

PROYECTAR PARA LA AUSENCIA DE MEMORIA
**UNIDAD HABITACIONAL PARA ENFERMOS
DE ALZHEIMER EN EL CORTIJO LA ESTRELLA**

INTENSIFICACIÓN DE ESTRUCTURA Y CIMENTACIÓN
MASTER EN ARQUITECTURA 07 - CURSO 20/21

JESÚS INFANTES MÁRQUEZ

ÍNDICE

- 1 _ DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA
 - 1.1 _ Estructura sobre rasante
 - 1.2 _ Estructura bajo rasante
 - 1.3 _ Justificación de la solución adoptada

- 2 _ BASES DE CÁLCULO Y NORMATIVA

- 3 _ MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS

- 4 _ ACCIONES

- 5 _ MÉTODO DE CÁLCULO
 - 5.1 _ RFEM
 - 5.2 _ Cypecad y Cype 3D

- 6 _ MODELO DE CÁLCULO
 - 6.1 _ Predimensionado
 - 6.2 _ Parámetros de cálculo
 - 6.3 _ Análisis del diseño estructural

- 7 _ VERIFICACIONES
 - 7.1 _ Comprobación de Estados Límite de Servicio (ELS)
 - 7.1.1 _ Flechas activas y totales en vigas y forjados
 - 7.1.2 _ Desplomes
 - 7.2 _ Comprobación de Estados Límite Últimos (ELU)
 - 7.2.1 _ Índices de aprovechamiento resistente
 - 7.3 _ Sismo
 - 7.4 _ Pandeo
 - 7.5 _ Fuego

- 8 _ PLANOS
 - 7.1 _ Definición de la estructura
 - 7.2 _ Información complementaria

- 9 _ ANEJOS
 - Anejo A _ Listado RFEM - Estructura CLT
 - Anejo B _ Listado CypeCAD - Forjado sanitario
 - Anejo C _ Listado Cype3D - Vigas prefabricadas

1 _ DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

1.1 _ Estructura sobre rasante

La estructura diseñada, modelada y posteriormente calculada será una estructura de CLT (madera contralaminada). Este sistema constructivo alberga muchísimas ventajas frente a otros sistemas estructurales mas convencionales en estos últimos años y décadas. Principalmente dicha estructura está constituida por diferentes paneles de madera encolados entre sí a 90° permitiendo de esta manera que puedan trabajar en las 2 direcciones de carga (eje X e Y). Hay diferentes grosores y tamaños de paneles, para esta estructura se utilizarán paneles de la marca EGOIN con sus respectivos espesores, materiales y características. Se tendrá en cuenta para el diseño de la estructura que dichos paneles no pueden superar un tamaño máximo de fabricación del CLT de 14000x3750x360mm.

La estructura sobre rasante, la situada por encima de forjado sanitario, está constituida como ya hemos dicho por paneles de CLT que funcionan tanto como elementos estructurales verticales como horizontales. El diseño es bastante intuitivo y sencillo, formado por paneles de pared de 100 o 150 mm, vigas utilizadas para formar huecos en la fachada y paneles de "forjado" horizontal de 260 mm. Todos los paneles van articulados entre sí y descansan sobre el forjado sanitario al cual se une utilizando uniones metálicas en "L". Todas las cargas y reacciones de la estructura son transmitidos al forjado sanitario.

1.2 _ Estructura bajo rasante

Por otro lado encontramos el forjado sanitario, formado por placas aligeradas alveolares con un canto total de 20+5 cm. Este forjado a su vez apoyará sobre unas vigas de hormigón armado prefabricadas que transmiten las cargas a la cimentación.

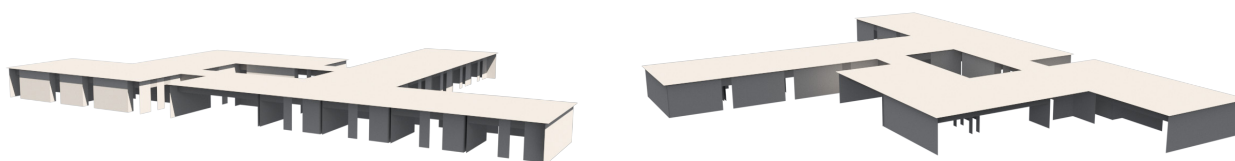
El hecho de realizar 2 tipos de sistemas diferentes entre sí para la estructura viene justificado en la necesidad de aislar la construcción del terreno y por la problemática de utilizar forjados sanitarios resueltos con CLT o madera en general. Además de esta forma se le ha dado mayor rigidez a la estructura y una mejor interacción con el terreno y la cimentación.

1.3 _ Justificación de la solución adoptada

Desde el comienzo del diseño de este proyecto siempre se han tenido en mente varios factores e ideas de proyecto que se han intentado plasmar en todos los elementos de la construcción del mismo. Aparte de criterios de sostenibilidad y de adaptación a nuevos sistemas que traten de tener una huella ecológica menor a la que pueden causar otros materiales constructivos como el hormigón o el metal se ha tenido siempre en mente el proyectar una arquitectura modular y compartimentada en distintos volúmenes repetitivos. Esta idea nace del encargo programático de crear una vivienda adaptable a distintos cambios a lo largo del tiempo como una ampliación o la propia adaptación a su entorno.

Además se ha hecho mucho hincapié desde el principio en que la vivienda debe satisfacer prioridades para el usuario previsto tales como la reminiscencia olfativa, táctil o visual. Se ha buscado que el residente en dicho proyecto se sienta cómodo, acogido y tranquilo.

Por eso he creído desde el principio que este tipo de estructura de CLT es la adecuada para satisfacer los requerimientos formales de una arquitectura modular y también para aquellos intangibles como la calidez de la madera vista en el interior.



2 _ BASES DE CÁLCULO Y NORMATIVA

Para el cálculo de solicitaciones y deformaciones se han adoptado las acciones características establecidas en la norma del CTE-DB-SE-AE y de NCSE-02. El diseño de los elementos de hormigón armado se ajustan a lo establecido en el EHE y por tanto su construcción será llevada a cabo según lo especificado en dicha norma.

Ademas se tendrá en cuenta el cumplimiento de las normas sobre la construcción en madera. La "UNE-EN 1995-1-1:2016 - Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Reglas generales y reglas para la edificación" y el "CTE DB-SE – Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad Estructural. Acciones en la edificación, Madera".

3 _ MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS

Como hemos mencionado utilizaremos los materiales y paneles de la marca EGOIN. Las características de la madera y de los paneles de CLT vienen definidas en el prontuario técnico.

Cuadro 1.5.1

Propiedades físicas y mecánicas del material			MADERA CONTRALAMINADA clase resistente C24
Resistencia característica [N/mm ²]	Flexión	$f_{m,k}$	24
	Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	14
	Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0.4
	Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	21
	Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2.5 – 3.1 (Pino Radiata)
	Cortante	$f_{v,k}$	2.7
Rigidez [N/mm ²]	Módulo de elasticidad paralelo	$E_{o,g,medio}$	11600
	Módulo de elasticidad perpendicular	$E_{90,medio}$	370
	Módulo transversal medio	G_{medio}	690
	Módulo de rodadura	G_R	50
Densidad [kg/m ³]	Densidad característica	ρ_k *	420
	Densidad media	ρ_{medio} **	520

En cuanto a las placas alveolares del forjado sanitario tenemos las características obtenidas por catálogo de ALVISA para el forjado utilizado PP-20+ 5/60.

- Canto total del forjado: 25 cm
- Espesor de la capa de compresión: 5 cm
- Ancho de la placa: 600 mm
- Ancho mínimo de la placa: 300 mm
- Entrega mínima: 8 cm
- Entrega máxima: 20 cm
- Entrega lateral: 5 cm
- Hormigón de la placa: HA-40, $Y_c=1.5$
- Hormigón de la capa y juntas: HA-25, $Y_c=1.5$
- Acero de negativos: B 500 S, $Y_s=1.15$
- Peso propio: 4.36545 kN/m²
- Volumen de hormigón: 0.05 m³/m²

4 _ ACCIONES

Se han tenido en cuenta cargas permanentes al peso propio de la estructura (obtenido directamente por el programa de cálculo), el peso de la solución constructiva de cubierta, las zonas por donde discurren falsos techos, la solería y tabiquería utilizadas y las cargas de fachada, pretilos y sus materiales así como el peso de las carpinterías.

Las sobrecargas que se han tenido en cuenta han sido las de cubierta transitable accesible privadamente, la de uso de vivienda y zonas comunes y la sobrecarga de nieve.

Las fuerzas producidas por viento han sido introducidas como cargas en las superficies de fachada en distintas hipótesis de viento en + y - X y viento en + y - Y. Se han tenido en cuenta las cargas tanto de presión como de succión. Para el valor de la carga se ha remitido al punto 3.3 de la norma DB - SE - AE de acciones de la edificación.

El sismo y las vibraciones naturales del terreno y la forma en que estas influyen en el modelo de cálculo se explicaran más adelante.

PERMANENTES SUPERFICIALES		
G1	Peso propio	0.76 kN/m ²
	Panel estructural CLT 15cm EGO CLT 5c 150	
G2	Peso cubierta	1.50 kN/m ²
	Cubierta protegida	
G3	Falso techo escayola	0.20 kN/m ²
	Carga parcial en zonas con falso techo	
G4	Suelo de microcemento	0.10 kN/m ²
	Suelo microcemento Sika 3mm	
G5	Tabiquería	1.0 kN/m ²
	Tabiquería de montantes y planchas de pladur	

SOBRECARGAS DE USO		
Q1	Uso vivienda	2 kN/m ²
Q2	Zonas comunes	5 kN/m ²
Q3	Cubiertas transitable sólo privadamente	1 kN/m ²
Q4	Nieve	0.20 kN/m ²

PERMANENTES LINEALES			
G5	Paneles de composición mineral Corian	0.21 kN/m ²	
	Altura (m)	3	0.63 kN/m
		1,5	0.32 kN/m
		1	0.21 kN/m
G6	Paneles de madera laminada	0.15 kN/m ²	
	Altura (m)	3	0.45 kN/m
		1,5	0.23 kN/m
		1	0.15 kN/m
G7	Ventana balconera	1 kN/m	
	Ventana PVC imitación madera		

5 _ MÉTODO DE CÁLCULO

5.1 _ RFEM

El programa de cálculo utilizado para el modelado, dimensionado y comprobación de la estructura de CLT es el de RFEM de Dlubal Software. Gracias a él y a los módulos RF-Laminate, RF-Dynam Pro, RF-Stability y RF-Imp se pueden calcular superficies laminadas como la madera contralaminada encolada, comprobaciones de sismo mediante estudio dinámico de vibraciones del terreno y comprobaciones de pandeo. Con este programa comprobaremos los requerimientos de flechas, ELU, tensiones máximas y demás verificaciones necesarias.

Se ha utilizado una versión completa de estudiante con el número (198321-01)

5.2 _ Cypecad y Cype 3D

Con la versión campus de Cype y los módulos de Cypecad y Cype 3D calcularemos el resto de la estructura, la correspondiente a la que se sitúa bajo rasante. Con Cypecad comprobaremos las exigencias del forjado sanitario introduciendo sobre él las cargas y reacciones en apoyos que hemos obtenido con el programa RFEM tratando así de recrear la realidad del comportamiento de la totalidad de nuestra estructura.

Por último chequearemos las verificaciones necesarias de cumplimiento de las vigas prefabricadas de hormigón armado con el módulo de Cype 3D. Sobre estas vigas introduciremos las cargas linealmente, obtenidas del resultado de combinaciones de cargas superficiales y lineales sobre el forjado sanitario y sumando como último la carga permanente de las losas aligeradas del forjado.

6 _ MODELO DE CÁLCULO

6.1 _ Predimensionado

En los primeros cálculos de predimensionado y gracias a las primeras hipótesis de cargas se decidió a utilizar paneles de pared y vigas de 100mm de la marca EGOIN compuesto por 3 capas (30+40+30) de madera tipo C24. Para paneles de forjado se introdujo para un primer cálculo paneles de forjado de 150mm de espesor formados por 5 capas (30x30x30x30x30) de madera C24 también.

6.2 _ Parámetros de cálculo

- Se introducen todas las superficies seleccionadas por predimensionado formando el modelo de cálculo en el programa RFEM.
- Se introduce un apoyo lineal en la base de todas las superficies que descansan sobre el forjado sanitario para reproducir la realidad del apoyo de los paneles sobre este. Se le da cierta flexibilidad ya que el apoyo del CLT sobre este nunca forma lo que comúnmente se conoce como nudo rígido.
- Se introducen todos los casos de carga (cargas permanentes, sobrecargas de cubierta, nieve y viento). Se pasa luego a distribuir las cargas de cada uno de los casos.
- Se articulan en el eje del canto todos los paneles entre si simulando las verdaderas uniones de estos.
- Se define una malla de elementos finitos "gruesa" de 0.5x0.5m para optimizar el cálculo del modelo. Con ella se harán las comprobaciones generales del modelo. Para verificaciones puntuales se refinará esta malla en los nudos, bordes o superficies necesarias.

6.3 _ Análisis del diseño estructural

Con el cálculo de toda la estructura vemos que ciertas verificaciones como flechas en forjados o ELU en paneles de pared no cumplen. Se opta por aumentar ciertos cantos de paneles de pared a 150mm y todos los cantos de paneles de cubierta y algunas vigas a 26mm. También se hace una comprobación y corrección de la disposición correcta de los paneles para que la dirección de las planchas de CLT sea la óptima y adecuada para un buen reparto de cargas.

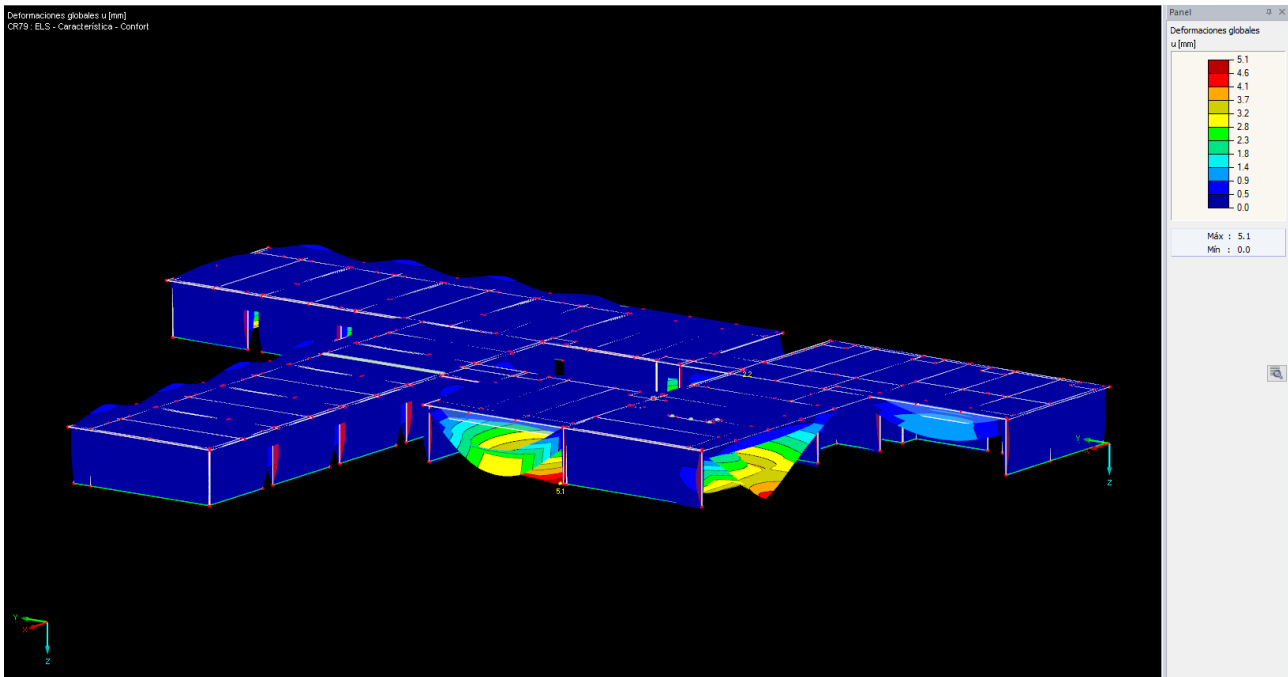
7 _ VERIFICACIONES

7.1 _ Comprobación de Estados Límite de Servicio (ELS)

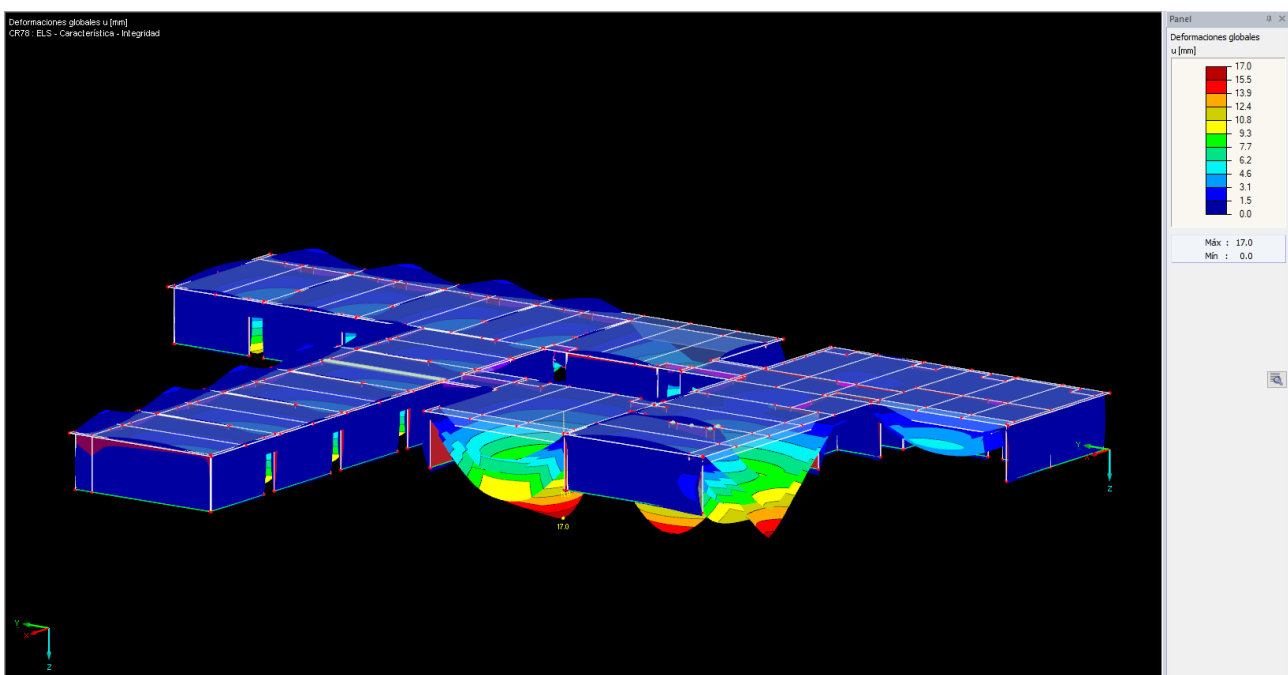
7.1.1 _ Flechas activas y totales en vigas y forjados

Los límites de deformación son los considerados en el el DB SE Capítulo 4.3.3.1:

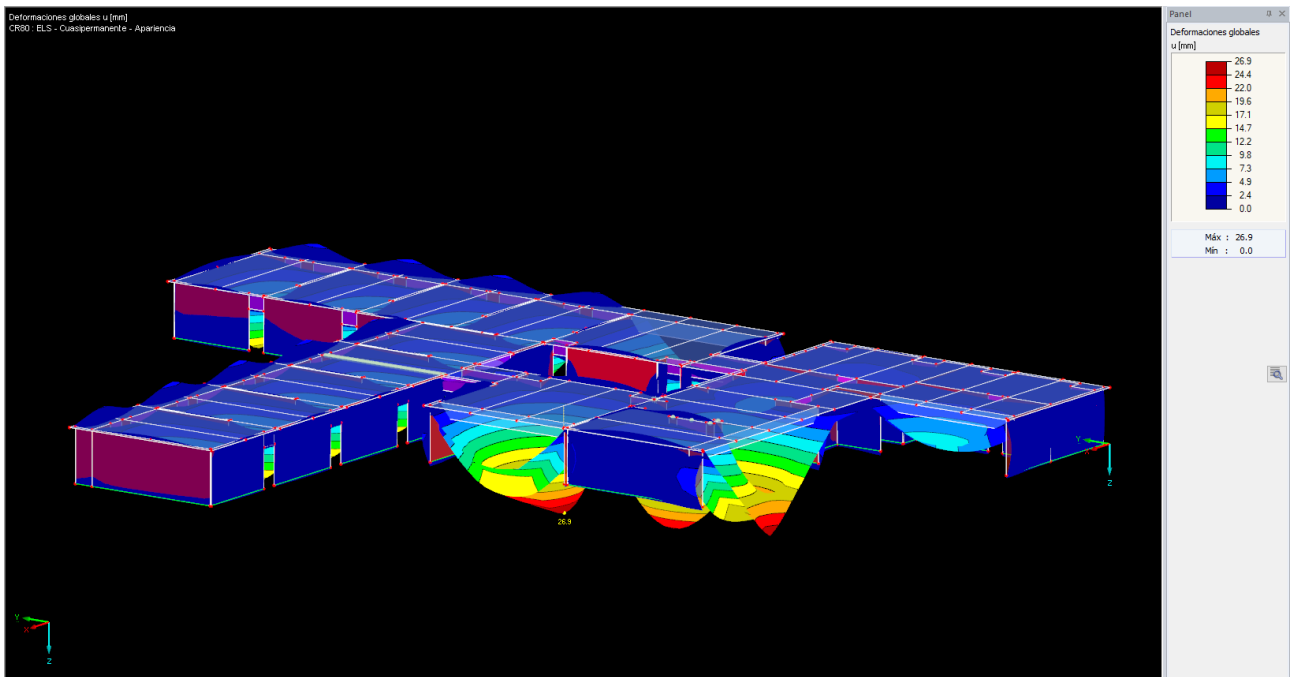
- Confort luz/350
- Integridad luz/300
- Apariencia luz/300



- Confort luz/350 ► $8500/350 = 25 \text{ mm} > \text{Flecha máxima} = 5,1 \text{ mm}$ ► CUMPLE

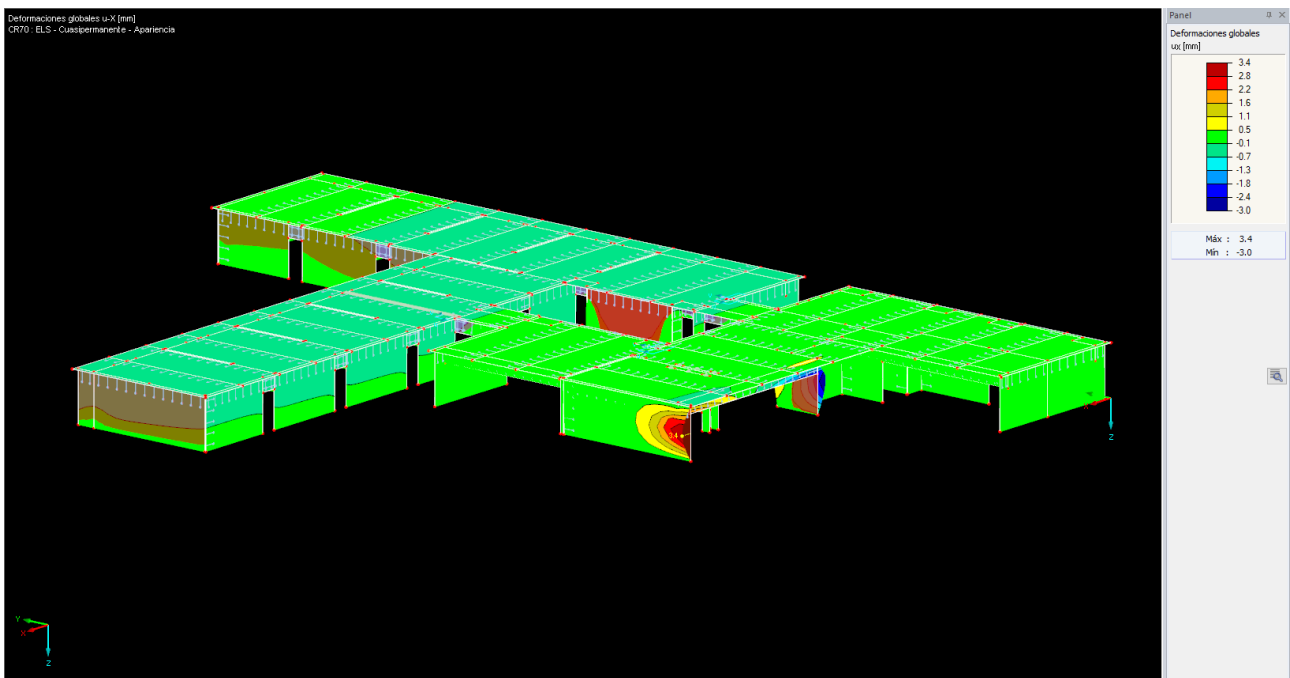


- Integridad luz/300 ► $8500/300 = 29 \text{ mm} > \text{Flecha máxima} = 17 \text{ mm}$ ► CUMPLE



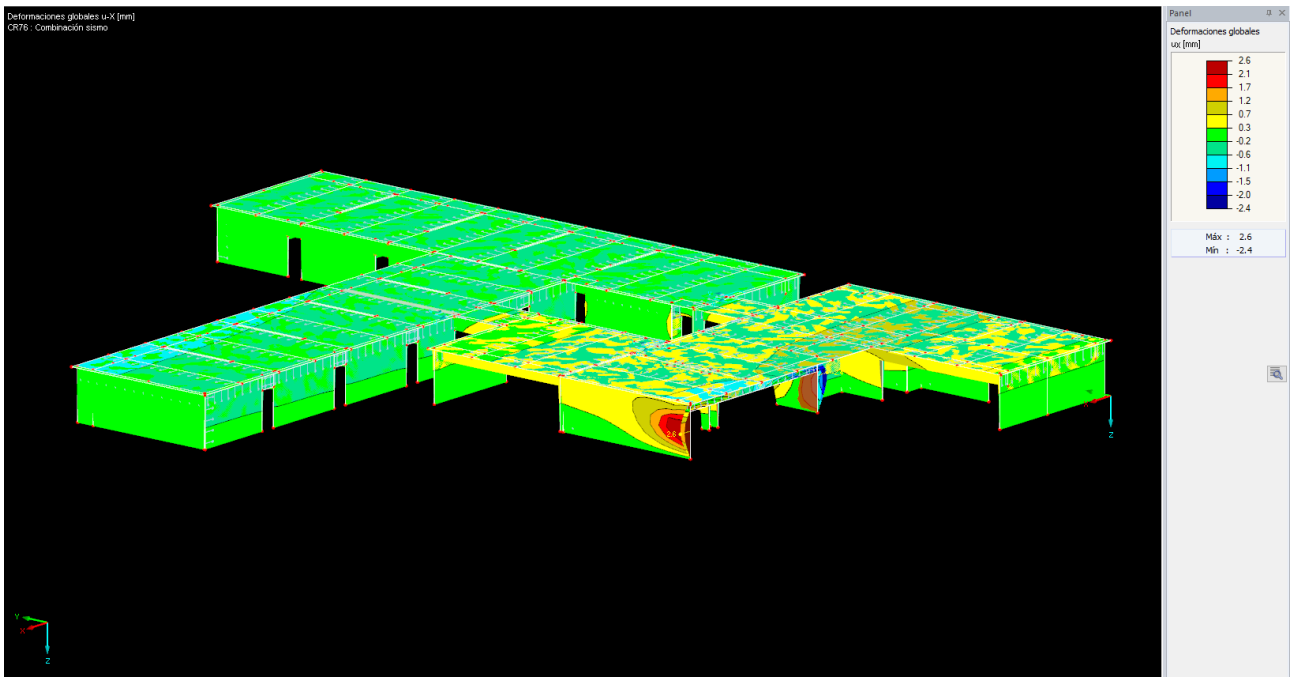
- Apariencia luz/300 ► $8500/300 = 29 \text{ mm} > \text{Flecha máxima} = 26,9 \text{ mm} \blacktriangleright \text{CUMPLE}$

7.1.2 _ Desplomes



En combinación de ELS Cuasipermanente - Apariencia:

- Desplome menor a 1/250 ► $3000/250 = 12 \text{ mm} > \text{Deformación máxima} = 3,4 \text{ mm} \blacktriangleright \text{CUMPLE}$

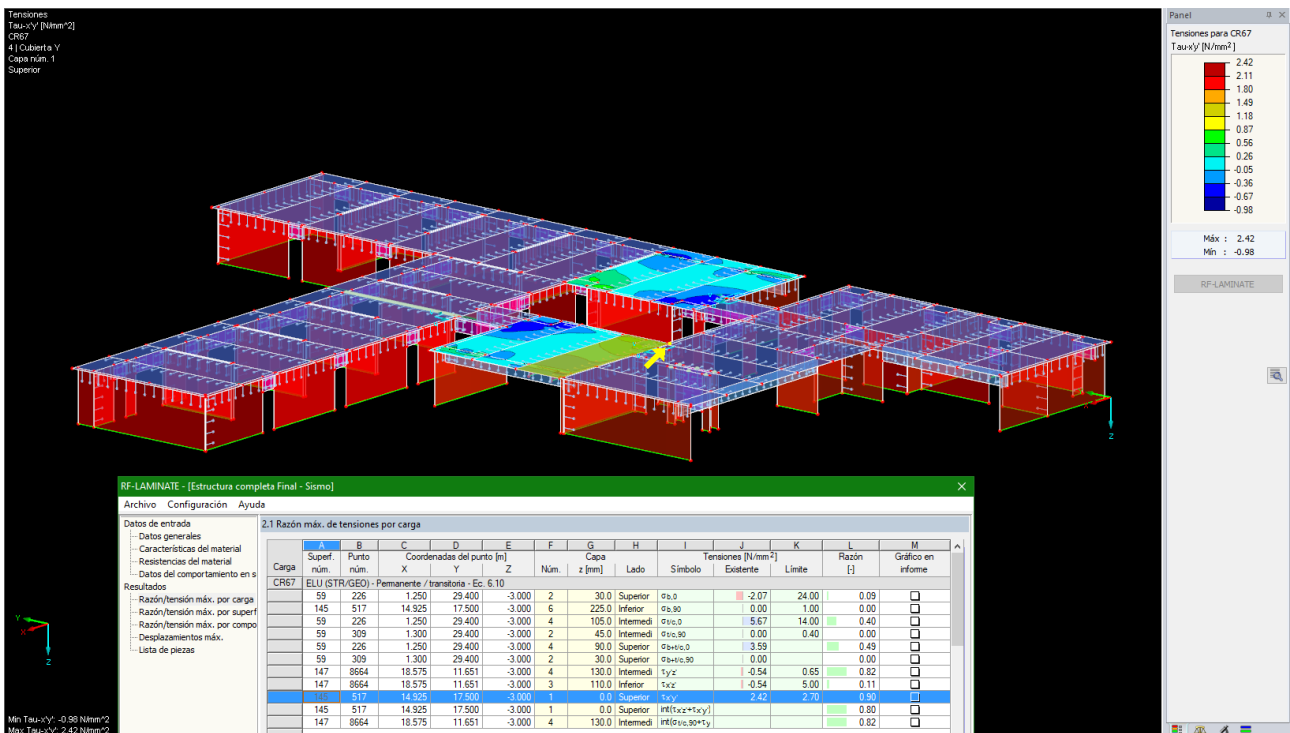


En combinación de Sismo:

- Desplome menor a 1/250 ► $3000/250 = 12 \text{ mm} > \text{Deformación máxima} = 2,6 \text{ mm} \blacktriangleright$ CUMPLE

7.2 _ Comprobación de Estados Límite Últimos (ELU)

7.2.1 _ Índices de aprovechamiento resistente



Para ELU nos encontramos con ratios de aprovechamiento dentro de los límites. Con el máximo en la superficie 145 (tensión en la capa superior del panel de cubierta) con un ratio de 0.90 ► CUMPLE

7.3 _ Sismo

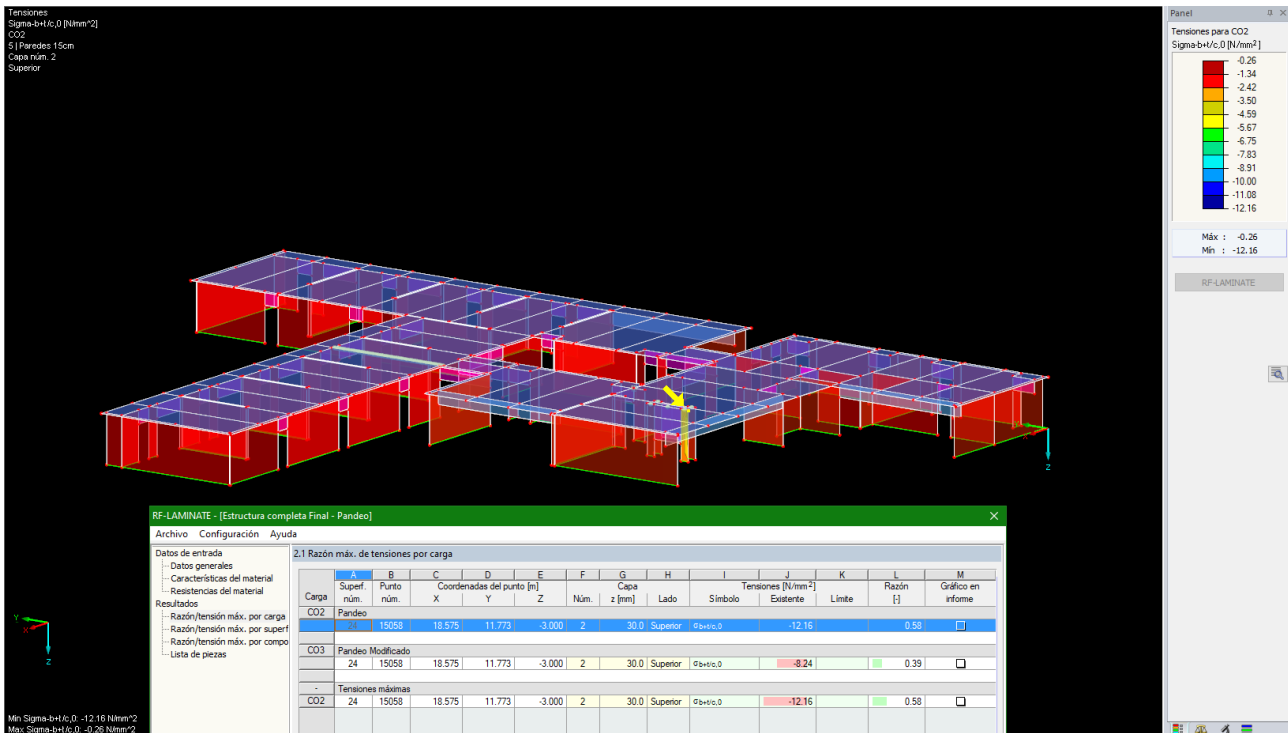
Para calcular sismo se ha utilizado el módulo RF-DYNAM PRO para realizar un análisis dinámico de vibraciones naturales, casos de masas y espectro de respuesta segun normativa española.

Carga	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Superf. num.	Punto num.	Coordenadas del punto [m]			Núm.	Capa z [mm]	Lado	Símbolo	Existente	Límite	Razón [-]	Gráfico en informe
	59	309	1.300	29.400	-3.000	1	0.0	Superior	t _{xy}	2.60	2.70	0.96	<input type="checkbox"/>
	59	309	1.300	29.400	-3.000	1	0.0	Superior	int(t _{xz} +t _{xy})			0.93	<input type="checkbox"/>
	147	8664	18.575	11.651	-3.000	4	130.0	Intermedi	int(σ _{vc,90} +t _y)			0.81	<input type="checkbox"/>
CR76	Combinación sismo												
	59	226	1.250	29.400	-3.000	2	30.0	Superior	σ _{b,0}	-1.26	24.00	0.05	<input type="checkbox"/>
	145	517	14.925	17.500	-3.000	2	35.0	Superior	σ _{b,90}	0.00	1.00	0.00	<input type="checkbox"/>
	138	472	6.100	20.900	-3.000	2	55.0	Intermedi	σ _{vc,0}	3.57	14.00	0.26	<input type="checkbox"/>
	59	309	1.300	29.400	-3.000	2	45.0	Intermedi	σ _{vc,90}	0.00	0.40	0.00	<input type="checkbox"/>
	59	226	1.250	29.400	-3.000	4	90.0	Superior	σ _{b+vc,0}	2.25		0.30	<input type="checkbox"/>
	59	309	1.300	29.400	-3.000	2	30.0	Superior	σ _{b+vc,90}	0.00		0.00	<input type="checkbox"/>
	147	8664	18.575	11.651	-3.000	4	130.0	Intermedi	t _{yz}	-0.34	0.65	0.52	<input type="checkbox"/>
	147	8664	18.575	11.651	-3.000	3	110.0	Inferior	t _{xz}	-0.34	5.00	0.07	<input type="checkbox"/>
	59	309	1.300	29.400	-3.000	1	0.0	Superior	t _{xy}	1.59	2.70	0.59	<input type="checkbox"/>
	59	309	1.300	29.400	-3.000	1	0.0	Superior	int(t _{xz} +t _{xy})			0.35	<input type="checkbox"/>
	147	8664	18.575	11.651	-3.000	4	130.0	Intermedi	int(σ _{vc,90} +t _y)			0.52	<input type="checkbox"/>
-	Tensiones máximas												
	59	226	1.250	29.400	-3.000	2	30.0	Superior	σ _{b,0}	-2.07	24.00	0.09	<input type="checkbox"/>

Seguimos cumpliendo los ratios de aprovechamiento para tensiones, deformaciones y otras verificaciones en la combinación de sismo ► **CUMPLE**

7.4 _ Pandeo

Para pandeo se ha optado como indica la norma a reducir a un 40% la rigidez de los paneles de pared además de crear una malla imperfecta de elementos finitos sobre la superficie a estudiar. Se ha optado por la superficie más esbelta y con más carga por ser la más indicada a pandear. Se han utilizado los módulos RF-Stability y RF-IMP de RFEM5 para esta comprobación.



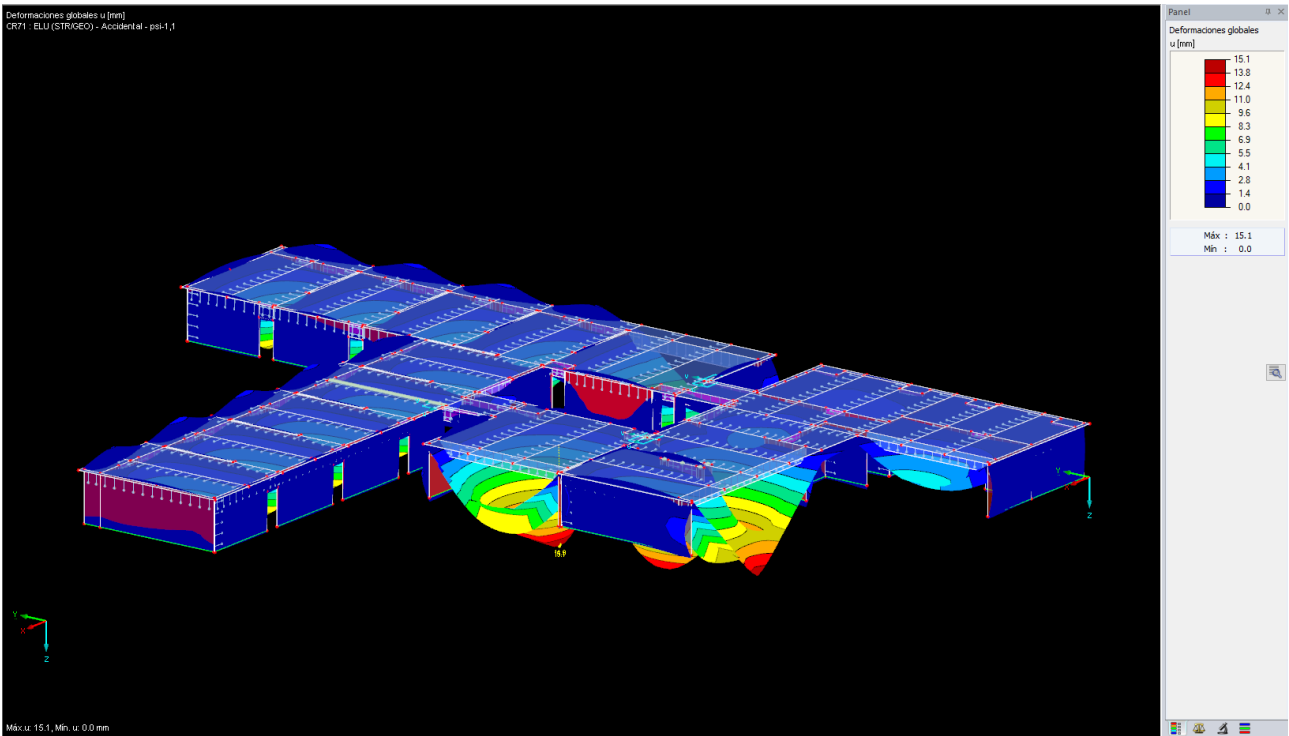
Comprobamos para un caso de pandeo natural y otro modificado (con las imperfecciones y la reducción de rigidez del panel) que este sigue cumpliendo y está dentro del ratio de aprovechamiento para tensiones máximas. Concluimos que el pandeo no es un problema en nuestra estructura y no es un factor a tener en cuenta ► **CUMPLE**

7.5 _ Fuego

En el caso del cálculo frente al fuego, las comprobaciones estructurales previamente indicadas se resuelven mediante la misma formulación, pero utilizando la sección reducida tras la acción del fuego y las resistencias sin reducir por el coeficiente de seguridad del material.

La obtención de la sección reducida se obtiene a partir de la velocidad de carbonización, β_1 , cuyo valor depende del material utilizado y del tipo de sección. El aumento de temperatura da como resultado una reducción de las propiedades del material, que se considera a través de una capa sin resistencia de 7,00 milímetros de espesor.

Además, una capa longitudinal debe de tener, una vez considerada la acción del fuego, un mínimo de 3,00 milímetros de espesor para que se pueda considerar su aportación.



RF-LAMINATE - [Estructura completa Final - Sismo]

Archivo Configuración Ayuda

Datos de entrada

- Datos generales
- Características del material
- Resistencias del material
- Datos del comportamiento en s

Resultados

- Razón/tensión máx. por carga
- Razón/tensión máx. por superf
- Razón/tensión máx. por compo
- Desplazamientos máx.
- Lista de piezas

2.1 Razón máx. de tensiones por carga

Carga	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
	Superf. num.	Punto num.	Coordenadas del punto [m]			Núm.	Capa z [mm]	Lado	Símbolo	Tensiones [N/mm ²]	Existente	Límite	Razón [.]	Gráfico en informe
	145	517	14.925	17.500	-3.000	1	0.0	Superior	int($\tau_{xz} + \tau_{xy}$)			0.80	<input type="checkbox"/>	
	147	8664	18.575	11.651	-3.000	4	130.0	Intermedi	int($\sigma_{vc,90} + \tau_y$)			0.82	<input type="checkbox"/>	
CR71	ELU (STR/GEO) - Accidental - psi-1,1													
	59	226	1.250	29.400	-3.000	4	120.0	Inferior	$\sigma_{b,0}$	1.15	24.00	0.05	<input type="checkbox"/>	
	145	517	14.925	17.500	-3.000	2	35.0	Superior	$\sigma_{b,90}$	0.00	1.00	0.00	<input type="checkbox"/>	
	138	472	6.100	20.900	-3.000	2	55.0	Intermedi	$\sigma_{vc,0}$	3.13	14.00	0.22	<input type="checkbox"/>	
	59	309	1.300	29.400	-3.000	2	45.0	Intermedi	$\sigma_{vc,90}$	0.00	0.40	0.00	<input type="checkbox"/>	
	59	226	1.250	29.400	-3.000	4	90.0	Superior	$\sigma_{b+vc,0}$	1.97		0.27	<input type="checkbox"/>	
	59	309	1.300	29.400	-3.000	2	30.0	Superior	$\sigma_{b+vc,90}$			0.00	<input type="checkbox"/>	
	147	8664	18.575	11.651	-3.000	4	130.0	Intermedi	τ_{yz}	-0.30	0.65	0.46	<input type="checkbox"/>	
	147	8664	18.575	11.651	-3.000	3	110.0	Inferior	τ_{xz}	-0.30	5.00	0.06	<input type="checkbox"/>	
	59	309	1.300	29.400	-3.000	1	0.0	Superior	τ_{xy}	1.45	2.70	0.54	<input type="checkbox"/>	
	59	309	1.300	29.400	-3.000	1	0.0	Superior	int($\tau_{xz} + \tau_{xy}$)			0.29	<input type="checkbox"/>	
	147	8664	18.575	11.651	-3.000	4	130.0	Intermedi	int($\sigma_{vc,90} + \tau_y$)			0.46	<input type="checkbox"/>	
CR76	Combinación sismo													
	59	226	1.250	29.400	-3.000	2	30.0	Superior	$\sigma_{b,0}$	-1.26	24.00	0.05	<input type="checkbox"/>	
	145	517	14.925	17.500	-3.000	2	35.0	Superior	$\sigma_{b,90}$	0.00	1.00	0.00	<input type="checkbox"/>	

Razón máx. de tensiones Valor máx. de tensiones Razón máx.: 0.90 ≤ 1

Razón - int($\tau_{xz} + \tau_{xy}$)
Superficie num. 146
CR67
X: 14.925 m
Y: 17.500 m
Z: -3.000 m

Extremos de superficie
Mín: 0.00
Máx: 0.80

Eje z local
Dirección
Inferior

Seguimos cumpliendo con las deformaciones máximas y ningún panel está por debajo de su ratio de aprovechamiento ► **CUMPLE**