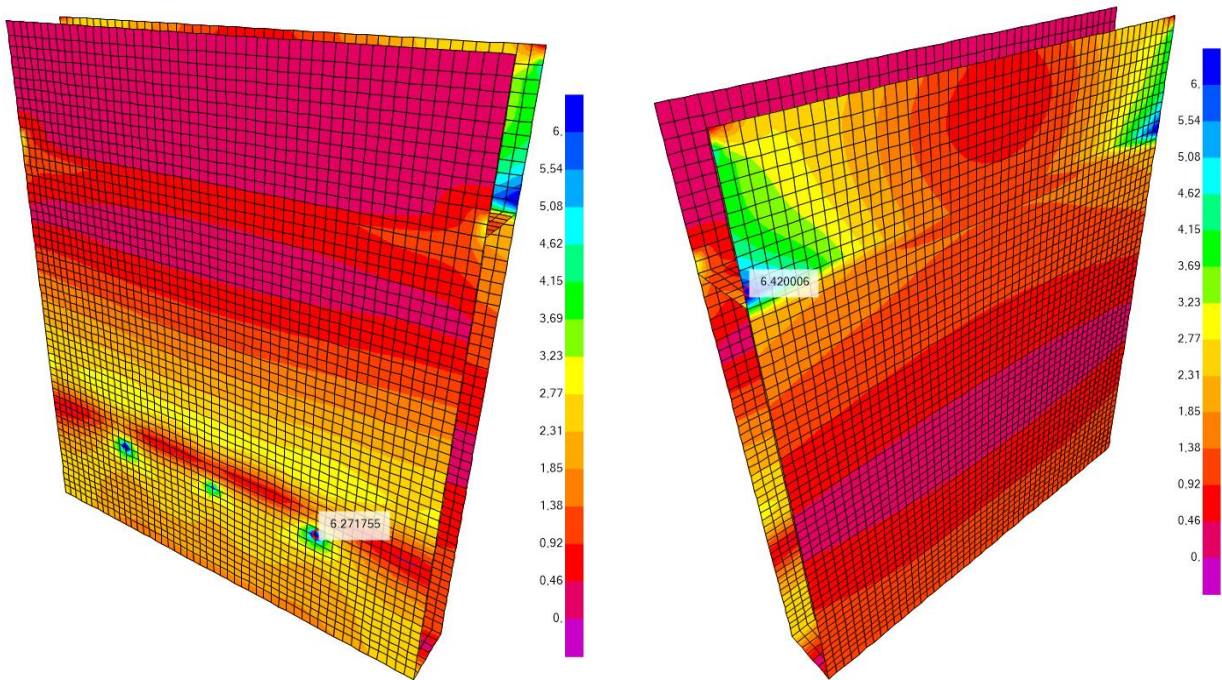
TENSIÓN DE COMPARACIÓN DE VON MISES (MPa)

VERIFICACIÓN A FLEXIÓN i.design EFFIX ARCA						
DATOS PANEL				VERIFICACIÓN		
L (m)	e (m)	I (m <sup>4</sup> )	y (m)	f <sub>ct,d,fl</sub> (MPa)	σ <sub>VM</sub> (MPa)	¿σ <sub>VM</sub> < f <sub>ct,d,fl</sub> ?
1,00	0,060	0,000018	0,030	6,67	5,86	CUMPLE

Verificación tensional para la tipología 1a de peto de terraza. Material i.design EFFIX ARCA →CUMPLE.



### 6.3.- Alternativa 1b con i.flow SPECIAL



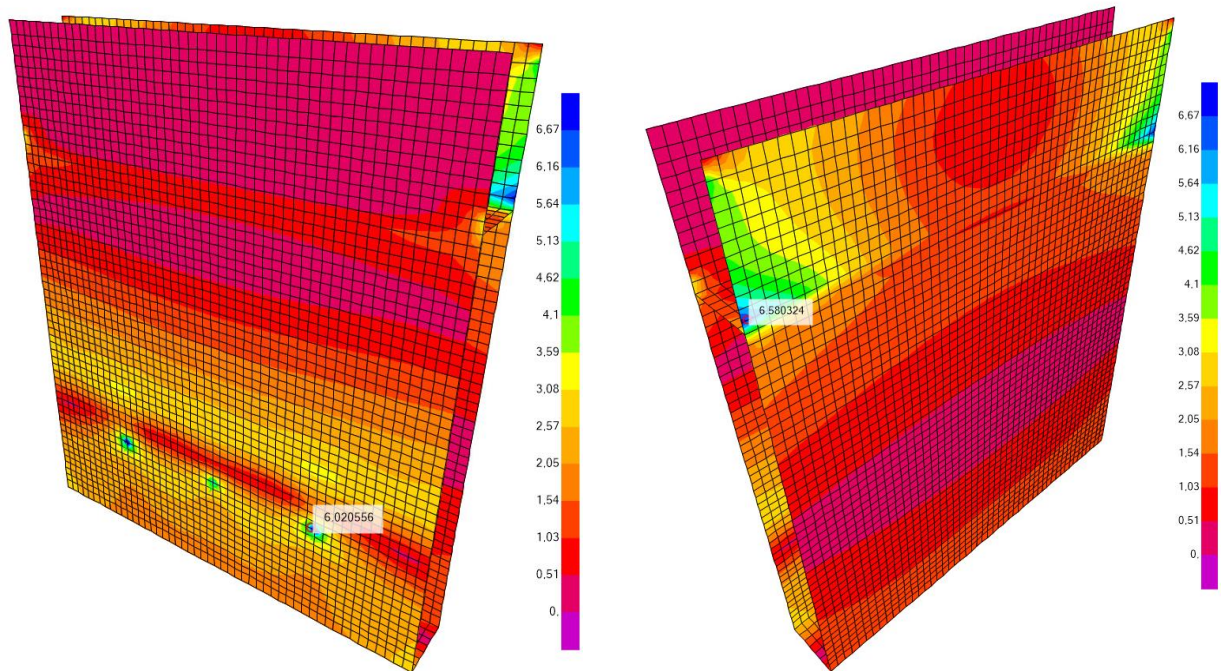
TENSIÓN DE COMPARACIÓN DE VON MISES (MPa)

VERIFICACIÓN A FLEXIÓN i.flow SPECIAL						
DATOS PANEL				VERIFICACIÓN		
L (m)	e (m)	I (m <sup>4</sup> )	y (m)	f <sub>ct,d,fl</sub> (MPa)	σ <sub>VM</sub> (MPa)	¿σ <sub>VM</sub> < f <sub>ct,d,fl</sub> ?
1,00	0,055	1,38646E-05	0,028	6,00	6,42	NO CUMPLE

Verificación tensional para la tipología 1b de peto de terraza. Material i.flow SPECIAL → NO CUMPLE.



### 6.4.- Alternativa 1b con i.design EFFIX ARCA



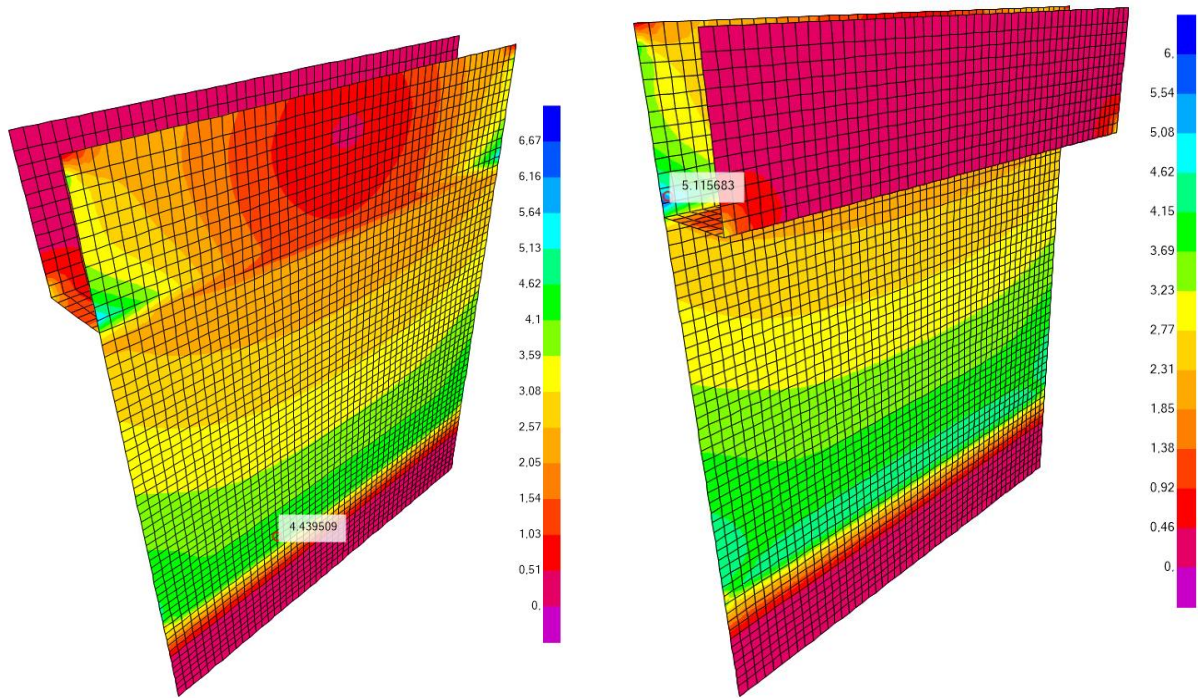
TENSIÓN DE COMPARACIÓN DE VON MISES (MPa)

VERIFICACIÓN A FLEXIÓN i.design EFFIX ARCA						
DATOS PANEL				VERIFICACIÓN		
L (m)	e (m)	I (m <sup>4</sup> )	y (m)	f <sub>ct,d,fl</sub> (MPa)	σ <sub>VM</sub> (MPa)	¿σ <sub>VM</sub> < f <sub>ct,d,fl</sub> ?
1,00	0,060	0,000018	0,030	6,67	6,58	CUMPLE

Verificación tensional para la tipología 1b de peto de terraza. Material i.design EFFIX ARCA → CUMPLE.



### 6.5.- Alternativa 2 con i.flow SPECIAL



TENSIÓN DE COMPARACIÓN DE VON MISES (MPa)

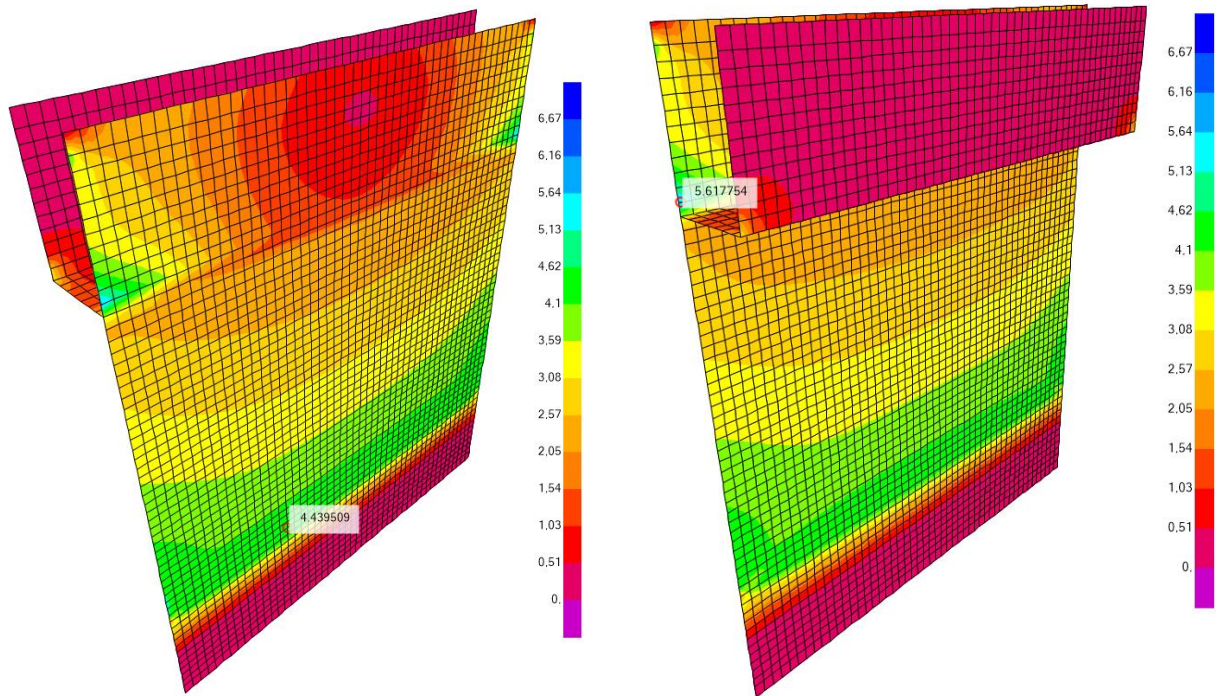
VERIFICACIÓN A FLEXIÓN i.flow SPECIAL						
DATOS PANEL				VERIFICACIÓN		
L (m)	e (m)	I (m <sup>4</sup> )	γ (m)	f <sub>ct,d,fl</sub> (MPa)	σ <sub>VM</sub> (MPa)	¿σ <sub>VM</sub> < f <sub>ct,d,fl</sub> ?
1,00	0,060	0,000018	0,030	6,00	5,11	CUMPLE

Verificación tensional para la tipología 2 de peto de terraza. Material i.flow SPECIAL → CUMPLE.





### 6.6.- Alternativa 2 con i.design EFFIX ARCA



TENSIÓN DE COMPARACIÓN DE VON MISES (MPa)

VERIFICACIÓN A FLEXIÓN i.design EFFIX ARCA						
DATOS PANEL				VERIFICACIÓN		
L (m)	e (m)	I (m <sup>4</sup> )	y (m)	f <sub>ct,d,fl</sub> (MPa)	σ <sub>VM</sub> (MPa)	¿σ <sub>VM</sub> < f <sub>ct,d,fl</sub> ?
1,00	0,060	0,000018	0,030	6,67	5,61	CUMPLE

Verificación tensional para la tipología 2 de peto de terraza. Material i.design EFFIX ARCA → CUMPLE.

Los elementos trabajan predominantemente a flexión, por lo que la resistencia límite fijada para las verificaciones ha sido la resistencia de diseño a flexotracción. Como se puede observar, esta resistencia únicamente es superada para la alternativa 1b con i.flow Special. Para el resto de casos, se cumplen todas las comprobaciones.

Para la alternativa 1 se han dispuesto tres anclajes por metro y para la alternativa 2 ha sido necesario disponer un anclaje continuo del elemento para cumplir con la verificación tensional.

Como se puede intuir, el número y disposición de los anclajes es un parámetro determinante para el comportamiento de los elementos de fachada, por lo tanto, se recomienda seguir las recomendaciones propuestas en el presente informe para los mismos.



## 7.- Peso de los elementos

En base a las características declaradas en las fichas de los materiales, se han elaborado unas tablas con los pesos de proyecto para las distintas alternativas de petos de terraza.

PESO DE PETO DE TERRAZA				
CON i.flow SPECIAL				
	A <sub>transversal</sub> (m <sup>2</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Peso (kg/m)	Peso (kg/m <sup>2</sup> )
Alternativa 1a	0,1564	2350	<b>367,54</b>	<b>306,28</b>
Alternativa 1b	0,1440	2350	<b>338,40</b>	<b>282,00</b>
Alternativa 2	0,0973	2350	<b>228,66</b>	<b>190,55</b>
CON i.design EFFIX ARCA				
	A <sub>transversal</sub> (m <sup>2</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Peso (kg/m)	Peso (kg/m <sup>2</sup> )
Alternativa 1a	0,1564	2270	<b>355,03</b>	<b>295,86</b>
Alternativa 1b	0,1440	2270	<b>326,88</b>	<b>272,40</b>
Alternativa 2	0,0973	2270	<b>220,87</b>	<b>184,06</b>

*Peso de los elementos para cada tipo de alternativa*

## 8.- Conclusiones

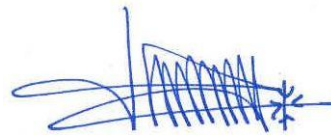
En base a lo desarrollado en los apartados anteriores, se listan a continuación las conclusiones obtenidas:

- Los petos de terraza trabajan principalmente a flexotracción, por ello, durante el análisis, la tensión de comparación utilizada ha sido la resistencia a flexotracción de diseño del elemento, resultando, en todos los puntos, superior a la tensión de comparación de Von Mises obtenida en el modelo cálculo. Por lo tanto, se verifican las comprobaciones para ambas alternativas.
- Como se puede observar en los resultados mostrados, para la alternativa 1b, no se verifican las comprobaciones tensionales para una de las situaciones (material i.flow SPECIAL). Por lo tanto, en caso de elegir la alternativa 1b, solo sería posible utilizando el material i.design EFFIX ARCA.
- Se aconseja no disponer menos de tres anclajes por metro para la alternativa 1 de peto de terraza y realizar una fijación continua en el caso de que la tipología dispuesta sea la alternativa 2, con el fin de evitar las concentraciones de tensiones próximas a los mismos, que puedan superar las resistencias de cálculo y provocar un fallo en el hormigón circundante. Por lo tanto, la verificación tensional llevada a cabo en el presente informe queda supeditada a la adecuada disposición de los elementos de fijación.

En Málaga, a 14 de junio de 2021



Fdo. **MANUEL AGUILAR GARCÍA**  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos



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

