

RECÁLCULO DE LOS PANELES PREFABRICADOS DE LA CUBIERTA DE LA IGLESIA ESPÍRITU SANTO. GRANADA.

INFORME TÉCNICO

Nº EXPEDIENTE: O/1804135/1/04



Cementos Rezola
HEIDELBERGCEMENT Group

cemosa
Ingeniería y Control

FECHA: FEBRERO, 2019



CUADRO DE CONTROL

Descripción del documento	MEMORIA DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA DE LA PARROQUIA DEL ESPÍRITU SANTO UBICADA EN GRANADA MEDIANTE EL USO DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE ELABORADO CON EL POLVO MINERAL "i.flow SPECIAL".
Escrito por:	CEMOSA
Revisado por:	CEMOSA
Aprobado por:	CEMOSA
Fecha:	02/2019
Versión del documento:	01
Resumen:	

CONTROL DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Modificación
01	02/2019	Versión inicial

CONTROL DE DISTRIBUCIÓN

Fecha	Destinatario	Cargo/Entidad
20-02-2019	FYM	Copia digital PDF



INDICE DE CONTENIDO

1.- Objeto	4
2.- Descripción de la situación actual	4
3.- Hipótesis de análisis	5
4.- Bases de cálculo	5
4.1.- Descripción de modelos de cálculo.....	5
4.2.- Normativa de aplicación	8
4.3.- Materiales.....	8
4.4.- Acciones consideradas.....	10
4.4.1.- Peso propio.....	11
4.4.2.- Cargas muertas.....	11
4.4.3.- Sobrecarga de uso.....	12
4.4.4.- Sobrecarga de nieve	13
4.4.5.- Acción del viento.....	14
4.4.6.- Acción sísmica.....	17
4.5.- Combinaciones de cargas	19
5.- Verificación de la reducción del espesor de los paneles	22
5.1.- Introducción.....	22
5.2.- Materiales.....	22
5.3.- Verificación frente a solicitaciones normales.....	23
5.3.1.- Metodología de verificación	23
5.3.2.- Esfuerzos de diseño	24
5.3.3.- Cuantías de armadura	26
5.4.- Verificación frente a solicitaciones de cortante.....	28
5.4.1.- Esfuerzos de diseño	28
5.5.- Verificación frente a ELS de deformaciones	30
6.- Conclusiones	31
Apéndice nº1. Ficha técnica “i.flow SPECIAL”	33
Apéndice nº2. Planos	34



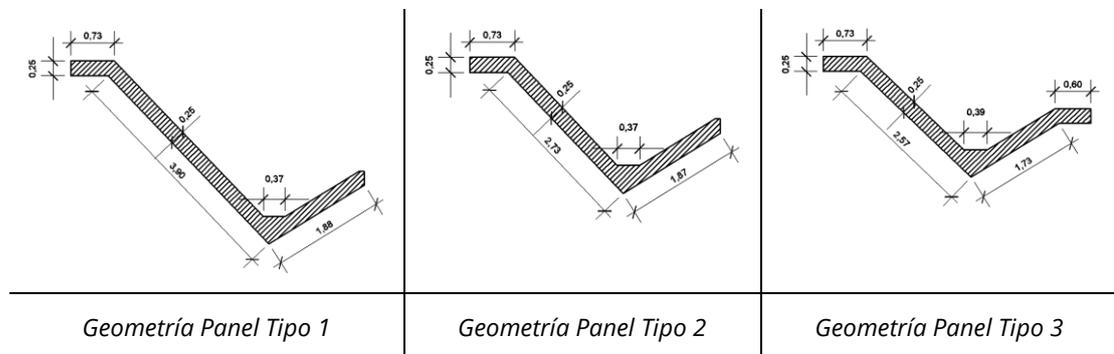
1.- Objeto

El objeto del presente documento es el de realizar el dimensionamiento de los paneles prefabricados de cubierta mediante el empleo de un hormigón autocompactante elaborado con el polvo mineral "i.flow SPECIAL" definidos en el "Proyecto de Ejecución de Parroquia del Espíritu Santo" en la ciudad de Granada.

2.- Descripción de la situación actual

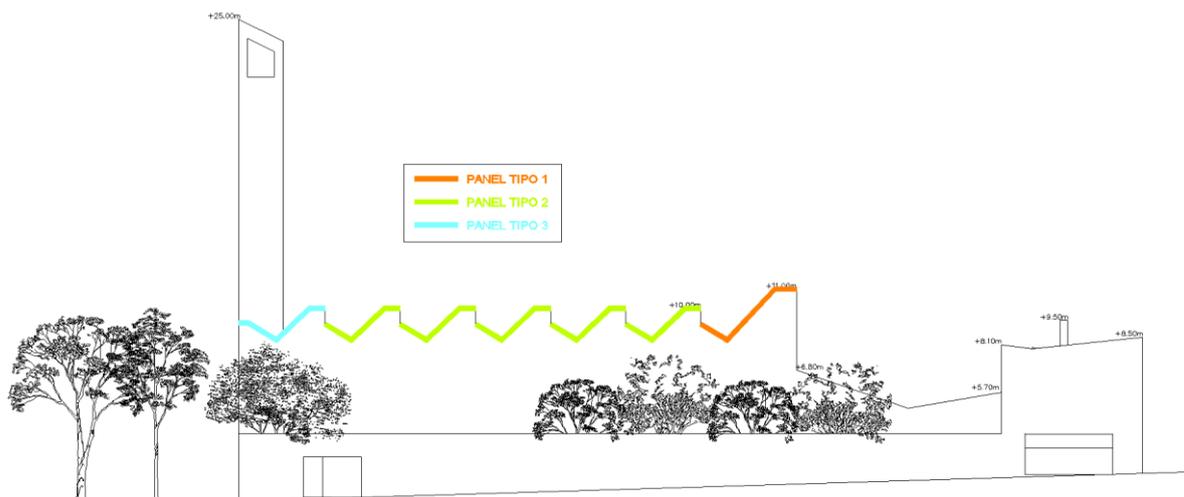
En el citado Proyecto de Ejecución, los paneles de cubierta han sido definidos de hormigón armado ejecutados "in situ", mediante el empleo de un hormigón HA-30, un acero para armar B 500 S y un espesor de placas de 25 cm.

La totalidad de la cubierta está compuesta por 7 paneles divididos en 3 tipologías según sus dimensiones.



Los paneles Tipo 1 y 3 son los paneles inicial y final de la cubierta respectivamente, mientras que los 5 paneles intermedios se corresponden con el Tipo 2.

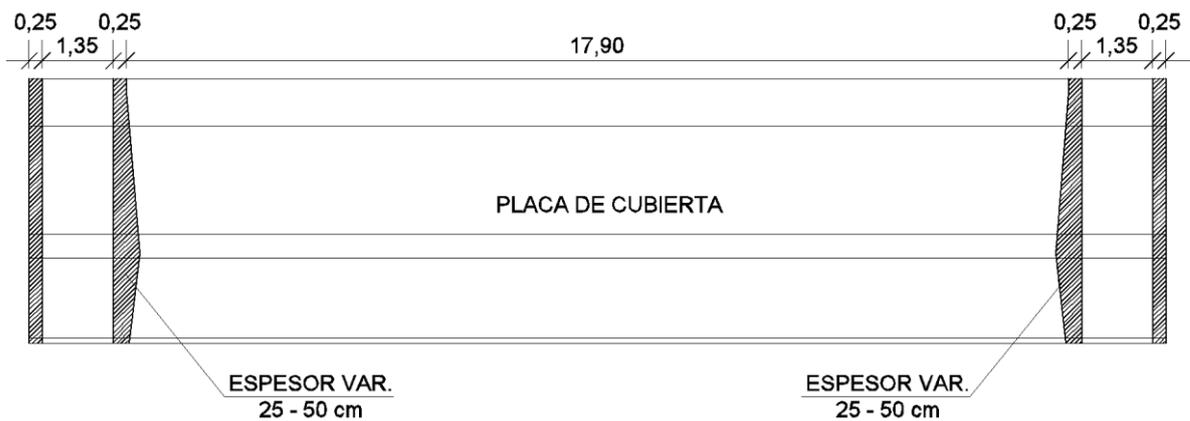
En la siguiente imagen, se muestra un alzado general de la Iglesia, donde se pueden ubicar cada una de las tipologías de paneles:



Ubicación de paneles en el alzado general del lado Sureste de la Iglesia

Los tramos verticales situados entre paneles se corresponden con unos ventanales de vidrio térmico templado de 4+4 mm y colocados sobre carpintería de aluminio.

Debido a la existencia de estos ventanales, cada uno de los paneles se apoyan y conectan en 4 muros laterales de hormigón armado con espesores de 25 cm en los muros exteriores y variable de 25 a 50 cm en los muros interiores, los cuales se muestran en la siguiente imagen:



Posición de los muros de conexión de placas en planta

En la situación de proyecto, debido a que todos los elementos se ejecutan "in situ", la conexión de las placas a los muros puede ser realizada mediante la colocación de barras de espera en los muros y solapando éstas con la armadura de las placas, por lo que la conexión entre ambos elementos ofrece un grado de rigidez elevada.

3.- Hipótesis de análisis

Gracias a la gran inercia que ofrece la propia forma geométrica de los paneles, el alto módulo de elasticidad del hormigón que se consigue con el producto empleado y a la forma de trabajo de los elementos, podría ser viable mantener la solución de hormigón armado definida en el proyecto original, pero reduciendo el espesor de los paneles tal y como se justificará en los apartados siguientes de este documento.

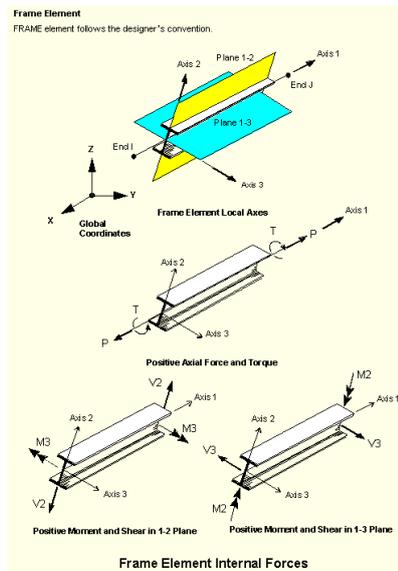
En cualquier caso, los paneles analizados en este informe serán tratados como prefabricados, con los correspondientes condicionantes que ello requiera.

4.- Bases de cálculo

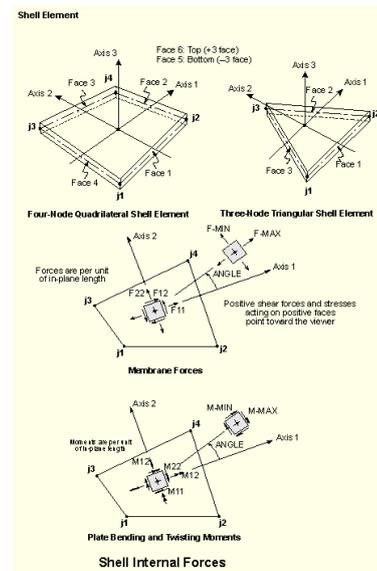
4.1.- Descripción de modelos de cálculo

Para verificar la viabilidad y resistencia de los paneles para las hipótesis de análisis planteadas son realizados varios modelos de cálculo de la cubierta completa, incluyendo los muros laterales, para de este modo considerar las condiciones de contorno reales de los paneles.

Los modelos son realizados mediante el programa de cálculo SAP2000, el cual es un programa orientado al cálculo de estructuras de ingeniería civil y edificación, para cuya resolución emplea el Método de Elementos Finitos. Para la discretización de la estructura se emplean elementos tipo "frame" (barras) de dos nodos y seis grados de libertad por nodo, y elementos tipo "shell" (placas) de tres o cuatro nodos y seis grados de libertad por nodo, cuyas características se muestran en la siguiente figura:

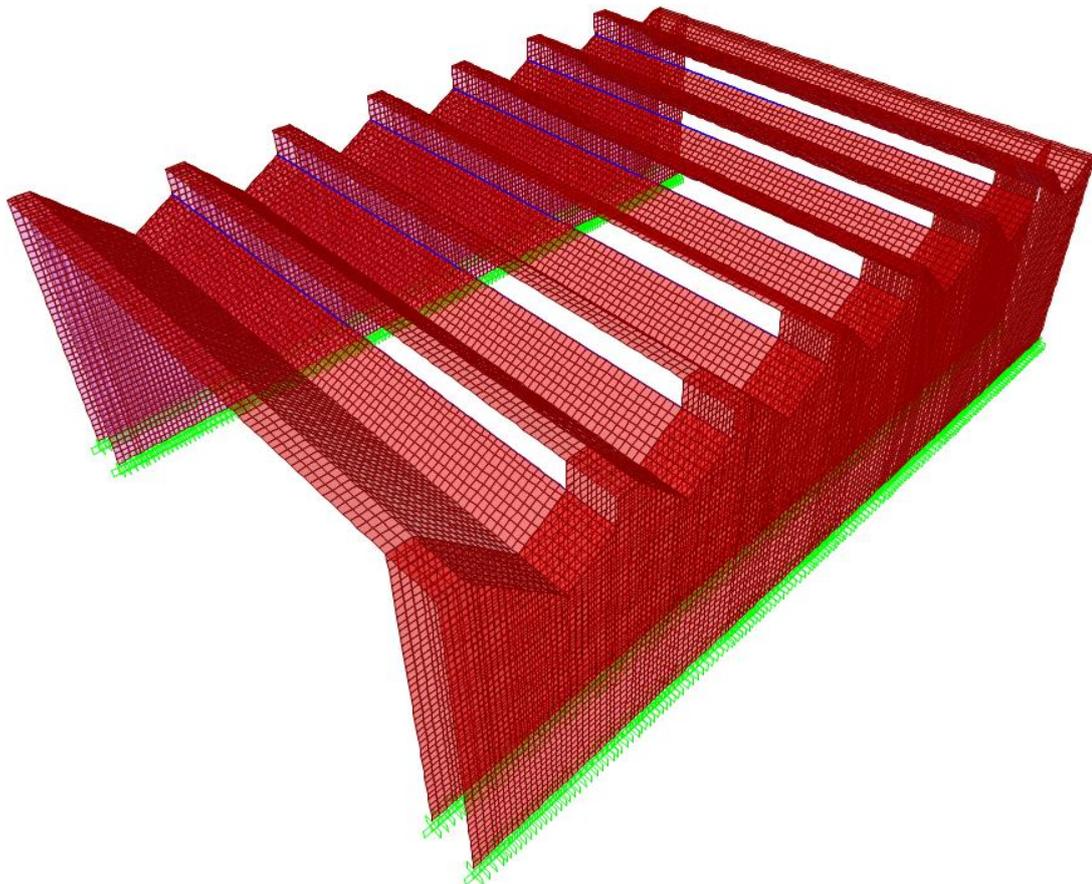


Elemento tipo Frame

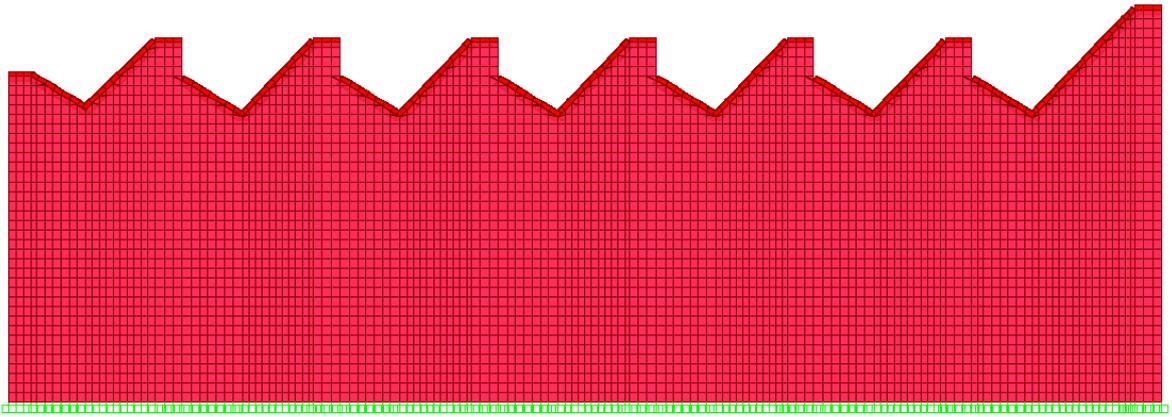


Elemento tipo shell

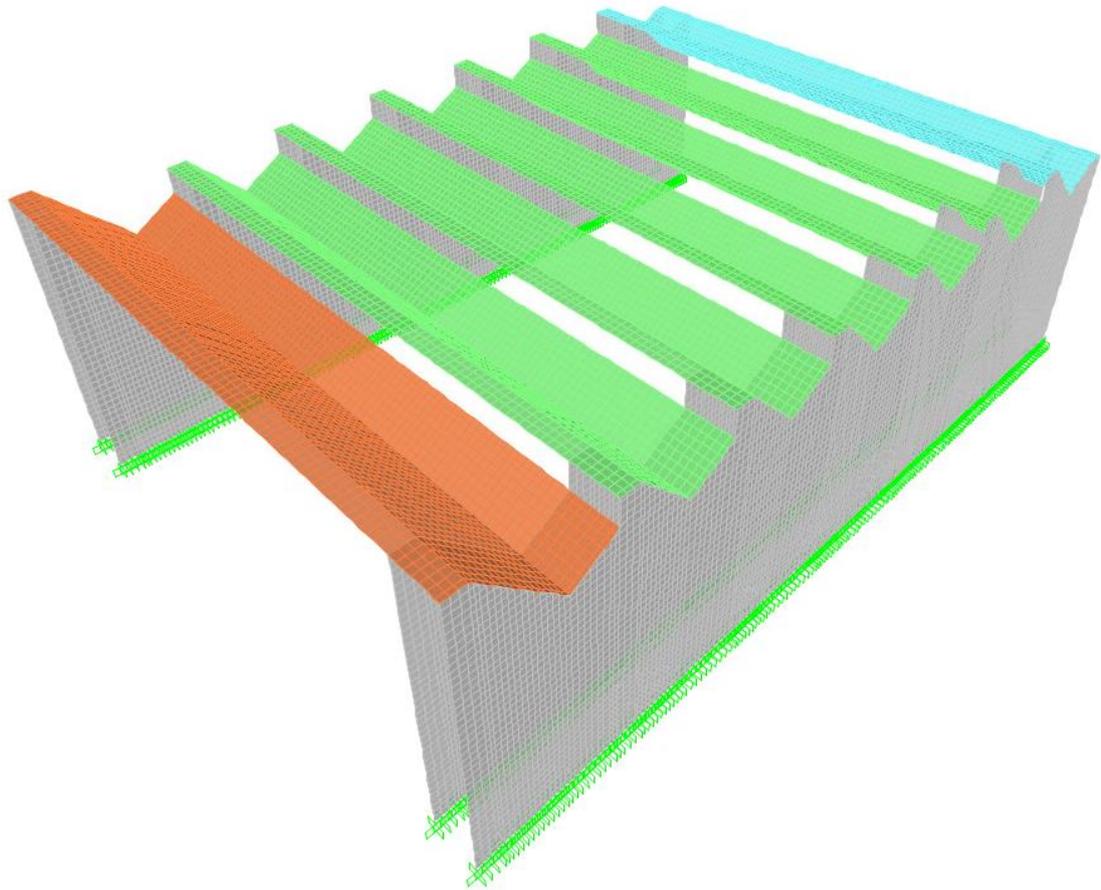
Se muestran en las siguientes imágenes varias vistas del modelo de cálculo realizado para el análisis:



Vista 3D del modelo de cálculo realizado en SAP2000



Vista 3D extruida del alzado Sureste en el modelo de cálculo realizado en SAP2000



Vista 3D de los tipos de placa en el modelo de cálculo realizado en SAP2000

Por tratarse de elementos prefabricados y debido a la dificultad de realizar una conexión totalmente rígida entre los paneles y los muros hormigonados "in situ", en las hipótesis de análisis se considerará, que los paneles se encuentran conectados a los muros interiores, y que únicamente apoyaran en los muros exteriores.



Para ello es necesario realizar un análisis no lineal, a partir del cual, en las situaciones en las que los paneles quieran despegarse en vertical de los muros exteriores, éstos no ejercerán oposición, mientras que sí reaccionaran cuando los paneles necesiten del apoyo de los mismos.

4.2.- Normativa de aplicación

Se consideran las siguientes normativas de aplicación en este caso:

- Código Técnico de la Edificación (CTE SE).
- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08).
- Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación (NCSE-02).

4.3.- Materiales

Los materiales a emplear son los siguientes:

- Hormigón autocompactante elaborado con el polvo mineral "i.flow SPECIAL".
- Acero de refuerzo B 500 SD.

En el Apéndice 1 de este documento se incluye la ficha técnica del mortero "i.flow SPECIAL" desarrollado por Sociedad Financiera y Minera SA (FYM), cuyas características principales se resumen en la siguiente imagen:

Aspecto del material	Polvo de color blanco
Tamaño máximo árido	≤ 1,0 mm
Consistencia	Autocompactante
Escurecimiento a 20 °C (EN 1015-2)	> 280 mm
Densidad de la pasta en estado fresco	2.350 ± 75 kg/m ³
Trabajabilidad	> 30 minutos
Resistencia a compresión a 1 día (EN 1015-11)	> 30 Mpa
Resistencia a compresión a 28 días (EN 1015-11)	> 70 Mpa
Resistencia a flexión a 28 días (EN 1015-11)	> 9 MPa
Clase de resistencia al fuego	A1

Estos resultados han sido obtenidos en pruebas industriales y de laboratorio, entre 5 y 20 °C, utilizando del 11 al 12% de agua de amasado (sobre el peso del polvo).

Principales características del polvo mineral "i.flow SPECIAL"

Las propiedades mostradas en la tabla anterior son, evidentemente, las específicas del polvo mineral. Para el presente cálculo se desea fabricar un hormigón autocompactante por lo que es necesaria la adición de árido.

Según la información facilitada por el fabricante, mediante el empleo del producto "i.flow SPECIAL", se pueden conseguir hormigones de resistencia característica a compresión a 28 días superiores a los 70 MPa, por lo que este será el valor adoptado en los cálculos.

La resistencia a compresión simple del hormigón es su característica más importante y que depende, entre otros muchos factores, de la relación agua/cemento, la cantidad de cemento y el tipo de árido. Se define como resistencia característica, f_{ck} , del hormigón aquel valor que presenta un grado de confianza del 95%, es decir, que existe una probabilidad de 0,95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que f_{ck} .

Se debe garantizar, en cualquier caso, que el hormigón empleado en obra presente una resistencia característica (f_{ck}) igual o superior a los 70 MPa empleados en los cálculos.

Para la determinación del resto de las propiedades mecánicas del hormigón se seguirá, en todo caso, las indicaciones y/o recomendaciones incluidas en la Instrucción EHE-08, ya que el comportamiento del hormigón autocompactante puede considerarse similar al de un hormigón



convencional de igual relación agua/cemento y elaborado con los mismos materiales componentes.

Únicamente cabe destacar que el módulo de deformación del hormigón autocompactante depende de su contenido de áridos. Si este contenido es alto (entre el 65% y el 70%) puede considerarse que el módulo de deformación será equivalente al de un hormigón tradicional; pero si es bajo (menor del 65%), el módulo será menor debido al mayor volumen de pasta, cuyo módulo de elasticidad es menor que el de los áridos. En tal caso podrá estimarse una disminución de módulo de deformación del hormigón autocompactante comprendida entre un 7% y un 15%.

En este caso, por no conocer a priori las dosificaciones del hormigón, se supondrá un reducción del módulo de elasticidad de un 10% con respecto al de un hormigón convencional.

Para un hormigón HA-70 se tendrían las siguientes propiedades mecánicas:

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES SEGÚN EHE-08			
HORMIGÓN		ACERO	
Tipo	HA-70	t (días)	15
f_{ck} (MPa)	70	s	0,25
$f_{ct,m}$ (MPa)	4,85	α	1,00
$f_{ct,k}$ (MPa)	3,40	β_{cc}	0,91
$f_{ctm,fi}$ (MPa)	7,04	$f_{cm}(t)$ [Mpa]	71,18
γ_c	1,50	$f_{ct,m}(t)$ [Mpa]	4,43
α_{cc}	1,00	E_{cm} (MPa)	36317,60
f_{cd} (MPa)	46,67	$E_{cm}(t)$ [Mpa]	35333,55
α_{ct}	1,00	β_E	1,125
f_{ctd} (MPa)	2,26	E_c (MPa)	40857,30
f_{cm} (MPa)	78,00	v	0,20
		α ($^{\circ}C^{-1}$)	1,00E-05

Propiedades mecánicas de un hormigón convencional HA-70 y del acero B-500-S

Tal y como se ha comentado, se reduce en un 10% el módulo de deformación secante del hormigón a 28 días, adoptando finalmente:

$$E_{cm} = 32.685 \text{ MPa}$$

En la siguiente imagen se muestra la definición de los materiales Hormigón "i.flow SPECIAL" y B 500 SD en el modelo de cálculo:



Propiedades mecánicas de los materiales Homigón“i.flow SPECIAL” y B 500 SD introducidos en el modelo de cálculo

4.4.- Acciones consideradas

En la siguiente figura se muestran las hipótesis simples consideradas en los cálculos en seguimiento al Código Técnico de la Edificación (CTE DB SE-AE):

DEFINICIÓN DE HIPÓTESIS SIMPLES	
TIPO	DESCRIPCIÓN
PP	Peso propio de los elementos estructurales
CM	Carga muerta debida a elementos no estructurales tales como formación de cubierta y cerramiento de vidrio en ventanales
SCU	Sobrecarga de uso en cubierta accesible únicamente para conservación (Categoría G). Esta sobrecarga de uso no se considera concomitante con el resto de acciones variables
NIEVE	Sobrecarga de nieve
Vx+	Presión/Succión del viento actuando en la dirección positiva del eje X
Vx- SIT.1	Presión/Succión del viento actuando en la dirección negativa del eje X para la situación 1
Vx- SIT.2	Presión/Succión del viento actuando en la dirección negativa del eje X para la situación 2
Vy	Presión/Succión del viento actuando en la dirección Y
SISMO X	Acción del sismo actuando en la dirección X
SISMO Y	Acción del sismo actuando en la dirección Y
SISMO Z	Acción del sismo actuando en la dirección Z

Descripción de las hipótesis simples



4.4.1.- Peso propio

El peso propio es calculado automáticamente por el programa de cálculo, considerando los siguientes pesos específicos de los materiales:

PP	Peso propio de la estructura
-----------	------------------------------

MATERIALES	PESO ESPECÍFICO (kN/m ³)
i.design EFFIX ARCA	25,00
B 500 SD	78,50

Pesos específicos de los materiales utilizados

4.4.2.- Cargas muertas

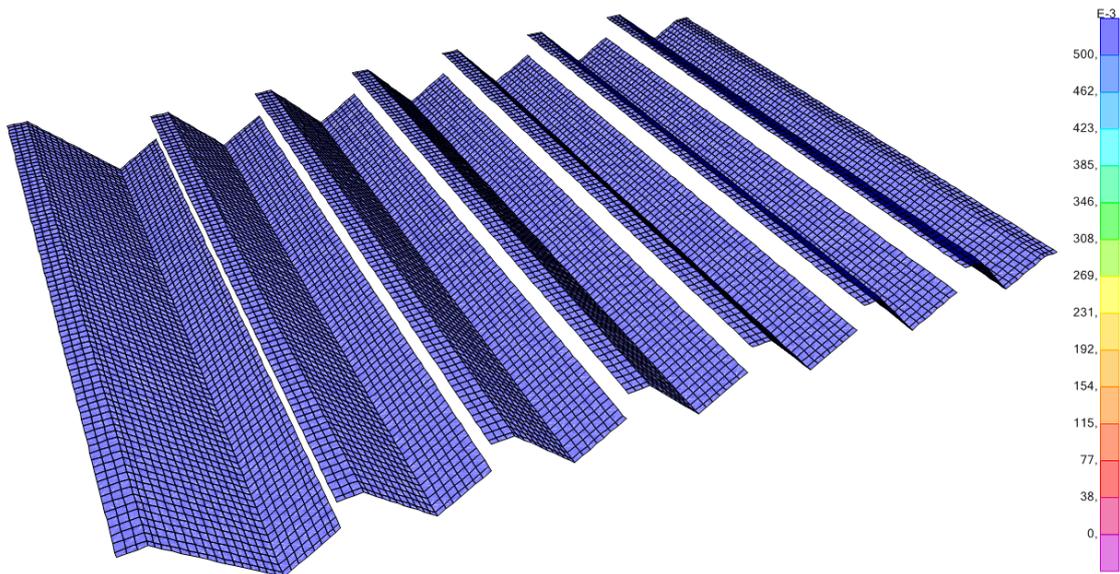
En esta hipótesis se consideran todas las cargas permanentes de origen no estructural tales como formación de cubiertas y cerramientos de vidrio en este caso.

CM	Cargas muertas
-----------	----------------

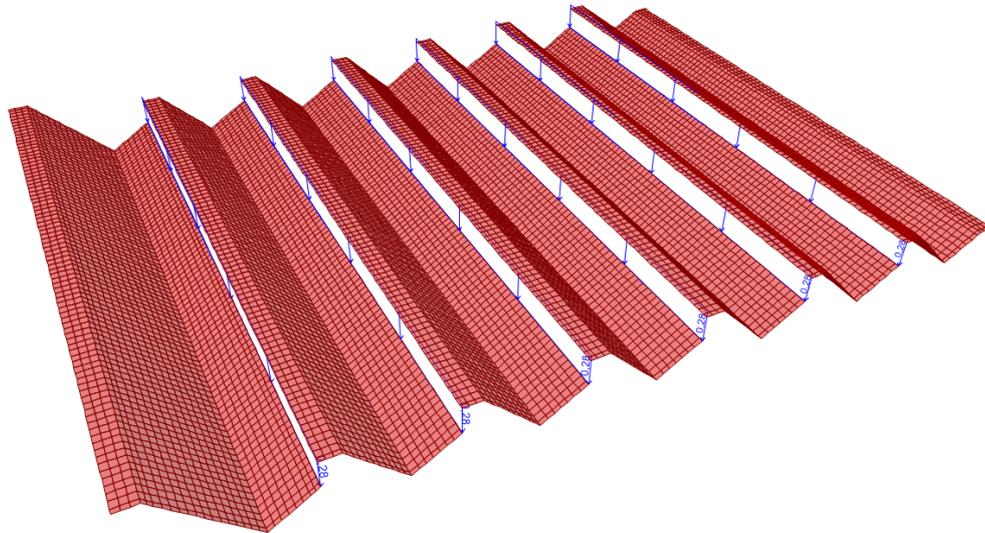
ACABADO DE CUBIERTA	CM _{cubierta} (kN/m ²)
	0,50

CERRAMIENTO DE VIDRIO	CM _{vidrio} (kN/m ²)	H _{cerramiento} (m)	CM _{vidrio} (kN/m)
	0,35	0,80	0,28

Valor de la carga muerta considerada



Introducción de la carga muerta debida al acabado de cubierta en el modelo de cálculo



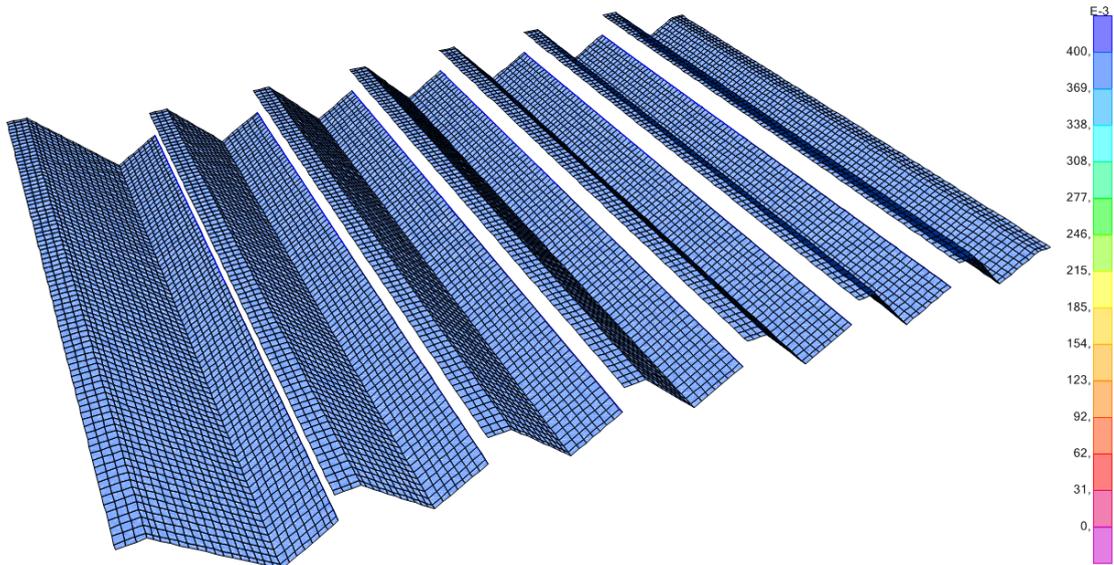
Introducción de la carga muerta debida al cerramiento de vidrio en el modelo de cálculo

4.4.3.- Sobrecarga de uso

Según la tabla 3.1. del CTE DB SE-AE y considerando una Categoría de uso G en este caso, para una cubierta con inclinación de 32° se tiene el siguiente valor de la sobrecarga:

SU	Sobrecarga de uso
CATEGORÍA G. CUBIERTAS ACCESIBLES PARA CONSERVACIÓN	Inclinación cubierta (°) 32,00
	q_k (kN/m ²) 0,40

Valor de la sobrecarga de uso considerada



Introducción de la sobrecarga de uso en el modelo de cálculo



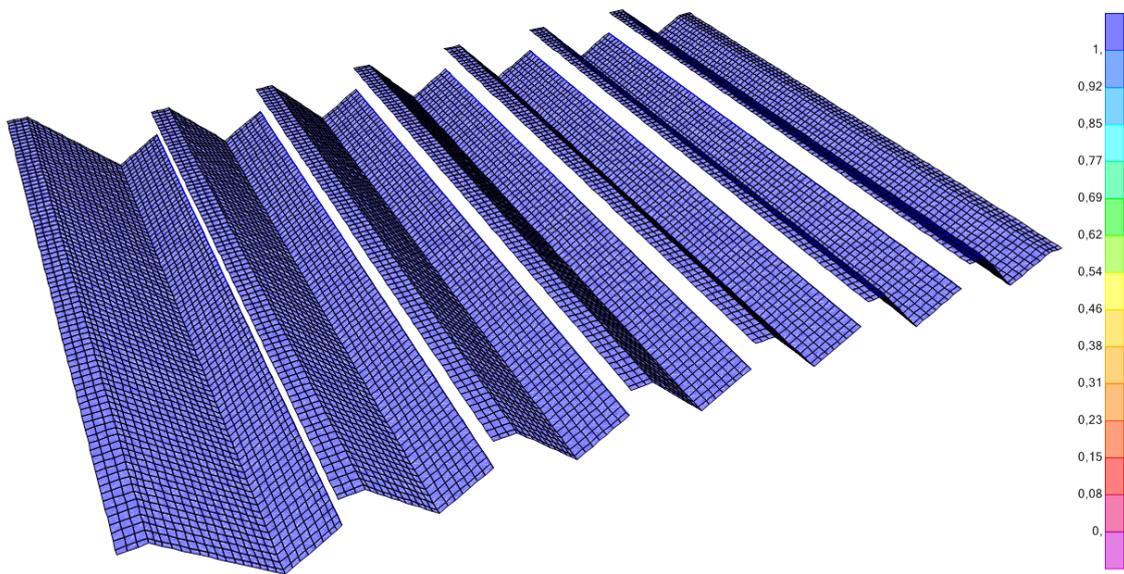
4.4.4.- Sobrecarga de nieve

Para la ubicación del proyecto, y considerando un coeficiente de forma por acumulación de nieve igual a 2, se tiene la siguiente sobrecarga de nieve:

NIEVE	Sobrecarga de nieve
--------------	---------------------

SOBRECARGA DE NIEVE EN CUBIERTA	s_k (kN/m ²)	μ	q_n (kN/m ²)
	0,50	2,00	1,00

Valor de la sobrecarga de nieve considerada



Introducción de la sobrecarga de uso en el modelo de cálculo



4.4.5.- Acción del viento

Para la obtención de la presión del viento se sigue en todo caso las especificaciones del CTE DB SE-AE, considerando la tipología de cubierta como "en diente de sierra".

VIENTO	Acción del viento
---------------	-------------------

VELOCIDAD BÁSICA DEL VIENTO			
Período de retorno (años)	C_{prob}	v_b (m/s)	$v_{b,T}$ (m/s)
100	1,04	26,00	27,00

PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO		
Densidad del aire. ρ (kg/m ³)	$v_{b,T}$ (m/s)	q_b (kN/m ²)
1,25	27,00	0,456

COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN						
GRADO ASPEREZA	$h_{aplicación}$ (m)	k	L (m)	Z (m)	F	c_e
IV	10,00	0,220	0,300	5,00	0,771	1,78

COEFICIENTES DE PRESIÓN VIENTO EN DIRECCIÓN X						
d (m)	b (m)	h (m)	A (m ²)	Inclinación cubierta (°)	C_{pe} Figura a)	C_{pe} Figura b)
28,70	21,60	10,00	619,92	45,00	-0,70	0,60
VIENTO X+			VIENTO X-			
POSICIÓN	C_{pe}	POSICIÓN	C_{pe} SIT.1	C_{pe} SIT.2		
CUBIERTA 1	-0,70	CUBIERTA 1	-0,60	0,60		
CUBIERTA 2	-0,28	CUBIERTA 2	-0,48	-0,40		
RESTO	-0,42	RESTO	-0,36	-0,40		

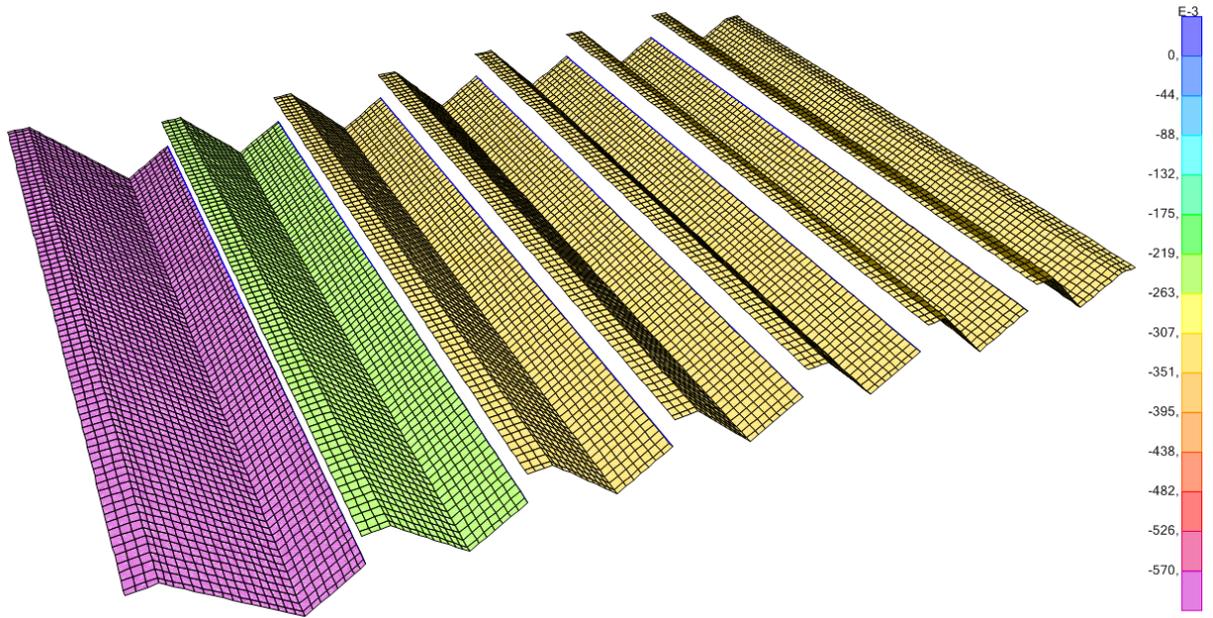
COEFICIENTES DE PRESIÓN VIENTO EN DIRECCIÓN Y					
d (m)	b (m)	h (m)	A (m ²)	Inclinación cubierta (°)	e (m)
28,70	21,60	10,00	619,92	45,00	20,00
VIENTO Y					
POSICIÓN	C_{pe}				
G	-1,40				
H	-1,00				
I	-0,90				

PRESIÓN DEL VIENTO						
VIENTO X+		VIENTO X-			VIENTO Y	
POSICIÓN(*)	q_e (kN/m ²)	POSICIÓN(*)	q_e (kN/m ²) SIT. 1	q_e (kN/m ²) SIT.2	POSICIÓN	q_e (kN/m ²)
CUBIERTA 1	-0,57	CUBIERTA 1	-0,49	0,49	G	-1,14
CUBIERTA 2	-0,23	CUBIERTA 2	-0,39	-0,32	H	-0,81
RESTO	-0,34	RESTO	-0,29	-0,32	I	-0,73

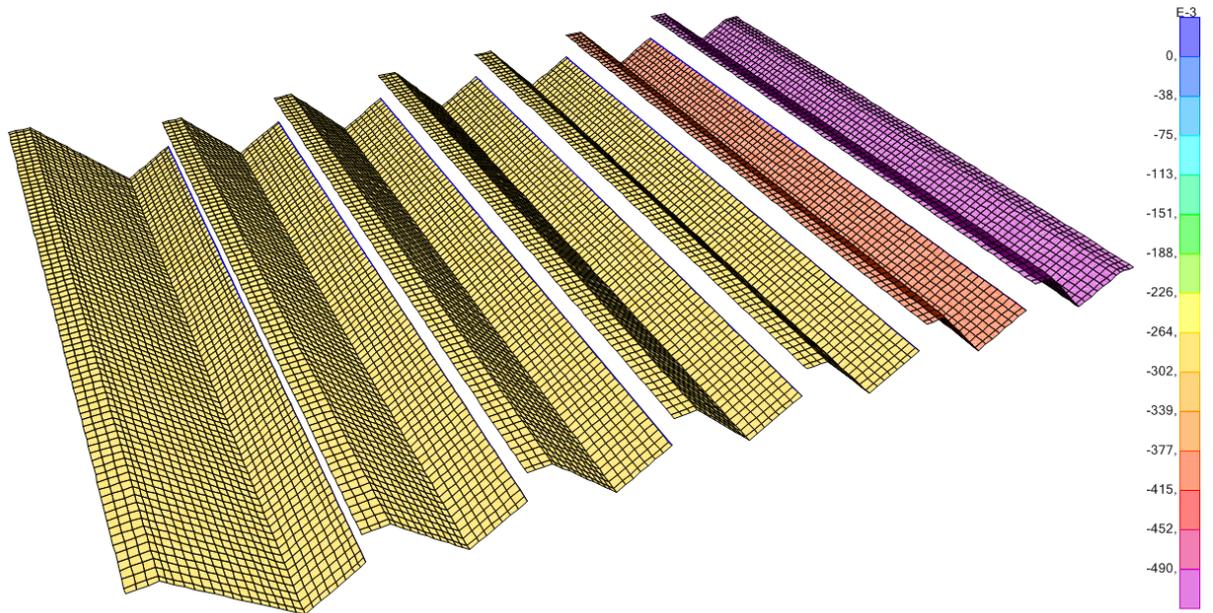
(*) La cubierta 1 es siempre la más cercana a la zona desde la que sopla el viento

Valor de la acción del viento en todas las direcciones consideradas

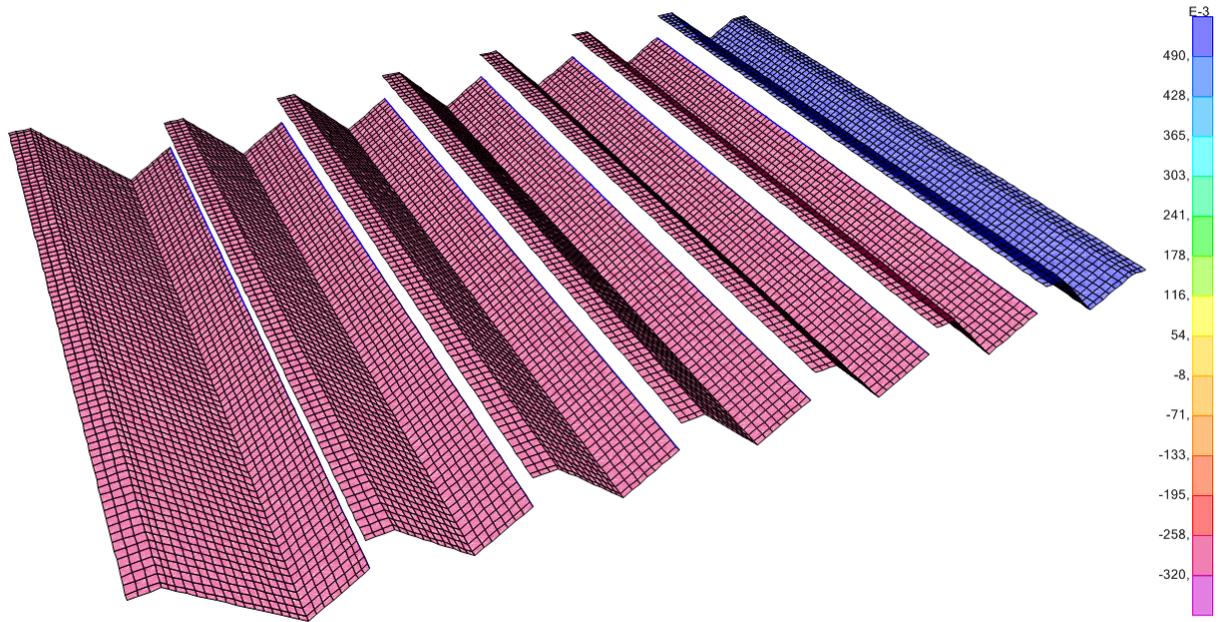
Las direcciones indicadas en la tabla anterior se muestran en la siguiente imagen:



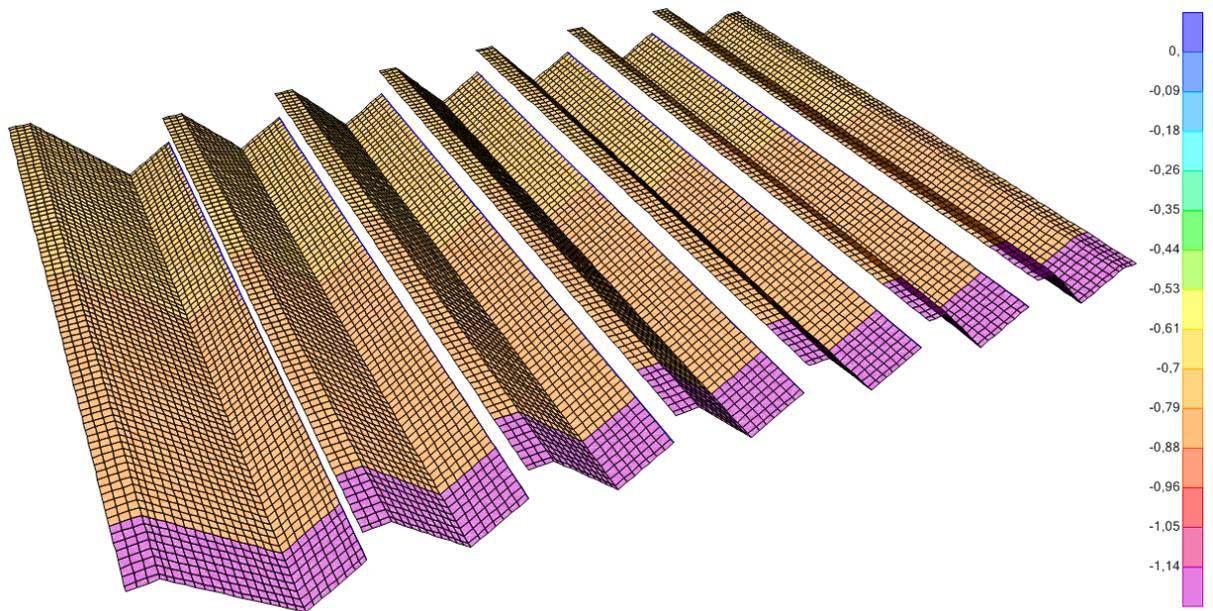
Introducción de la acción del viento en dirección X+ en el modelo de cálculo



Introducción de la acción del viento en dirección X- SIT.1 en el modelo de cálculo



Introducción de la acción del viento en dirección X- SIT.2 en el modelo de cálculo



Introducción de la acción del viento en dirección Y en el modelo de cálculo

4.4.6.- Acción sísmica

A partir de lo dispuesto en la NCSE-02, para la ubicación de proyecto (Granada), se considera una aceleración sísmica básica de 0,23-g, con un coeficiente de contribución igual a la unidad.

Por no disponer de la información geotécnica, el coeficiente de suelo será obtenido de los listados de cálculo del proyecto original facilitados. En este caso se considera un terreno tipo III, correspondiente a un suelo granular de compacidad media, o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme, siendo el coeficiente del terreno igual a 1,60.



Con todo lo anterior se tiene el siguiente espectro de respuesta elástica:

SISMO	Espectro de respuesta elástica
--------------	--------------------------------

CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO			
Tipo de terreno	Espesor del estrato (m)	C	C_{medio}
I	0,00	1,00	
II	0,00	1,30	
III	30,00	1,60	
IV	0,00	2,00	

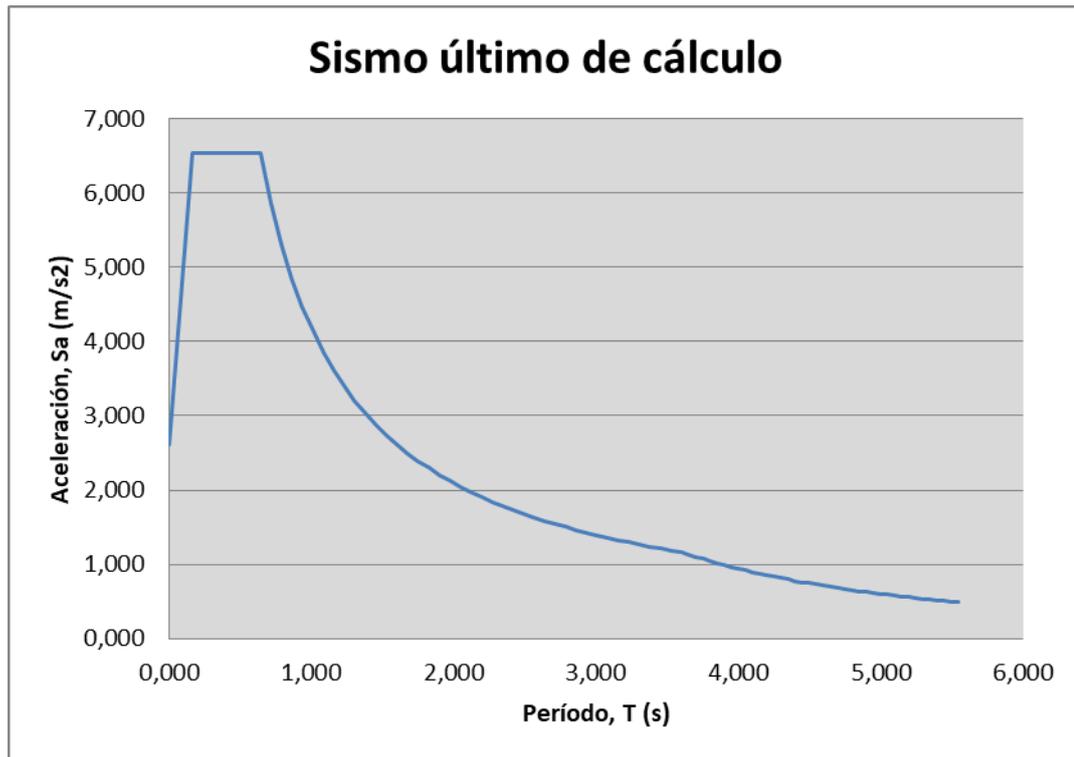
ACELERACIÓN SÍSMICA HORIZONTAL DE CÁLCULO						
Período de retorno (años)	a_b/g	γ_I	γ_{II}	ρ	S	a_c/g
500	0,23	1,00	1,00	1,00	1,16	0,27

ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA					
ESPECTRO DE ACCELERACIONES. COMPONENTE HORIZONTAL					
SISMO ÚLTIMO DE CÁLCULO					
Índice de amortiguamiento (ξ)	ν	K	T_A (s)	T_B (s)	T_C (s)
5	1,00	1,00	0,160	0,640	3,600

T (s)	S_a (m/s ²)	T (s)	S_a (m/s ²)	T (s)	S_a (m/s ²)
0,000	2,615	2,564	1,632		
0,160	6,536	2,638	1,586		
0,640	6,536	2,712	1,543	4,300	0,814
0,714	5,859	2,786	1,502	4,350	0,796
0,788	5,309	2,860	1,463	4,400	0,778
0,862	4,853	2,934	1,426	4,450	0,761
0,936	4,469	3,008	1,391	4,500	0,744
1,010	4,142	3,082	1,357	4,550	0,727
1,084	3,859	3,156	1,326	4,600	0,712
1,158	3,613	3,230	1,295	4,650	0,696
1,232	3,396	3,304	1,266	4,700	0,682
1,306	3,203	3,378	1,238	4,750	0,667
1,380	3,031	3,452	1,212	4,800	0,654
1,454	2,877	3,526	1,186	4,850	0,640
1,528	2,738	3,600	1,162	4,900	0,627
1,602	2,611	3,650	1,130	4,950	0,615
1,676	2,496	3,700	1,100	5,000	0,602
1,750	2,390	3,750	1,071	5,050	0,591
1,824	2,293	3,800	1,043	5,100	0,579
1,898	2,204	3,850	1,016	5,150	0,568
1,972	2,121	3,900	0,990	5,200	0,557
2,046	2,045	3,950	0,965	5,250	0,546
2,120	1,973	4,000	0,941	5,300	0,536
2,194	1,907	4,050	0,918	5,350	0,526
2,268	1,844	4,100	0,896	5,400	0,516
2,342	1,786	4,150	0,874	5,450	0,507
2,416	1,732	4,200	0,854	5,500	0,498
2,490	1,680	4,250	0,834	5,550	0,489

Obtención de las aceleraciones de cálculo para para el espectro de respuesta elástica

Tal y como indica la NCSE-02, el espectro correspondiente a la componente vertical se obtiene multiplicando el espectro horizontal por un factor igual a 0,70.



Espectro de aceleraciones de respuesta elástica para la componente horizontal del sismo

4.5.- Combinaciones de cargas

	COMBINACIONES PARA COMPROBACIONES EN ELU EN SITUACIÓN PERSISTENTE O TRANSITORIA							
	ACCIONES PERMANENTES		ACCIONES VARIABLES					
	PP	CM	SCU	NIEVE	Vx+	Vx- SIT.1	Vx- SIT.2	Vy
ELU 01	0,80							
ELU 02	1,35							
ELU 03	0,80	0,80						
ELU 04	0,80	1,35						
ELU 05	1,35	0,80						
ELU 06	1,35	1,35						
ELU 07	0,80	0,80	1,50					
ELU 08	0,80	1,35	1,50					
ELU 09	1,35	0,80	1,50					
ELU 10	1,35	1,35	1,50					
ELU 11	0,80	0,80		1,50				
ELU 12	0,80	1,35		1,50				
ELU 13	1,35	0,80		1,50				
ELU 14	1,35	1,35		1,50				
ELU 15	0,80	0,80		1,50	0,90			
ELU 16	0,80	1,35		1,50	0,90			
ELU 17	1,35	0,80		1,50	0,90			
ELU 18	1,35	1,35		1,50	0,90			
ELU 19	0,80	0,80		1,50		0,90		
ELU 20	0,80	1,35		1,50		0,90		
ELU 21	1,35	0,80		1,50		0,90		
ELU 22	1,35	1,35		1,50		0,90		

Combinaciones para comprobaciones en ELU en situación persistente o transitoria (1/2)



	COMBINACIONES PARA COMPROBACIONES EN ELU EN SITUACIÓN PERSISTENTE O TRANSITORIA							
	ACCIONES PERMANENTES		ACCIONES VARIABLES					
	PP	CM	SCU	NIEVE	Vx+	Vx- SIT.1	Vx- SIT.2	Vy
ELU 23	0,80	0,80		1,50			0,90	
ELU 24	0,80	1,35		1,50			0,90	
ELU 25	1,35	0,80		1,50			0,90	
ELU 26	1,35	1,35		1,50			0,90	
ELU 27	0,80	0,80		1,50				0,90
ELU 28	0,80	1,35		1,50				0,90
ELU 29	1,35	0,80		1,50				0,90
ELU 30	1,35	1,35		1,50				0,90
ELU 31	0,80	0,80			1,50			
ELU 32	0,80	1,35			1,50			
ELU 33	1,35	0,80			1,50			
ELU 34	1,35	1,35			1,50			
ELU 35	0,80	0,80		0,75	1,50			
ELU 36	0,80	1,35		0,75	1,50			
ELU 37	1,35	0,80		0,75	1,50			
ELU 38	1,35	1,35		0,75	1,50			
ELU 39	0,80	0,80				1,50		
ELU 40	0,80	1,35				1,50		
ELU 41	1,35	0,80				1,50		
ELU 42	1,35	1,35				1,50		
ELU 43	0,80	0,80		0,75	1,50			
ELU 44	0,80	1,35		0,75	1,50			
ELU 45	1,35	0,80		0,75	1,50			
ELU 46	1,35	1,35		0,75	1,50			
ELU 47	0,80	0,80					1,50	
ELU 48	0,80	1,35					1,50	
ELU 49	1,35	0,80					1,50	
ELU 50	1,35	1,35					1,50	
ELU 51	0,80	0,80		0,75			1,50	
ELU 52	0,80	1,35		0,75			1,50	
ELU 53	1,35	0,80		0,75			1,50	
ELU 54	1,35	1,35		0,75			1,50	
ELU 55	0,80	0,80						1,50
ELU 56	0,80	1,35						1,50
ELU 57	1,35	0,80						1,50
ELU 58	1,35	1,35						1,50
ELU 59	0,80	0,80		0,75				1,50
ELU 60	0,80	1,35		0,75				1,50
ELU 61	1,35	0,80		0,75				1,50
ELU 62	1,35	1,35		0,75				1,50

Combinaciones para comprobaciones en ELU en situación persistente o transitoria (2/2)

	COMBINACIONES PARA COMPROBACIÓN EN SITUACIÓN SÍSMICA				
	ACCIONES PERMANENTES		ACCIÓN SÍSMICA		
	PP	CM	SISMO X	SISMO Y	SISMO Z
SISMO-ELU 01	1,00	1,00	1,00	0,30	0,30
SISMO-ELU 02	1,00	1,00	0,30	1,00	0,30
SISMO-ELU 03	1,00	1,00	0,30	0,30	1,00

Combinaciones para comprobaciones en situación sísmica



	COMBINACIONES PARA COMPROBACIONES EN ELS PARA LA COMBINACIÓN CARACTERÍSTICA							
	ACCIONES PERMANENTES		ACCIONES VARIABLES					
	PP	CM	SCU	NIEVE	Vx+	Vx- SIT.1	Vx- SIT.2	Vy
ELS 01-CARAC	1,00							
ELS 02-CARAC	1,00	1,00						
ELS 03-CARAC	1,00	1,00	1,00					
ELS 04-CARAC	1,00	1,00		1,00				
ELS 05-CARAC	1,00	1,00		1,00	0,60			
ELS 06-CARAC	1,00	1,00		1,00		0,60		
ELS 07-CARAC	1,00	1,00		1,00			0,60	
ELS 08-CARAC	1,00	1,00		1,00				0,60
ELS 09-CARAC	1,00	1,00			1,00			
ELS 10-CARAC	1,00	1,00		0,50	1,00			
ELS 11-CARAC	1,00	1,00				1,00		
ELS 12-CARAC	1,00	1,00		0,50		1,00		
ELS 13-CARAC	1,00	1,00					1,00	
ELS 14-CARAC	1,00	1,00		0,50			1,00	
ELS 15-CARAC	1,00	1,00						1,00
ELS 16-CARAC	1,00	1,00		0,50				1,00

Combinaciones para comprobaciones en ELS para la combinación característica

	COMBINACIONES PARA COMPROBACIONES EN ELS PARA LA COMBINACIÓN FRECUENTE							
	ACCIONES PERMANENTES		ACCIONES VARIABLES					
	PP	CM	SCU	NIEVE	Vx+	Vx- SIT.1	Vx- SIT.2	Vy
ELS 01-FREC	1,00							
ELS 02-FREC	1,00	1,00						
ELS 03-FREC	1,00	1,00		0,20				
ELS 04-FREC	1,00	1,00			0,50			
ELS 05-FREC	1,00	1,00				0,50		
ELS 06-FREC	1,00	1,00					0,50	
ELS 07-FREC	1,00	1,00						0,50

Combinaciones para comprobaciones en ELS para la combinación frecuente

Además, sobre las anteriores combinaciones han sido creadas distintas envolventes:

COMBINACIONES ENVOLVENTES	
ENV-ELU	Combinación envolvente de ELU 01 a ELU 62
ENV-SISMO	Combinación envolvente de SISMO-ELU 01 a SISMO-ELU 03
ENV-CARAC	Combinación envolvente de ELS 01-CARAC a ELS 16-CARAC
ENV-FREC	Combinación envolvente de ELS 01-FREC a ELS 07-FREC

Combinaciones envolventes



5.- Verificación de la reducción del espesor de los paneles

5.1.- Introducción

Como se puede desprender de las imágenes correspondientes a los esfuerzos, mostradas en los siguientes apartados, los paneles tienen un comportamiento asimilable al de una viga de gran canto, por lo que la reducción del espesor de los mismos no afectará de forma notable a la reducción de la inercia del elemento completo. Además, esta posible reducción de inercia, a nivel de deformaciones, se verá compensada por el alto valor del módulo de deformación del hormigón empleado así como por la reducción de peso propio que propicia una disminución del espesor.

Debido a los esfuerzos que solicitan a los paneles, es necesaria la disposición de armadura en dos capas (superior e inferior) en las dos direcciones principales.

En un primer dimensionamiento, realizado con el mortero de alta resistencia "i.design EFFIX ARCA" al cual le correspondía una resistencia a compresión de 115 MPa y un módulo de elasticidad de 38.000 MPa, se obtuvo un espesor necesario de placas de 15 cm. Debido, a la forma de trabajo de las placas (como viga de gran canto), una reducción de la resistencia característica en el material no es tan determinante en los cálculos, ya que todavía queda mucha cabeza de compresión por encima de la profundidad límite para colaborar en la resistencia del momento, por lo que pese a que la reducción de la resistencia característica a compresión del nuevo material es de un 40%, el incremento de espesor que se obtiene tras varios tanteos aumenta un 20%, es decir, **el espesor mínimo con el que deben contar los paneles será de 18 cm.**

5.2.- Materiales

Como ya se ha indicado en el apartado 4.3 de este documento, los materiales a emplear en la composición del hormigón armado son los siguientes:

- Hormigón autocompactante elaborado con el polvo mineral "i.flow SPECIAL".
 - $f_{ck} = 70$ MPa.
 - $E_c = 32.685$ MPa.
- Acero de refuerzo B 500 SD:
 - $f_{yk} = 500$ MPa.
 - $E_s = 200.000$ MPa.

En el presente documento se adoptan los siguientes niveles de control según la definición de la EHE-08:

- Acero de armar: Normal.
- Hormigón: Estadístico.
- Ejecución: Intenso.

Los controles anteriormente definidos 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 son:

- Hormigón: $\gamma_c = 1,50$ ($\gamma_c = 1,30$ en situaciones accidentales).
- Acero de armar: $\gamma_s = 1,15$ ($\gamma_s = 1,00$ en situaciones accidentales).

A partir de lo establecido en el artículo 8.2.2 de la EHE-08, las partes estructurales presentes en los elementos se podrían englobar en una clase general de exposición designada como IIa, correspondiente a un ambiente normal, el cual se podría describir como "Elementos exteriores



en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm".

En función de los requisitos de durabilidad establecidos, y tratándose de un homigón especial con resistencia característica mayor que 40 MPa, el recubrimiento mínimo debe ser de 25 mm. Además para elementos prefabricados con control intenso de ejecución, el margen de recubrimiento puede ser tomado como 0, por lo que el recubrimiento nominal adoptado será de:

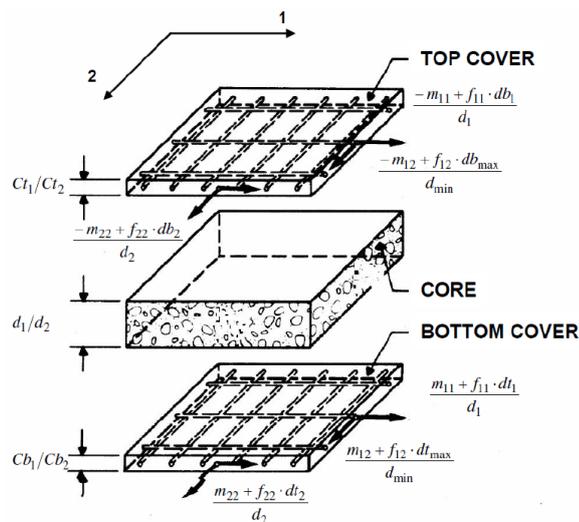
$$r_{\text{nom}} = r_{\text{min}} + \Delta r = 25 + 0 \text{ mm} = 25 \text{ mm}$$

5.3.- Verificación frente a solicitaciones normales

5.3.1.- Metodología de verificación

Las cuantías de armado de refuerzo para elementos tipo losa son determinadas (por el programa SAP2000), basándose en los procedimientos publicados por T. Brondum – Nielsen (1974) y Peter Marti (1990), conocido como Modelo Sandwich.

Con estos procedimientos se modeliza el elemento tipo losa como si estuviese compuesto por tres capas, las capas exteriores proporcionan resistencia a los efectos producidos por el flector y por las cargas axiales en el plano, mientras que la capa interior proporciona la transferencia del cortante entre las capas exteriores.



Fuerzas de membrana en las capas del elemento losa "Sandwich Model". Basado en Marti (1990)

De esta manera, las resultantes de tensiones según los ejes locales de los elementos tipo losa (f_{11} , f_{22} , f_{12} , m_{11} , m_{22} , m_{12}), son transformados en esfuerzos de membrana (N_{11} , N_{22} , N_{12}), actuando respectivamente en el centro de las capas de las armaduras de refuerzo de las caras superior e inferior. Para transformar los momentos, se utiliza la distancia entre las dos capas externas.

Posteriormente y para cada capa, se obtienen las fuerzas actuantes en la armadura (N_{Des1} , N_{Des2}), las fuerzas de compresión principales (F_{c1} , F_{c2}), así como las tensiones principales de compresión (σ_{c1} , σ_{c2}) en el hormigón.

Finalmente, las fuerzas en las armaduras son transformadas en áreas de acero por unidad de longitud (A_{st1} , A_{st2}) para la capa superior (top) e inferior (bottom), a través de la resistencia del acero minorada.



Rebar Material

Material

Rebar Layout Options

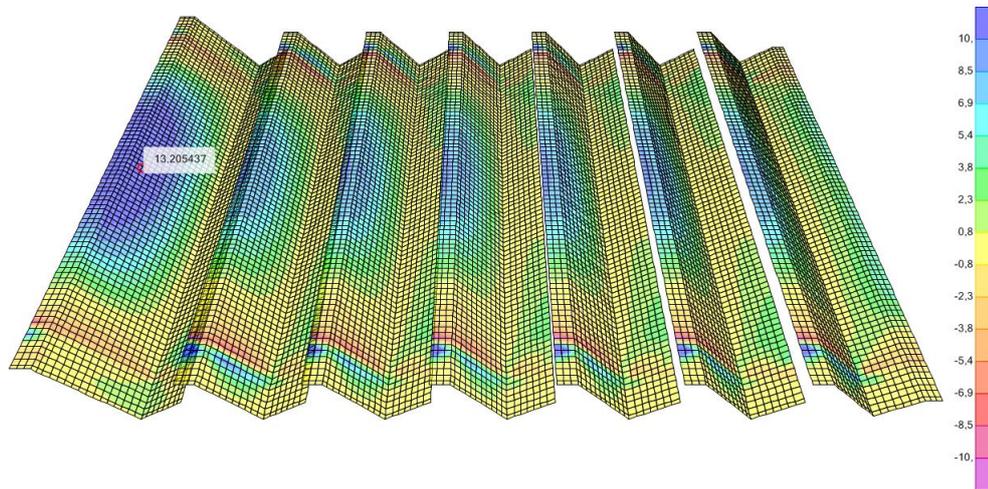
Default
 One Layer
 Two Layers

Cover to Centroid of Steel

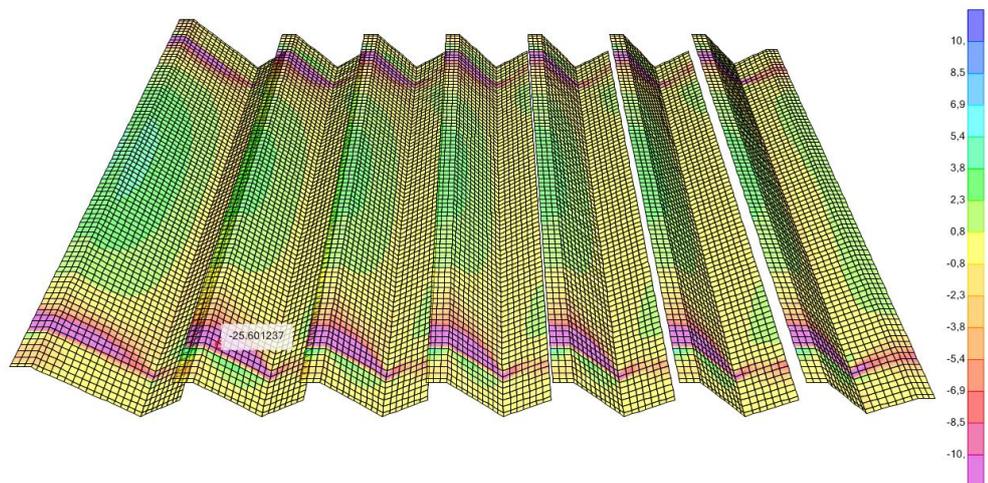
Top Bar - Direction 1	<input type="text" value="33,"/>
Top Bar - Direction 2	<input type="text" value="49,"/>
Bottom Bar - Direction 1	<input type="text" value="33,"/>
Bottom Bar - Direction 2	<input type="text" value="49,"/>

Definición de las capas de armadura de refuerzo en SAP2000 (recubrimientos mecánicos en mm)

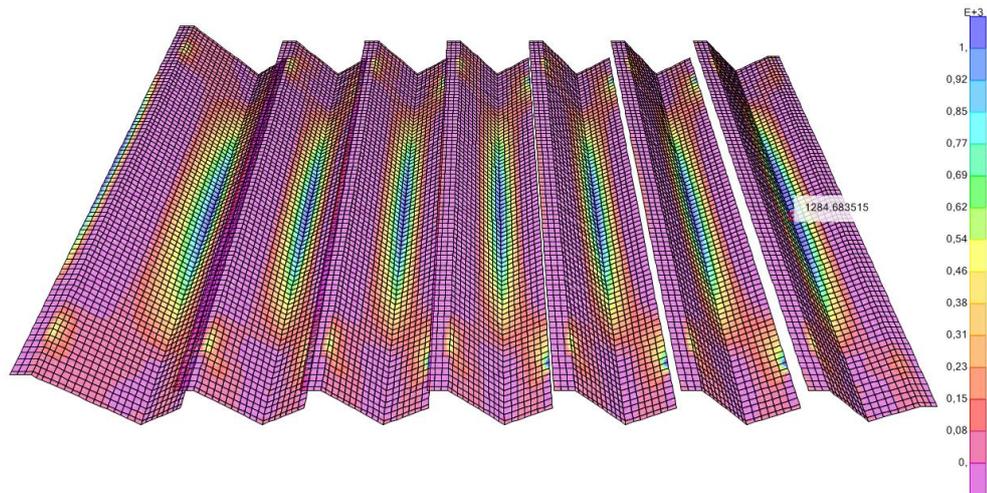
5.3.2.- Esfuerzos de diseño



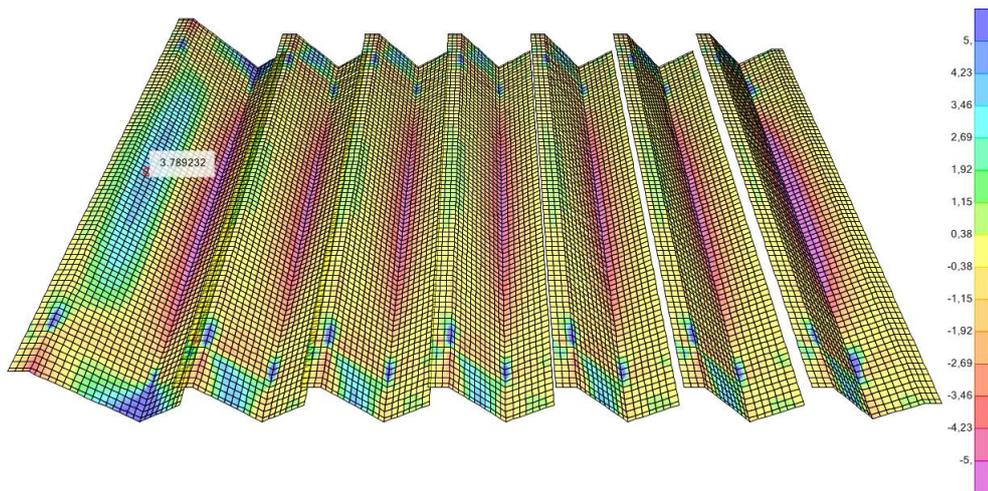
Momentos flectores en dirección longitudinal de los paneles (kN-m/m) para la envoltura de máximos (ENV-ELU)



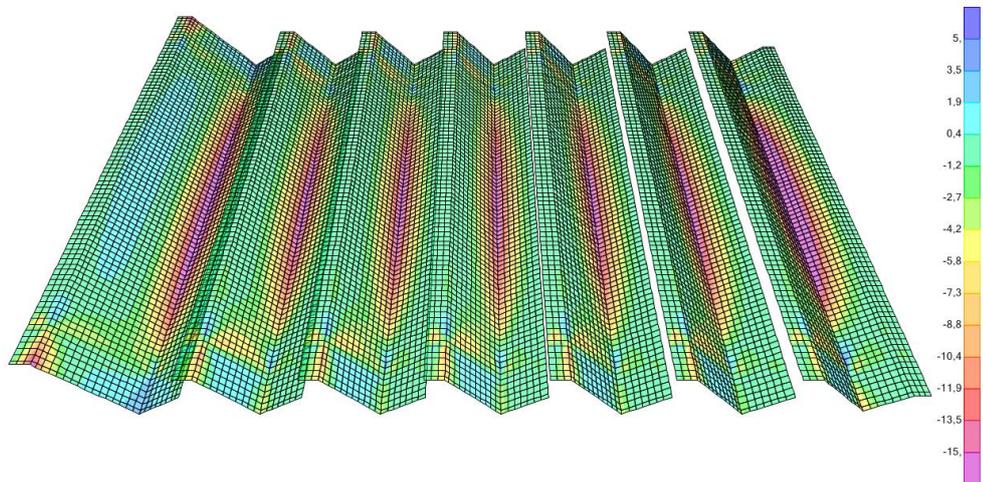
Momentos flectores en dirección longitudinal de los paneles (kN-m/m) para la envoltura de mínimos (ENV-ELU)



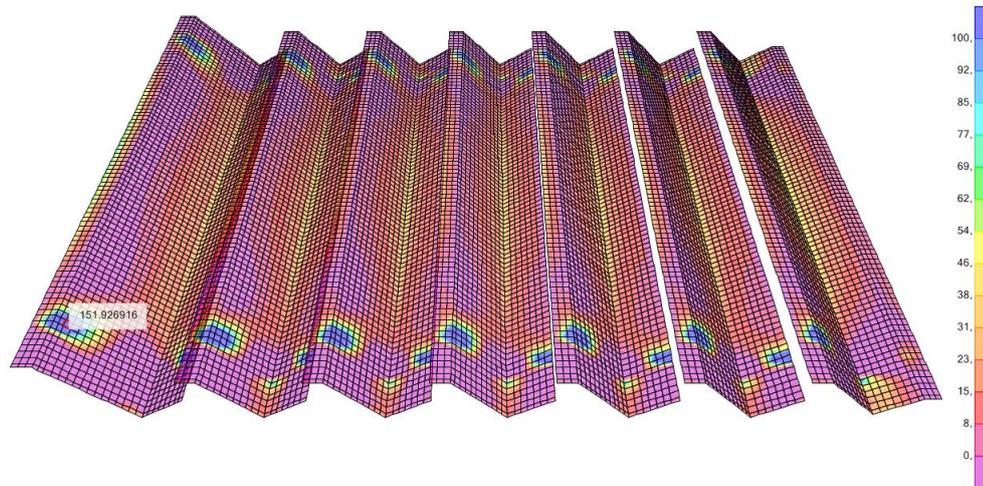
Esfuerzos axiales de tracción en dirección longitudinal de los paneles (kN/m) para la envoltura (ENV-ELU)



Momentos flectores en dirección transversal de los paneles (kN·m/m) para la envoltura de máximos (ENV-ELU)



Momentos flectores en dirección transversal de los paneles (kN·m/m) para la envoltura de mínimos (ENV-ELU)



Esfuerzos axiales de tracción en dirección transversal de los paneles (kN/m) para la envolvente (ENV-ELU)

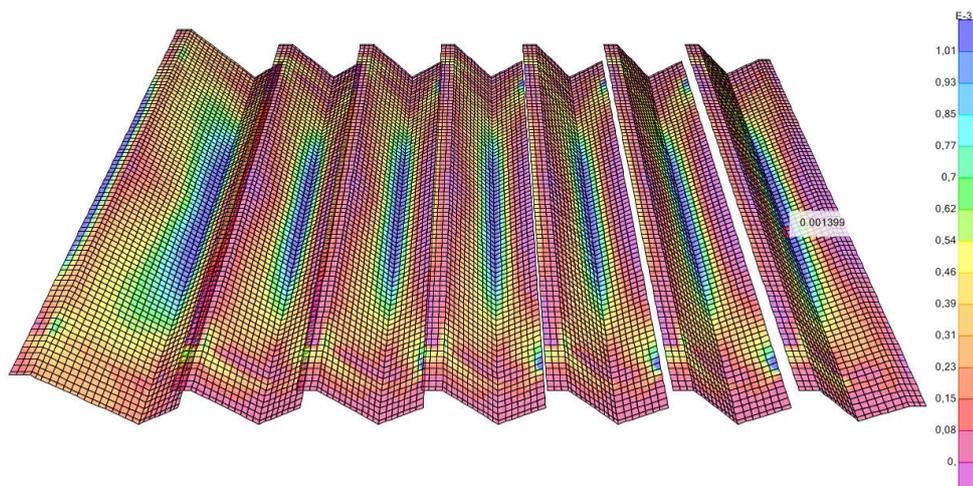
5.3.3.- Cuantías de armadura

La armadura base dispuesta en los paneles serán las indicadas a continuación:

- Dirección longitudinal: $\phi 16$ c/20 (10,05 cm²/m).
- Dirección transversal: $\phi 16$ c/20 (10,05 cm²/m).

Se muestran, en las siguientes imágenes, las cuantías de armadura necesarias en cada una de las dos direcciones principales de los paneles y en las caras superior e inferior. Para ello se mostrarán las cuantías filtradas en su límite superior por la cuantía correspondiente a la armadura base, por lo que en las zonas donde dicha cuantía sea superada (color azul oscuro) será necesaria la disposición de refuerzos.

ARMADURA LONGITUDINAL



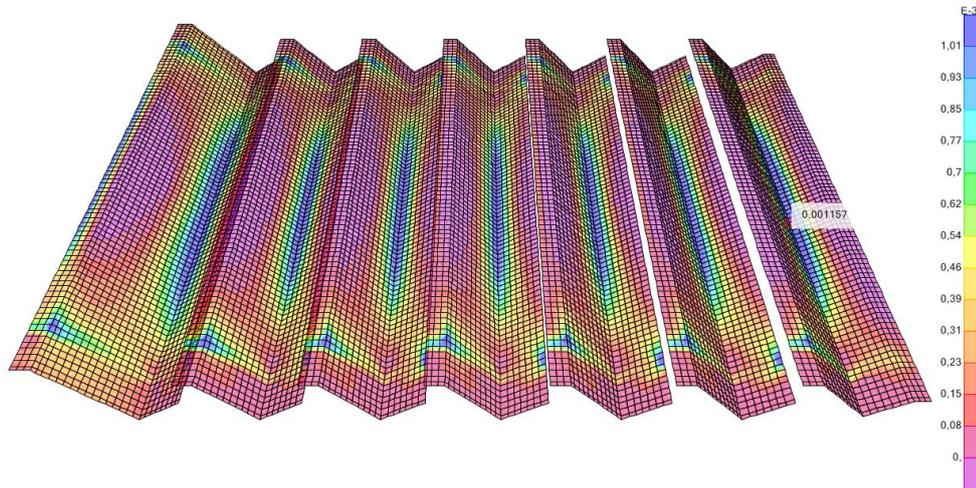
Cuantías de armadura necesarias (m²/m) en la cara inferior de los paneles para la dirección longitudinal

Se observa que la cuantía de armadura base es suficiente en la totalidad de los paneles excepto en la parte inferior de los mismos, donde los esfuerzos de tracción son mayores. En este caso es necesaria una cuantía de armadura de 13,99 cm²/m. Disponiendo redondos de $\phi 16$ se tiene:



$$A_{s,\phi 16} = \frac{\pi \cdot 1,6^2}{4} = 2,01 \text{ cm}^2/m$$

$$N^{\circ}_{\phi 16} = \frac{13,99 \text{ cm}^2/m}{2,01 \text{ cm}^2/m} = 6,96 \rightarrow N^{\circ}_{\phi 16} = 7$$



Cuantías de armadura necesarias (m²/m) en la cara superior de los paneles para la dirección longitudinal

En el caso de la cuantía de armadura para la cara superior en la dirección longitudinal, se tiene el mismo caso que para la cara inferior, pero siendo en este caso la cuantía máxima necesaria igual a 11,57 cm²/m:

$$A_{s,\phi 16} = \frac{\pi \cdot 1,6^2}{4} = 2,01 \text{ cm}^2/m$$

$$N^{\circ}_{\phi 16} = \frac{11,57 \text{ cm}^2/m}{2,01 \text{ cm}^2/m} = 5,75 \rightarrow N^{\circ}_{\phi 16} = 6$$

ARMADURA TRANSVERSAL



Cuantías de armadura necesarias (m²/m) en la cara inferior de los paneles para la dirección transversal

Para la armadura inferior en la dirección transversal se comprueba que no es necesaria la disposición de refuerzos.



Cuantías de armadura necesarias (m^2/m) en la cara superior de los paneles para la dirección transversal

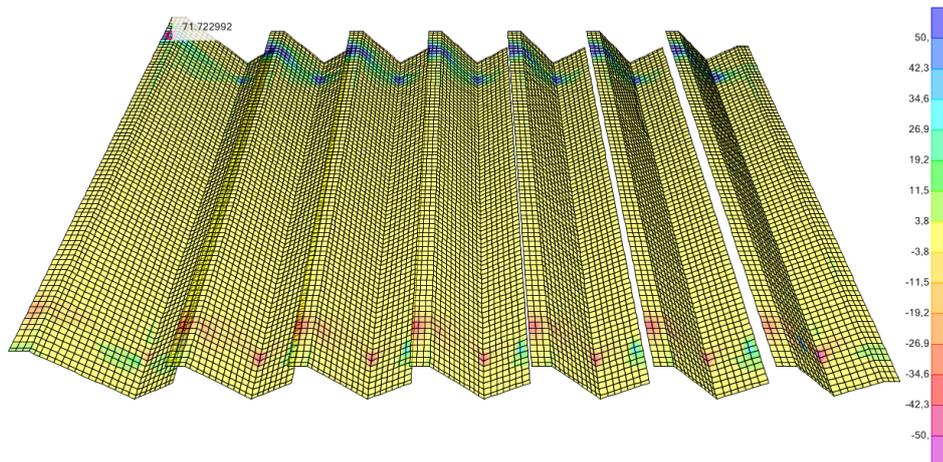
De igual manera que para la armadura inferior, para la armadura transversal superior es suficiente con la cuantía de armadura base.

Además de lo anterior, en todos los bordes de losa libres se dispondrá un zuncho de borde, atando las armaduras longitudinales mediante cercos $\phi 8$ c/20.

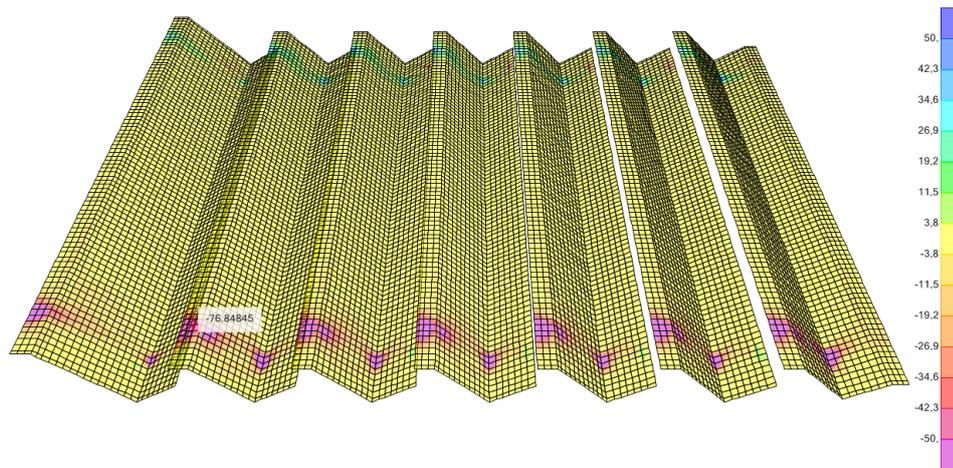
En los planos adjuntos, incorporados en el Apéndice 2 de este informe se puede comprobar la disposición de armaduras dispuestas.

5.4.- Verificación frente a solicitaciones de cortante

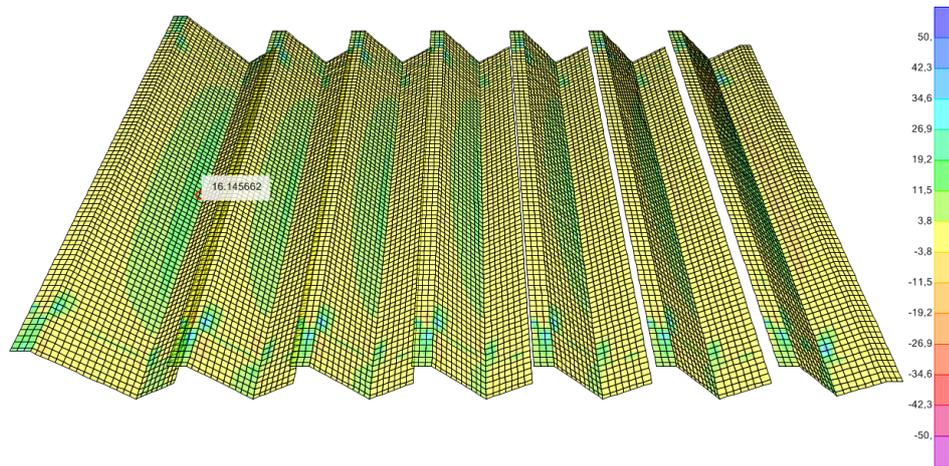
5.4.1.- Esfuerzos de diseño



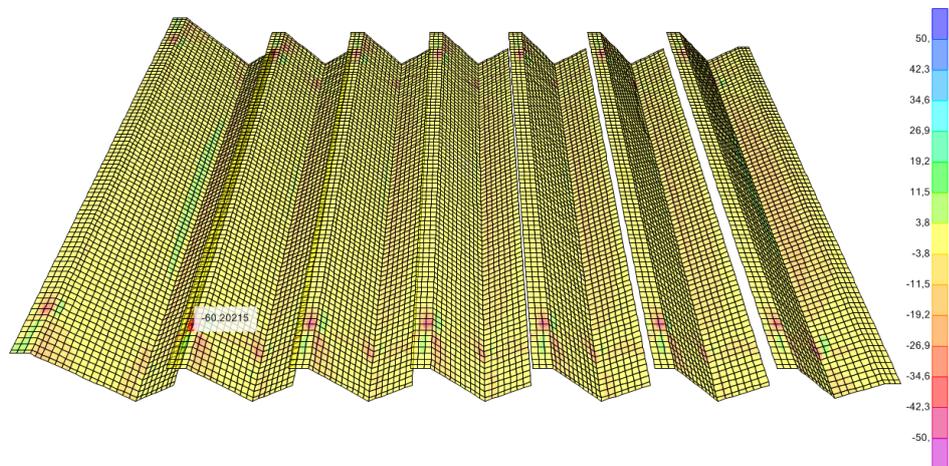
Esfuerzos cortantes en dirección longitudinal de los paneles (kN/m) para la envolvente de máximos (ENV-ELU)



Esfuerzos cortantes en dirección longitudinal de los paneles (kN/m) para la envolvente de mínimos (ENV-ELU)



Esfuerzos cortantes en dirección transversal de los paneles (kN/m) para la envolvente de máximos (ENV-ELU)



Esfuerzos cortantes en dirección transversal de los paneles (kN/m) para la envolvente de mínimos (ENV-ELU)



El esfuerzo axial concomitante en la hipótesis de análisis tiene un valor de tracción de 500,00 kN/m, por lo que se tiene:

MATERIALES		
Hormigón	f_{ck} (MPa)	70
	γ_c	1,5
	f_{cd} (MPa)	46,67
	E_c (MPa)	32685
	f_{ctm} (MPa)	4,85
	f_{ctk} (MPa)	3,40
	f_{ctd} (MPa)	2,26
Acero	f_{yk} (MPa)	500
	γ_s	1,15
	f_{yd} (MPa)	400,00
	E_s (MPa)	200000
	$\epsilon_{s, fyd}$	0,002000

GEOMETRÍA	
h (cm)	18
b (cm)	100
A_c (cm ²)	1800,00
r_{mec} (cm)	3,30
d (cm)	14,70
z (cm)	13,23

ARMADURA LONTIGUDINAL			
Armadura comprimida			
Nº	ϕ (mm)	A_s (cm ²)	ρ
5,00	16	10,05	0,0056
Armadura traccionada			
Nº	ϕ (mm)	A_s (cm ²)	ρ
5,00	16	10,05	0,0056

TRACCIÓN EN EL ALMA			
DATOS		PIEZAS SIN ARMADURA DE CORTANTE	
V_{rd} (kN)	77,00	f_{cv} (MPa)	70,00
N_d (kN)	-500,00	ξ	2,00
M_d (kN·m)	25,00	σ'_{cd} (MPa)	-2,78
¿Considerar armadura?	NO	V_{u2} (kN)	112,68
		C.U.	1,46

Verificación de E.L.U de cortante en losa de 18 cm de espesor sin armadura de cortante.

$$V_{rd} = 77,00 \text{ kN/m} \leq V_{u2} = 112,68 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Cumple}$$

5.5.- Verificación frente a ELS de deformaciones

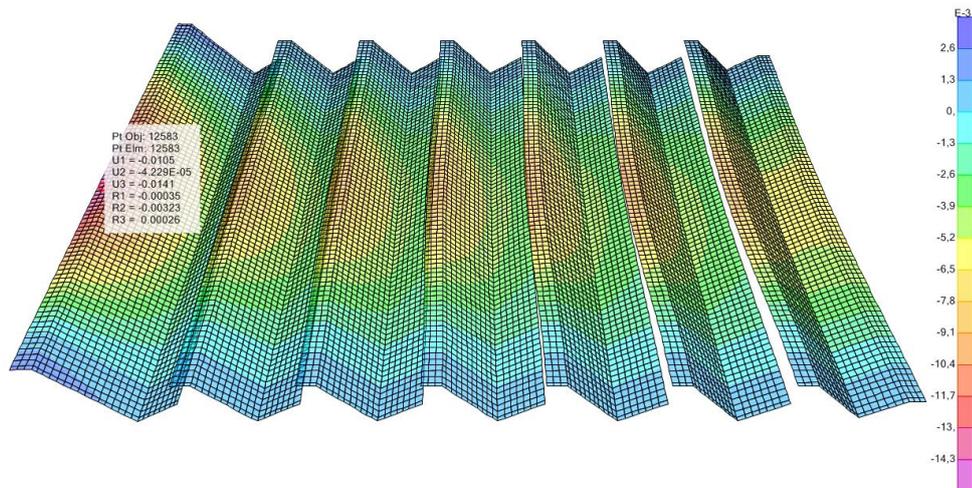
El CTE DB SE, en su apartado 4.3.3.1 indica, para la verificación de flechas, que "cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:" una serie de valores que dependen de los elementos de tabiquería o pavimentos dispuestos.

En este caso, el cerramiento propiamente dicho que se dispondrá entre paneles prefabricados será de vidrio, por lo que se trata de un elemento muy sensible a las deformaciones debido a su fragilidad. Por tanto se tomará como limitación de flecha la más restrictiva indicada en el citado CTE, siendo entonces:

$$\delta_{m\acute{a}x} \leq \frac{L}{500}$$

Como luz de cálculo se tomará la distancia entre muros interiores, que en este caso es de 17,90 m.

La flecha instantánea en este caso será:



Flecha instantánea para la combinación más desfavorable (ELS 04 - CARAC). $\delta_{inst} = 14,10 \text{ mm}$

El valor de la flecha diferida se puede estimar multiplicando la flecha instantánea por el valor λ dado por:

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'}$$

Donde: ρ' es la cuantía geométrica de la armadura de compresión referida al área de la sección útil, y ξ es un coeficiente función de la duración de la carga.

Se tiene entonces:

- $\xi = 2$
- $\rho' = 0,0068$

$$\delta_{dif} = \lambda \cdot \delta_{inst} = 1,49 \cdot 14,10 = 21,01 \text{ mm}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = \delta_{inst} + \delta_{dif} = 14,10 + 21,01 = 35,11 \text{ mm}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = 35,11 \text{ mm} \leq \frac{L}{500} = \frac{17900 \text{ mm}}{500} = 35,80 \text{ mm} \rightarrow \text{Cumple}$$

6.- Conclusiones

En el presente documento han sido desarrolladas y verificadas las condiciones de seguridad estructural de los paneles prefabricados de cubierta, mediante el empleo del hormigón autocompactante elaborado con el polvo mineral "i.flow SPECIAL", definidos en el "Proyecto de Ejecución de Parroquia del Espiritu Santo" en la ciudad de Granada.

A partir de los cálculos desarrollados y en función de las cargas, condiciones de contorno y resistencias de los materiales empleados se obtienen las siguientes conclusiones:

- El material empleado en la fabricación de los paneles prefabricados es el denominado "i.flow SPECIAL" desarrollado por Sociedad Financiera y Minera SA (FYM). Se trata de un polvo mineral blanco basado en cemento, que al mezclarse con agua proporciona una pasta fluida de muy altas prestaciones ideal para la fabricación de hormigón autocompactante, cuya ficha técnica se adjunta en el Apéndice 1 de este documento.



- Los cálculos han sido elaborados considerando una **resistencia característica a compresión a 28 días del hormigón de 70 Mpa** según indicación del fabricante, por lo que **en obra se debe garantizar**, en cualquier caso, que el hormigón empleado satisface dicho requisito a partir de los ensayos que se consideren oportunos.
- La solución de hormigón armado pero reduciendo el **espesor de los paneles a 18 cm es viable** tanto a nivel resistente obteniendo unas cuantías de armaduras razonables y en orden de magnitud, como a nivel de deformaciones.

Por lo tanto, con todo lo anterior, la solución finalmente adoptada para materializar los paneles de cubierta es la siguiente:

- Paneles de 18 cm de espesor con hormigón autocompactante elaborado con el polvo mineral "i.flow SPECIAL".
- Armadura base en las dos direcciones y en ambas caras de $\phi 16$ c/20.
- Refuerzo de armadura en zunchos de borde y en encuentro de placas inclinadas.

La geometría y armado de cada uno de los paneles se muestran en los planos incorporados en el Apéndice 2 de este documento. En dichos planos, además, se muestran detalles de la conexión de los paneles prefabricados de cubierta con los muros de hormigón ejecutados "in situ".

La reducción de los espesores de los paneles implica una ventaja importante en el resto de elementos que dan soporte a dicha cubierta, ya que al ser el peso propio de los mismos bastante menor, las cargas transmitidas son menores y por tanto podría ser viable la optimización de dichos elementos mediante la reducción de sus dimensiones y en consecuencia de sus coste sobre todo a nivel de cimentación.

En la siguiente tabla se muestra la comparativa de pesos entre las cubiertas definida en proyecto y la analizada en este informe:

	COMPARATIVA DE PESOS DE CUBIERTAS									
	SOLUCIÓN DE PROYECTO					SOLUCIÓN CON i.flow SPECIAL				
	Área Panel (m2)	Longitud panel (m)	Volumen (m3)	Nº Paneles	Peso (tn)	Área Panel (m2)	Longitud panel (m)	Volumen (m3)	Nº Paneles	Peso (tn)
PANEL TIPO 1	1,62	21,60	35,00	1,00	87,51	1,17	21,60	25,32	1,00	63,29
PANEL TIPO 2	1,32	21,60	28,60	5,00	357,51	0,96	21,60	20,71	5,00	258,88
PANEL TIPO 3	1,39	21,60	29,97	1,00	74,93	1,00	21,60	21,66	1,00	54,15
				TOTAL	519,94				TOTAL	376,32

Se observa una **reducción de peso de la cubierta de aproximadamente el 30%**.

El autor del informe:

Manuel Aguilar García

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Málaga, 20 de Febrero de 2019



Apéndice nº1. Ficha técnica “i.flow SPECIAL”



Ficha técnica

i.flow SPECIAL

Producto premezclado para la fabricación de hormigón autocompactante

Descripción

i.flow SPECIAL es un polvo mineral blanco basado en 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 bloqueada por los huecos o el armado.

Aplicaciones

i.flow SPECIAL es:

- Un conglomerante para la producción industrial de hormigón autocompactante, añadiendo árido a la mezcla y adaptando la dosificación de agua de amasado para garantizar las condiciones finales de autocompactabilidad.
- Un producto de altas prestaciones estéticas y hápticas para la prefabricación de piezas de hormigón arquitectónico, gracias a la homogeneidad y calidad de las materias primas seleccionadas en para su fabricación.
- Un producto autocompactante de altas prestaciones mecánicas que pueden mejorarse con la adición de fibras y adaptando la dosificación de agua de amasado para garantizar las condiciones finales de autocompactabilidad, gracias a la robustez y fiabilidad de su formulación.
- Un producto especial para la fabricación de recrecidos de muy altas prestaciones mecánicas.

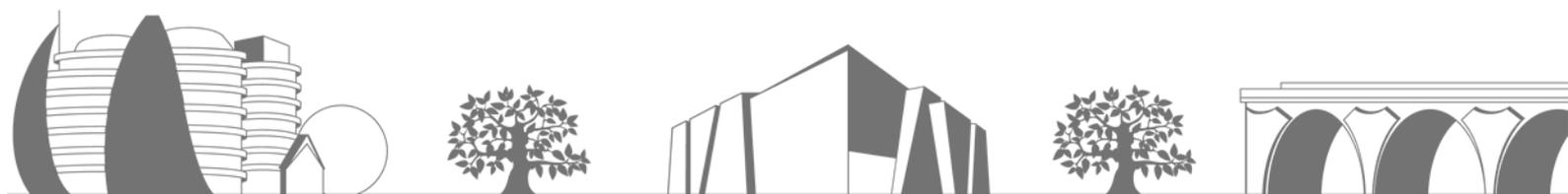
Prestaciones

Aspecto del material	Polvo de color blanco
Tamaño máximo árido	≤ 1,0 mm
Consistencia	Autocompactante
Escurecimiento a 20 °C (EN 1015-2)	> 280 mm
Densidad de la pasta en estado fresco	2.350 ± 75 kg/m ³
Trabajabilidad	> 30 minutos
Resistencia a compresión a 1 día (EN 1015-11)	> 30 Mpa
Resistencia a compresión a 28 días (EN 1015-11)	> 70 Mpa
Resistencia a flexión a 28 días (EN 1015-11)	> 9 MPa
Clase de resistencia al fuego	A1

Estos resultados han sido obtenidos en pruebas industriales y de laboratorio, entre 5 y 20 °C, utilizando del 11 al 12% de agua de amasado (sobre el peso del polvo).

Ventajas

- Gracias a la robustez de **i.flow SPECIAL**, no se requiere de un conocimiento especializado para la fabricación de hormigón autocompactante.
- Gracias a la selección de los áridos usados en la producción de **i.flow SPECIAL**, se obtienen acabados de muy alta calidad estética.
- Gracias al color blanco de **i.flow SPECIAL**, se pueden adicionar pigmentos minerales para conseguir colorear la masa del hormigón, adecuando la cantidad de agua de amasado para mantener las condiciones finales de autocompactabilidad.
- Gracias a la docilidad de **i.flow SPECIAL**, se puede adecuar la dosificación de agua de amasado para conseguir un producto proyectable.
- Nuestro equipo de asistencia técnica está a su disposición para recomendarle la mejor forma de utilizar **i.flow SPECIAL** conforme sus necesidades.



Preparación y aplicación

Mezclar el producto con agua, amasándolo inmediatamente con un equipo capaz de proporcionar la energía suficiente para conseguir la total dispersión del material. Dependiendo de la eficacia del equipo de amasado esta operación puede llevar entre 5 y 10 minutos (si se requiere más de 10 minutos para conseguir la consistencia deseada, se recomienda utilizar un equipo diferente).

La consistencia puede variar según el uso que vaya a realizarse del producto:

- Para uso como mortero, sin la adición de fibras o árido, se recomienda añadir agua hasta obtener una consistencia entre 280 y 300 milímetros. A modo meramente orientativo, la relación agua/polvo, en masa, puede oscilar entre 11% y 11,5%.
- En el caso de añadir fibras y/o árido y/o pigmentos, se recomienda incrementar la relación agua/polvo en función de la mayor demanda de agua. Un valor de referencia para la relación agua/polvo, en masa, puede estar entre el 11,5% y 12%.

Una vez finalizado el amasado se debe dejar la pasta en reposo durante unos minutos (3-4), para facilitar que se libere el aire ocluido en exceso, antes de proceder a su vertido en el molde.

Recomendaciones especiales

Se deben cuidar las condiciones de curado durante la fase de fraguado y endurecimiento de la pasta, para garantizar las máximas prestaciones del material.

En el caso de que se deseen añadir fibras para aumentar la resistencia a flexión o fisuración de la pasta endurecida, estas deberán ser monofilamento (no metálicas) y con una longitud máxima de 12 milímetros. Se recomienda añadirlas al polvo en la amasadora y batir durante unos minutos, en seco, para mejorar la dispersión. La cantidad máxima ensayada de fibras tipo PVA añadidas es de un 1% del peso del polvo seco (consúltenos para otro tipo de fibras).

Si se desea fabricar hormigón autocompactante se podrá añadir árido. Se recomiendan fracciones de tamaño mínimo no inferior 2 milímetros y máximo no superior a 15 milímetros. La cantidad a añadir puede oscilar entre los 400 y 600 kg/m³ de hormigón fresco, en función de la granulometría y características del árido.

Para la producción de piezas de hormigón arquitectónico, se recomienda el vertido del material desde la menor altura posible para evitar la inclusión de aire, usando si es posible, mangueras o tubos durante el llenado del molde. También convendrá distribuir los puntos de vertido en función de la consistencia final obtenida, procurando que la distancia máxima aconsejable a recorrer por la pasta sea inferior a 3 metros lineales, para evitar manchas en la zona de vertido. Se deberá disponer de la instalación de amasado y vertido adecuados que eviten la necesidad de juntas frías en el elemento fabricado, prestando atención al tiempo de trabajabilidad logrado según la temperatura en el lugar de trabajo, de los equipos, del polvo, del agua y del resto de adiciones. Se recomienda utilizar los materiales para fabricación del molde o encofrado, adecuados para lograr un acabado de máxima calidad, así como el uso de desencofrantes específicos. Para la fabricación de piezas de gran esbeltez se recomienda la utilización de **i.design EFFIX ARCA**.

La adición de pigmentos inorgánicos en polvo para colorear la pasta, se realizará de forma similar a la de las fibras. El porcentaje de pigmento a añadir dependerá de su calidad y de la tonalidad deseada. La adición de pigmentos puede requerir un aumento de la relación agua/polvo.

El usuario debe asegurarse de utilizar una relación agua/polvo que no provoque una segregación del material en el molde, para evitar la falta de homogeneidad del elemento fabricado. También debe asegurarse de no exceder la relación máxima agua/cemento que se haya prescrito, para evitar la falta de durabilidad del elemento fabricado.

No añadir ningún aditivo o material, distinto de los descritos anteriormente, sin consultar a nuestro servicio técnico. Le aconsejamos consultar a nuestro servicio técnico sobre la forma de adecuar nuestro producto a sus necesidades.

Envase y almacenamiento

i.flow SPECIAL está disponible a granel o en sacos de 25kg. Almacenamiento máximo recomendado de 1 mes a granel ó 3 meses en sacos cerrados, conservados en un lugar fresco y seco.

Sólo para uso profesional. El usuario es responsable de realizar pruebas con el fin de definir la idoneidad del producto para el uso previsto. Los datos aportados en este documento están basados en la experiencia de FYM en el momento de su publicación, son indicativos y no contractuales. La información contenida en este documento no puede ser interpretada como instrucción para infringir ningún requisito legal al que debe estar sometido el producto fabricado por el usuario. FYM se reserva el derecho a modificar este documento sin previo aviso.

Si desea más información, no dude en contactarnos en el **902 35 65 95**, o consultar nuestra página web **www.i-nova.net**.

Febrero 2017



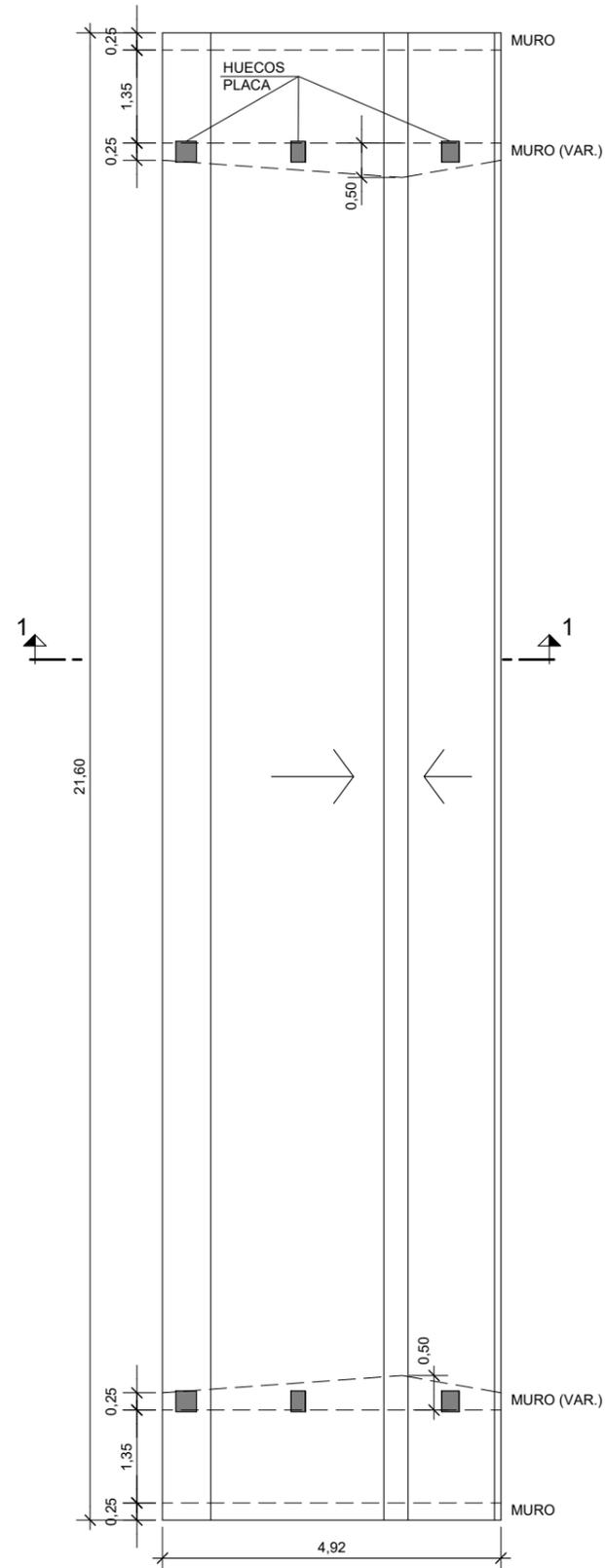


Cementos Rezola
HEIDELBERGCEMENT Group

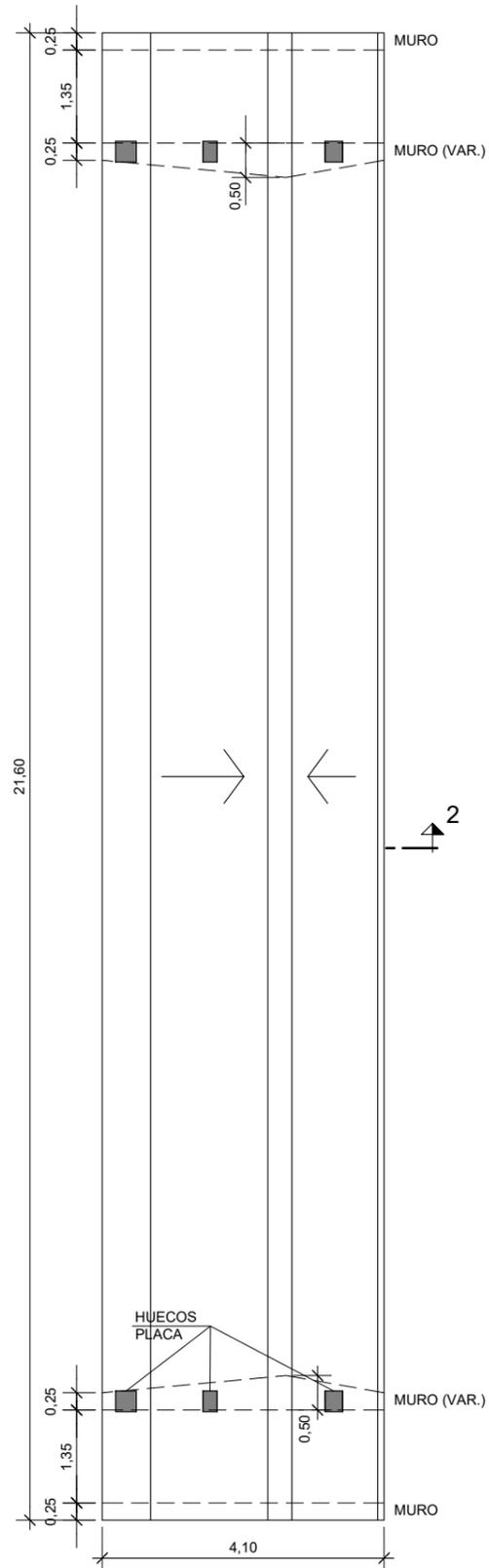
cemosa
Ingeniería y Control

RECÁLULO DE LOS PANELES PREFABRICADOS
DE LA CUBIERTA DE LA IGLESIA ESPÍRITU
SANTO.
GRANADA.

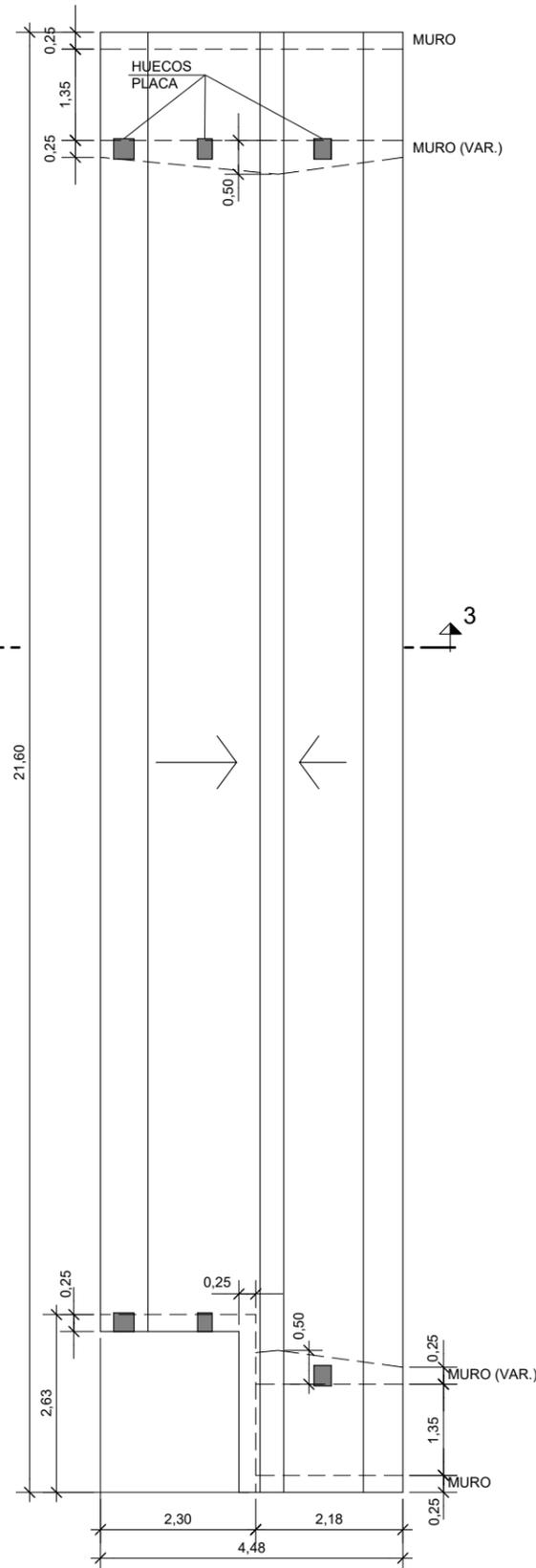
Apéndice nº2. Planos



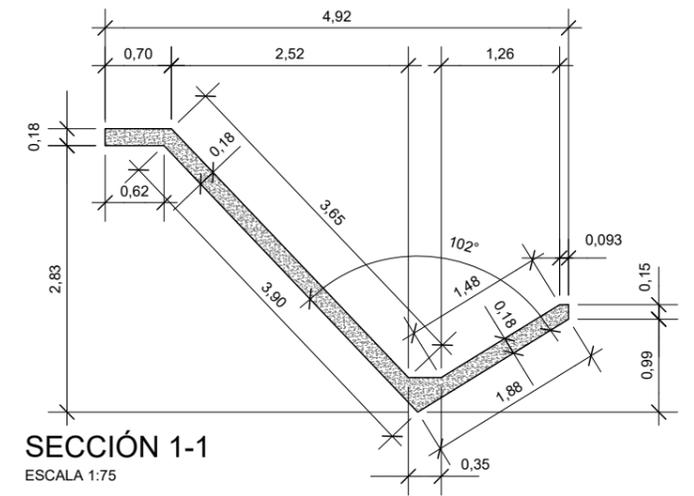
PLACA DE CUBIERTA TIPO 1
ESCALA 1:100



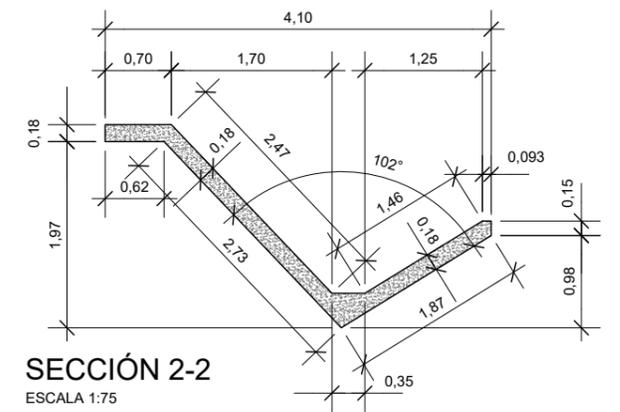
PLACA DE CUBIERTA TIPO 2
ESCALA 1:100



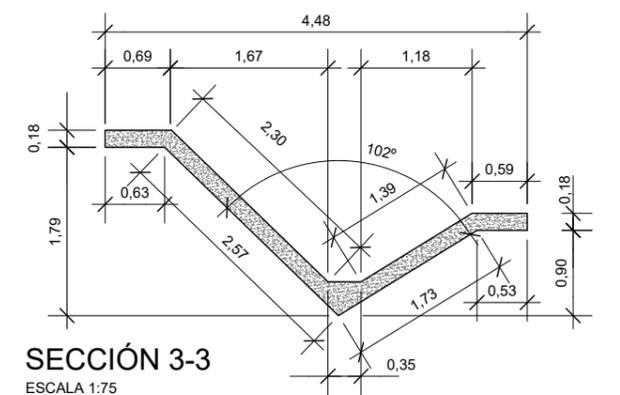
PLACA DE CUBIERTA TIPO 3
ESCALA 1:100



SECCIÓN 1-1
ESCALA 1:75

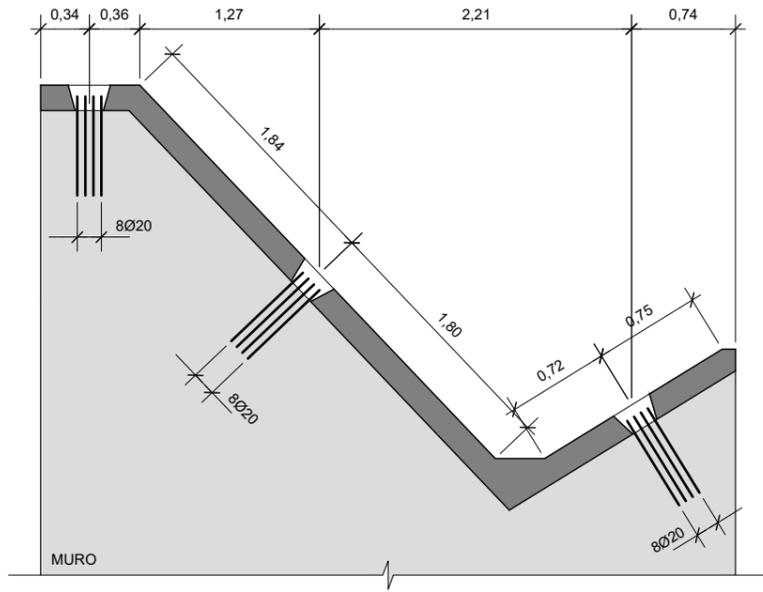


SECCIÓN 2-2
ESCALA 1:75

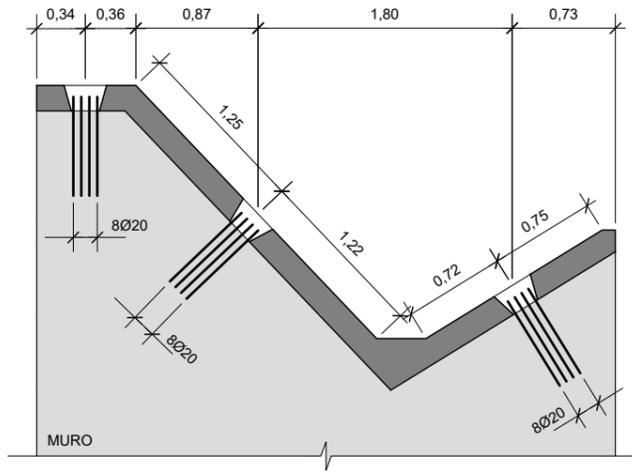


SECCIÓN 3-3
ESCALA 1:75

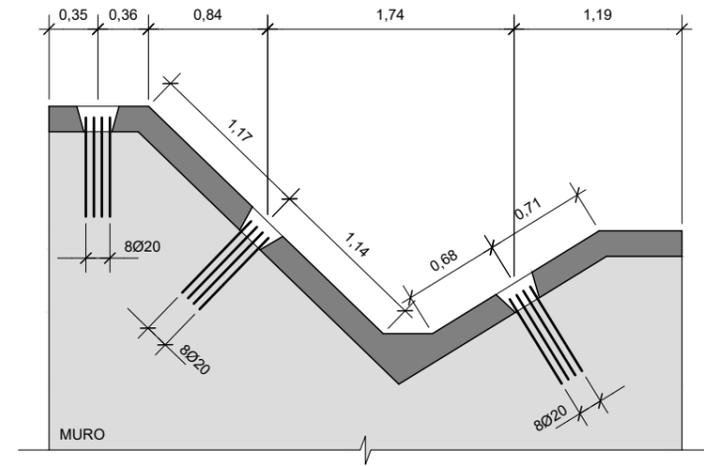
APÉNDICE Nº2 PLANOS CUBIERTA DE PARROQUIA ESPÍRITU SANTO GRANADA		
TÍTULO DEL PLANO: DEFINICIÓN GEOMÉTRICA	FECHA: 02/2019	ESCALA: INDICADA
CONSULTORES: cemosa Ingeniería y Construcción	AUTOR DEL INFORME: MANUEL AGUILAR GARCÍA	PLANO Nº: 01
		HOJA Nº: 01/02



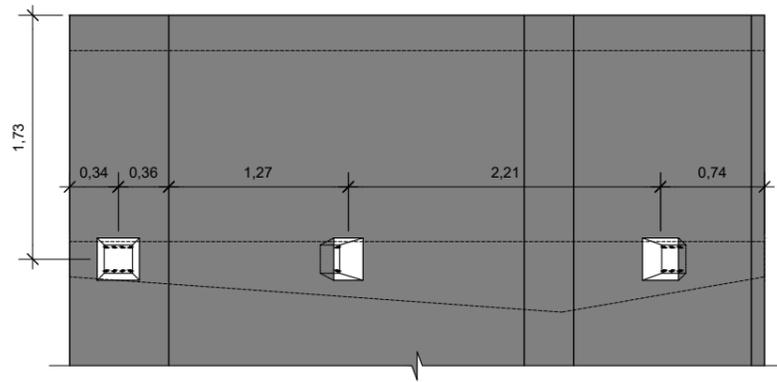
ALZADO
PLACA TIPO 1
ESCALA 1:50



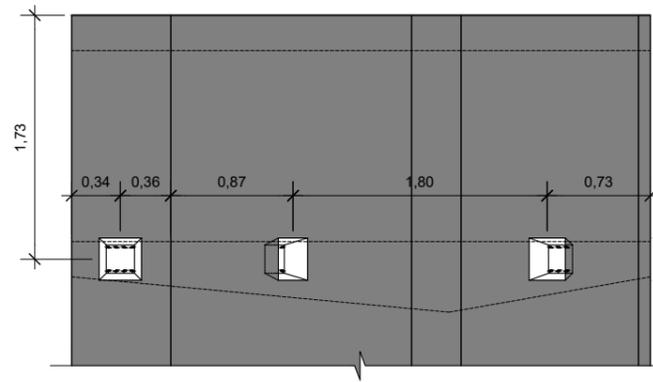
ALZADO
PLACA TIPO 3
ESCALA 1:50



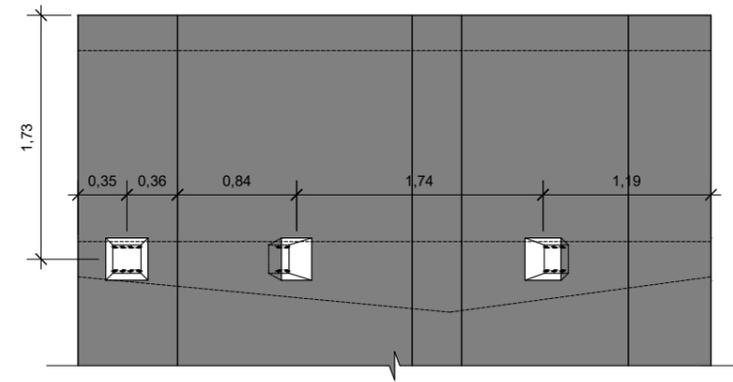
ALZADO
PLACA TIPO 3
ESCALA 1:50



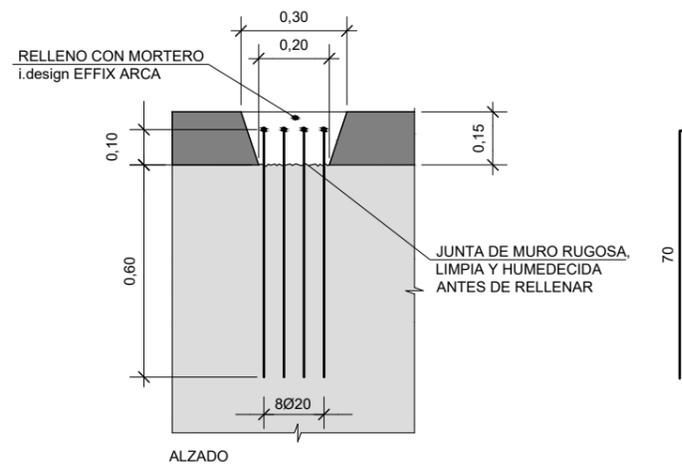
PLANTA
PLACA TIPO 1
ESCALA 1:50



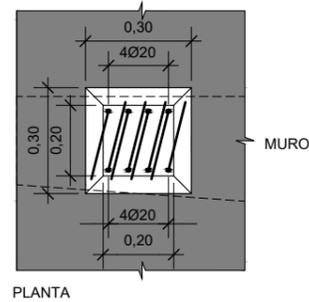
PLANTA
PLACA TIPO 2
ESCALA 1:50



PLANTA
PLACA TIPO 3
ESCALA 1:50

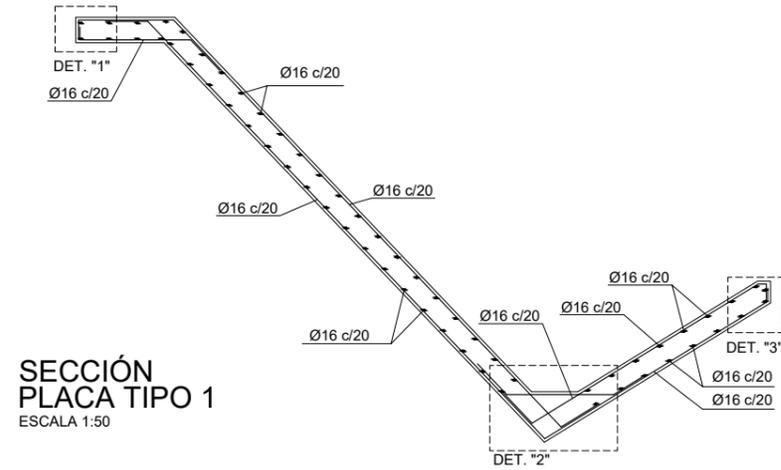


DETALLE DE CONEXIÓN PLACA-MURO
ESCALA 1:20

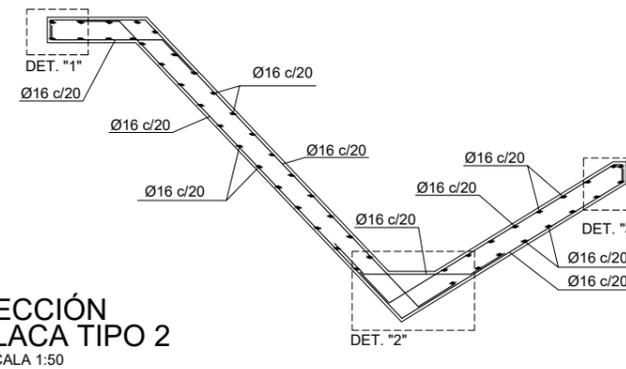


NOTAS:
-LAS PATILLAS DEBERÁN ORIENTARSE HACIA LA PARTE CENTRAL DEL HUECO.
-SE DEBERÁN DEJAR PREVISTAS EN LOS MUROS LAS ARMADURAS REPRESENTADAS EN ÉSTE PLANO PARA LA CONEXIÓN DE LAS PLACAS DE CUBIERTA.

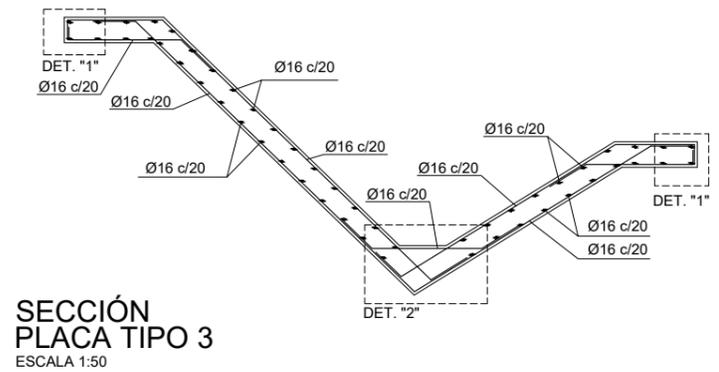
APÉNDICE Nº2 PLANOS CUBIERTA DE PARROQUIA ESPÍRITU SANTO GRANADA	
TÍTULO DEL PLANO: DETALLES DE CONEXIÓN	FECHA: 02/2019
CONSULTORES: cemosa Ingeniería y Construcción	ESCALA: INDICADA
AUTOR DEL INFORME: MANUEL AGUILAR GARCÍA	PLANO Nº: 01
	HOJA Nº: 02/02



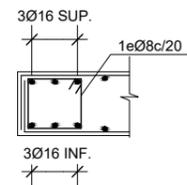
SECCIÓN
PLACA TIPO 1
ESCALA 1:50



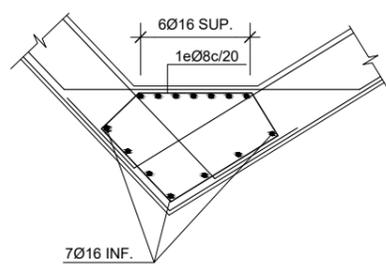
SECCIÓN
PLACA TIPO 2
ESCALA 1:50



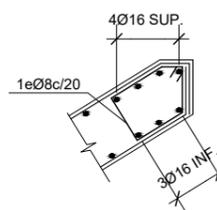
SECCIÓN
PLACA TIPO 3
ESCALA 1:50



DETALLE "1"
ZUNCHO DE BORDE 1
ESCALA 1:20

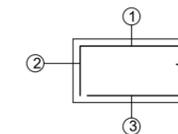


DETALLE "2"
REFUERZO ENCUENTRO
ESCALA 1:20



DETALLE "3"
ZUNCHO DE BORDE 2
ESCALA 1:20

RECUBRIMIENTOS NOMINALES



ARMADO DE PLACA:
1.-SUPERIOR: 2.5 cm
2.- LATERAL EN BORDE: 2.5 cm
3.- INFERIOR: 2.5 cm

Ø	HAC (i. flow SPECIAL) / B-500-S			
	Anclaje (cm)		Solape (cm)	
	Lbl	Lbl	Lbl	Lbl
8	28	37	56	74
10	35	46	70	92
12	42	55	84	110
16	56	74	112	147
20	70	92	140	183
25	88	115	175	229
32	135	176	269	351

CUADRO DE MATERIALES			
MATERIALES	CALIDAD	NIVEL DE CONTROL	COEFICIENTES
HAC (elaborado con i. flow SPECIAL)	HA-70	ESTADÍSTICO	$\gamma_c = 1.50$
ACERO PASIVO	B 500 S	NORMAL	$\gamma_s = 1.15$
EJECUCIÓN		INTENSO	$\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.35$

NOTAS GENERALES:

- EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE ELABORADO CON EL POLVO MINERAL " i. flow SPECIAL" DEBE GARANTIZAR, EN CUALQUIER CASO, LAS SIGUIENTES PROPIEDADES MECÁNICAS:
 - RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN, $f_{ck} \geq 70 \text{ MPa}$
 - MÓDULO DE ELASTICIDAD, $E \geq 32.685 \text{ MPa}$
- RECUBRIMIENTOS NOMINALES (r) S/ART. 37.2.4 DE LA INSTRUCCIÓN EHE-08:
 

TODA LA OBRA r nom. = 25 mm

 - PARA ASEGURAR ESTOS RECUBRIMIENTOS SE USARÁN SEPARADORES DE MORTERO DE CEMENTO U OTRO SISTEMA ADECUADO SEGÚN EL ARTICULO 37.2.5 DE LA INSTRUCCIÓN EHE-08.
 - LA VIDA ÚTIL NOMINAL QUE SE HA CONSIDERADO EN EL PROYECTO ES DE 100 AÑOS.

APÉNDICE Nº2 PLANOS CUBIERTA DE PARROQUIA ESPÍRITU SANTO GRANADA			
TÍTULO DEL PLANO:	ARMADO		FECHA: 02/2019
CONSULTORES:	AUTOR DEL INFORME:		ESCALA: INDICADA
 	MANUEL AGUILAR GARCÍA		PLANO Nº: 02
			HOJA Nº: 01/01