

TRABAJO FINAL DE GRADO

Análisis de la sostenibilidad de la estructura del
MPavilion 2018 de Melbourne diseñado por
Carme Pinós

Alumno: Víctor Ayllón Pérez

Tutor: Arianna Paola Guardiola Villora

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Curso 2019-20



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

ÍNDICE

RESUMEN	1
RESUM.....	2
ABSTRACT	3
1.INTRODUCCIÓN.....	4
2.DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	6
2.1. PROYECTO	6
2.2 MODELO ESTRUCTURAL.....	8
3.ACCIONES EN LA EDIFICACION (DB-SE-AE).....	12
3.1. ACCIONES PERMANENTES.....	12
3.1.1 Peso propio	12
3.2. ACCIONES VARIABLES.....	13
3.2.1 Sobrecarga de uso	13
3.2.2 Sobrecarga de viento.	14
3.2.3 Sobrecarga de nieve.....	21
4. COMBINACIONES DE CARGAS	22
4.1 Combinación de los Estados Limite Últimos.	24
4.2 Combinación de los Estados Limites de Servicio.....	25
5. DIMENSIONADO ARCHITRAVE®.	27
5.1 Modelización de la estructura.....	27
5.2.Cálculo y dimensionado de los elementos estructurales.....	31
5.2.1 Dimensionado en acero	34
5.2.2 Dimensionado madera	36
6.CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO	38
7. DISCUSION Y CONCLUSIONES	42
8. REFERENCIAS	44
9.ÍNDICE DE IMÁGENES.....	45
10.ÍNDICE DE TABLAS	47
11.ANEXOS	48
Anexo 1. Certificado suministro madera.....	48
Anexo 2. Maderas Coníferas en España.....	49

RESUMEN

Mpavilion es una iniciativa de la fundación Naomi Milgrom y la ciudad de Melbourne en la que cada año, desde 2014, un arquitecto de reconocido prestigio diseña un pabellón que se instala temporalmente en los jardines Queen Victoria como parte de una iniciativa cultural que pone en el foco la influencia del diseño, la arquitectura y la cultura en la creación de ciudades habitables, creativas y justas. Finalmente, una vez finalizada la temporada, el Mpavilion se traslada a una ubicación permanente.

El objetivo de este trabajo es analizar la estructura del Mpavilion 2018 diseñado por la Arquitecta Española Carme Pinós desde el punto de vista de la sostenibilidad de las estructuras.

En la modelización de la estructura diseñada por Carme Pinós con acero y madera, se propondrá como nueva ubicación del pabellón el municipio de Requena. La idea de esta nueva ubicación es doble: por un lado, ubicar el pabellón cerca de un bosque que pueda suministrar la madera necesaria para su construcción, y por tanto poder utilizar materiales de km cero, y por otro, utilizar la construcción de este pabellón como punto de interés para un turismo rural, interesado en el diseño, la arquitectura y la cultura, trasladando el espíritu de la iniciativa Mpavilion a una zona con riesgo de abandono.

El análisis estructural se llevará a cabo del proyecto original del pabellón de Melbourne 2018, dimensionando los elementos con acero estructural, según los criterios del DB SE Acero y comparando la huella de carbono con los resultados obtenidos de diseñar la misma estructura con madera estructural siguiendo los criterios del DB SE Madera del Código Técnico de la Edificación.

Palabras clave:

Mpavilion 2018; análisis estructural; Carme Pinós; Huella de carbono; Sostenibilidad de las estructuras; estructuras de madera; DB SE-A del CTE; DB SE-M del CTE

RESUM

MPavilion és una iniciativa de la fundació Naomi Milgrom i la ciutat de Melbourne en la qual cada any, des de 2014, un arquitecte de reconegut prestigi dissenya un pavelló que s'instal·la temporalment als jardins Queen Victoria com a part d'una iniciativa cultural que posa en el focus la influència del disseny, l'arquitectura i la cultura en la creació de ciutats habitables, creatives i justes. Finalment, una vegada finalitzada la temporada, el MPavilion es trasllada a una ubicació permanent.

L'objectiu d'aquest treball és analitzar l'estructura del Mpavilion 2018 dissenyat per l'Arquitecta Espanyola Carme Pinós des del punt de vista de la sostenibilitat de les estructures.

En la modelització de l'estructura dissenyada per Carme Pinós amb acer i fusta, es proposarà com a nova ubicació del pavelló el municipi de Requena. La idea d'aquesta nova ubicació és doble: d'una banda, situar el pavelló prop d'un bosc que pugui subministrar la fusta necessària per a la seua construcció, i per tant poder utilitzar materials de km zero, i per un altre, utilitzar la construcció d'aquest pavelló com a punt d'interès per a un turisme rural, interessat en el disseny, l'arquitectura i la cultura, traslladant l'esperit de la iniciativa Mpavilion a una zona amb el risc d'abandó.

L'anàlisi estructural es durà a terme del projecte original del pavelló de Melbourne 2018, dimensionant els elements amb acer estructural, segons els criteris del DB SE Acer i comparant la petjada de carboni amb els resultats obtinguts de dissenyar la mateixa estructura amb fusta estructural seguint els criteris del DB ES Fusta del Codi Tècnic de l'Edificació.

Paraules clau:

Mpavilion 2018; anàlisi estructural; Carme Pinós; Petjada de carboni; Sostenibilitat de les estructures; estructures de fusta; DB ES-A del CTE; DB ES-M del CTE

ABSTRACT

MPavilion is an ongoing initiative of the Naomi Milgrom Foundation supported by City of Melbourne, in which each year, since 2014, an outstanding architect is commissioned to design a pavilion, temporarily installed in the Queen Victoria Gardens, as part of a cultural initiative that puts the focus on the influence that design, architecture and culture have in creating cities that are liveable, creative and equitable. Finally, at the close of each season, the MPavilion is relocated to a new permanent location.

The objective of this study is to analyse the structure of the MPavilion 2018 designed by the Spanish Architect Carme Pinós from the point of view of the sustainability of the structures.

In the analysis of the structure of the pavilion designed by Carme Pinós with steel and wood, the Spanish town of Requena will be proposed as the new location of the pavilion.

The purpose of this new location is twofold: on one hand, to locate the pavilion near a forest that can supply the necessary wood for its construction, and therefore to be able to use zero-km materials, and on the other hand, to use the construction of this pavilion as a point of interest for rural tourism, interested in design, architecture and culture, following the spirit of the MPavilion initiative to an area with risk of abandonment.

The structural analysis will be carried out of the original Melbourne pavilion 2018 project, designing the elements with structural steel, according to the criteria of DB SE Steel and comparing the carbon footprint with the results obtained from designing the same structure with structural wood according to the DB SE Timber criteria of the Technical Building Code.

Key words:

Mpavilion 2018; structural analysis; Carme Pinós; carbon footprint; Structural sustainability; timber structures; CTE DB SE-A; CTE DB SE-M.

1.INTRODUCCIÓN

En la arquitectura uno de los aspectos que se tienen en cuenta cuando se escogen los materiales de construcción son sus características. Suelen elegirse los materiales con mejores propiedades y que garanticen la mejor solución para su uso. En la elección de esos materiales estructurales habitualmente se tiene en cuenta la solución más económica y no se suelen considerar su impacto medioambiental. Además, a la hora de escoger los materiales para una obra nueva se eligen los más comunes, los habituales de la zona, los cuales generalmente no suelen ser los que menor huella de carbono generan. Por ello, dada la tendencia medioambiental actual, es necesario tener en cuenta también este factor a la hora de la selección de materiales. Para reducir el impacto de los edificios, por tanto, se debe buscar nuevos materiales de uso menos común con un menor impacto medioambiental. Para hacer frente a este tipo de problemas surgieron los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) *“el 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años.”* (www.un.org).



Imagen 1: Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente (www.un.org)

De esta forma dentro de la agenda 2030 se encuentra el objetivo número 13: “acción por el clima”, que hace referencia a los niveles de dióxido de carbono (CO₂) y a los gases de efecto invernadero.

Actualmente, el método utilizado para determinar el impacto de un edificio en el medioambiente consiste en evaluar la huella de carbono de los materiales que se utilizan en los edificios. La selección de un material u otro en la estructura de un edificio puede suponer un impacto importante en el aspecto global. En la evaluación de la huella de carbono de cada elemento se calcula la cantidad de CO₂ que produce durante su vida, desde la extracción de la materia prima, su manipulación y por último su reciclaje o su derribo. Es lo que se conoce como el ciclo “de la cuna a la tumba”.

Para tener en cuenta la huella de carbono que generan los distintos materiales y así facilitar la elección del más sostenible el Banco de datos BEDEC (ITeC, www.itec.es) proporciona la cantidad de CO₂ generada por cada uno de los materiales de construcción, incluidos los elementos estructurales, en función del peso.

En este trabajo se realizará el análisis y dimensionado de la estructura original en acero, y la propuesta alternativa diseñada con madera, y posteriormente se comparará la huella de carbono de ambas soluciones.

2.DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA

2.1. PROYECTO

MPavilion es una iniciativa que desde 2014, y gracias a la Fundación Naomi Milgrom, encarga a un arquitecto que diseñe un pabellón que durante un periodo de tiempo se ubicará en los jardines Queen Victoria de Melbourne. Después de este periodo los pabellones son desmontados y reubicados.

En 2018 se le encargó esta labor a la arquitecta Carme Pinós cuyo diseño “[...]revela un espacio cívico abierto que invita a la interacción, así como a un discurso entre las personas, el diseño, la naturaleza y la ciudad. El diseño incorpora planos flotantes que descansan en ángulos en puntos elevados dentro del parque, conectando el MPavilion con la ciudad. Las formas interconectadas de la estructura recuerdan materiales doblados como el origami. [...] El MPavilion en sí es una configuración geométrica ensamblada en dos mitades distintas sostenidas por un marco de portal de acero central. Dos superficies de celosías de madera se cruzan entre sí para formar el techo del pabellón. Una topografía alterada forma tres montículos que incorporan asientos, permitiendo multitud de experiencias: dinámicas, espontáneas y colectivas.” (www.mpavilion.org).



Imagen 2: MPavilion 2018, Fuente (www.cpinos.com)



Imagen 3: MPavilion 2018, Fuente (www.cpinos.com)

Al tratarse de un Proyecto pensado para ser trasladado a una nueva ubicación, y a fin de facilitar los cálculos tomando como referencia el Código Técnico de la Edificación se decide una nueva ubicación situada en el territorio español, concretamente en el municipio de Requena dentro de la provincia de Valencia. La nueva ubicación se propone por la posibilidad de obtener los materiales para su construcción de kilómetro cero y de esta forma reducir su huella de carbono relativa al transporte de materiales.



Imagen 4: Municipio de Requena. Fuente Google Maps.

Para el cálculo y su posterior comparación se realiza el modelo con dos materiales, el acero mediante perfiles laminados en caliente y en madera aserrada con secciones cuadradas y rectangulares. Habiendo ubicado el pabellón en Requena, se opta por diseñar la estructura con madera del Pino Negral (*Pinus nigra*) cuya clase resistente es la C22 tras contactar con una empresa de comercialización de madera estructural (Ayuntamiento de Cuenca Maderas S.A.) la cual garantiza esta resistencia C22 según el ANEXO 1 y su suministro.

2.2 MODELO ESTRUCTURAL

El modelo estructural se ha realizado a partir de las imágenes de alzados secciones y plantas encontradas en la página web del despacho de Carme Pinos, Imagen 5, 7 y 9.

A partir de estas imágenes se ha obtenido el modelo de la estructura 3D que será utilizado en el procedimiento de cálculo, Imagen 11 y 12

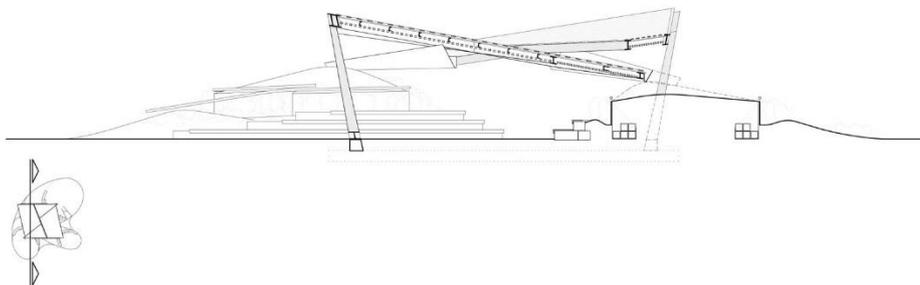


Imagen 5: Sección MPavilion 2018, Fuente (www.cpinos.com)

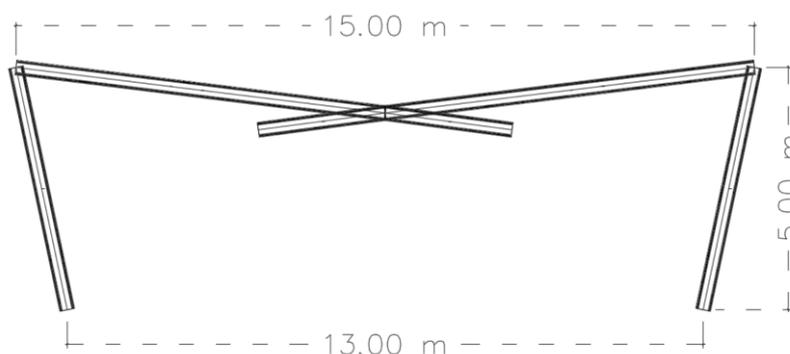


Imagen 6 Cotas de la sección de la Imagen 5, Dibujo propio

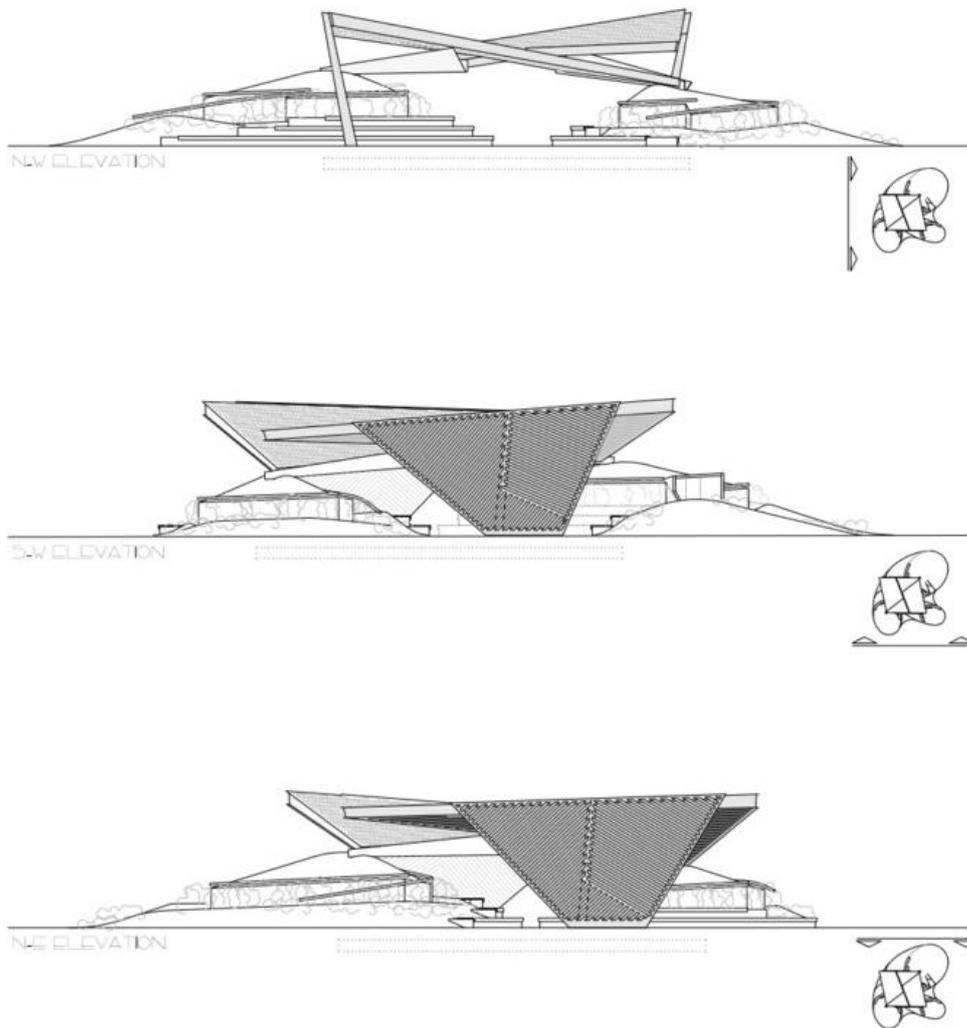


Imagen 7: Alzados MPavilion 2018, Fuente (www.plataformaarquitectura.cl)

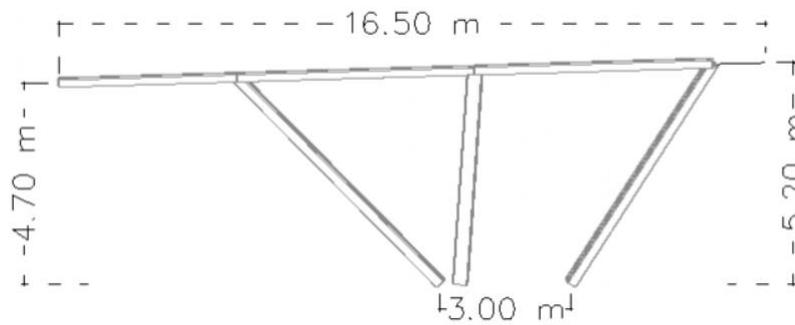


Imagen 8: Cotas del Alzado, Dibujo propio

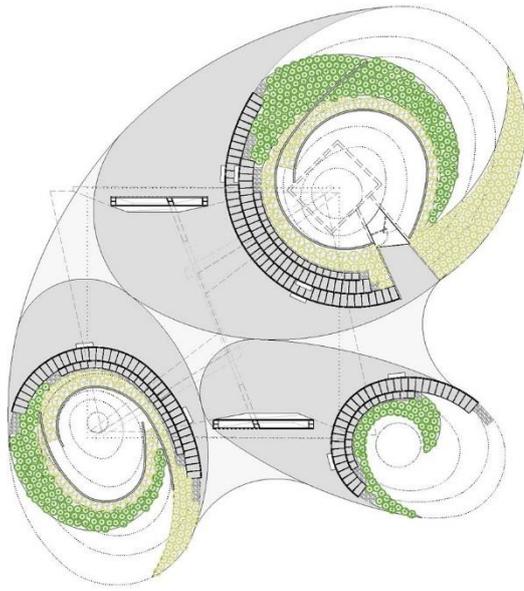


Imagen 9: Planta MPavilion 2018, Fuente (www.cpinos.com)

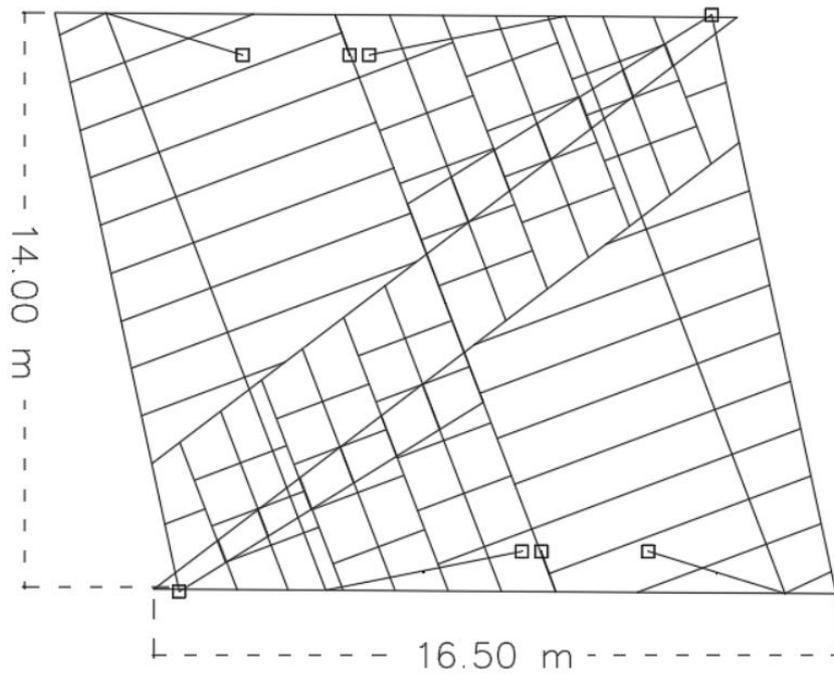


Imagen 10: Cotas de la planta de la Imagen 9, Dibujo propio



Imagen 11: Modelo de la estructura de acero, Realizado con Architrave®

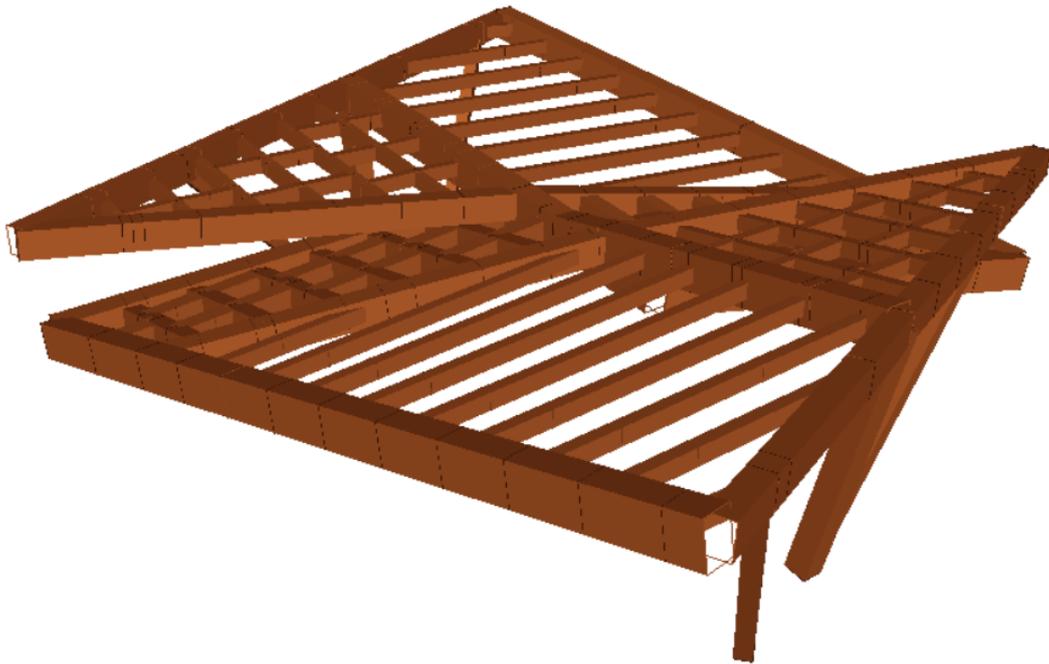


Imagen 12: Modelo de la estructura de madera, Realizado con Architrave®

3.ACCIONES EN LA EDIFICACION (DB-SE-AE)

Según el código técnico de la edificación (CTE) dentro del documento básico, seguridad estructural, acciones en la edificación (DB-SE-AE) las cargas que actúan sobre un edificio y su estructura se clasifican en acciones permanentes y acciones variables.

3.1. ACCIONES PERMANENTES

En la estructura a calcular se consideran como acciones permanentes únicamente el peso propio de los elementos de la estructura y del cerramiento. En este proyecto se tienen en cuenta el peso propio de las lamas de madera de los cerramientos, el peso de las placas de policarbonato transparente de la cubierta y el peso propio de los elementos estructurales.

3.1.1 Peso propio

Cerramiento de lamas de madera: se consideran como una superficie homogénea de 32mm de espesor con un peso específico aparente de 3,5 kN/m³ según el CTE, lo que se transforma en una carga de peso propio de 0,112 kN/m². Al tener dos hojas de cerramiento hay que duplicar ese valor cuyo resultado es **0,224 kN/m²**.

Materiales y elementos	Peso específico aparente kN/m³
Madera	
Aserrada, tipos C14 a C40	3,5 a 5,0
Laminada encolada	3,7 a 4,4
Tablero contrachapado	5,0
Tablero cartón gris	8,0
Aglomerado con cemento	12,0
Tablero de fibras	8,0 a 10,0
Tablero ligero	4,0

Tabla 1:Valores pesos específicos, Fuente tabla C.1 DB-SE-AE

Placas Policarbonato compacto plano de espesor 8mm cuyo valor de carga es de **0,12 KN/m²**

Espesor (mm)	2	3	4	5	6	8	10	12
Peso (Kg/m ²)	2,4	3,6	4,8	6,0	7,2	9,6	12,0	14,4
Anchura (mm)	2.050 - 2.500							
Longitud (mm)	6.100							

Tabla 2: Valores de pesos de las placas de policarbonato, Fuente (www.aisluxgalicia.com)

El peso propio de los elementos estructurales lo considera directamente el programa de cálculo Architrave®.

3.2. ACCIONES VARIABLES

3.2.1 Sobrecarga de uso

La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso. Los valores característicos de la sobrecarga de uso se toman de la *tabla 3.1 del DB-SE-AE*. El valor de la carga de uso es **0,4 KN/m²**

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 3: Valores sobrecarga de uso, Fuente Tabla 3.1 CTE DB-SE-AE

3.2.2 Sobrecarga de viento.

La carga de viento es una fuerza perpendicular a todas las superficies expuestas del edificio, o presión estática q_e .

$$q_e = q_b \cdot C_e \cdot C_p$$

La presión dinámica del viento (q_b) tiene un valor de forma simplificada para cualquier punto del territorio español igual a $q_b = 0,5 \text{ KN/m}^2$.

El coeficiente de exposición (C_e) depende de la altura máxima del proyecto de 5,2 metros y el grado de aspereza del entorno. Se determina según el punto 3.3.3 DB-SE-AE un valor resultante de $C_e = 1,375$.

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Tabla 4: Valores del coeficiente de exposición C_e , Fuente tabla 3.4 CTE DB-SE-AE

El coeficiente eólico o de presión para estructuras diáfnas o naves viene expresado en el punto 3.3.5 del DB-SE-AE. Al tener un área de huecos superior al 30% del área total para cada uno de sus lados se considera la cubierta de la estructura como una marquesina. Por otro lado, al tener grandes huecos la sobrecarga de viento genera en los paramentos presión exterior y presión interior.

Para calcular el coeficiente de presión interior se utiliza la tabla 3.6 del DB-SE-AE, donde con un área de huecos en succión respecto al área total de huecos del 50% (0,5), y una esbeltez <1 el coeficiente de presión interior $C_{pi} = 0,1$.

Esbeltez en el plano paralelo al viento	Área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos del edificio											
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
≤ 1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	
≥ 4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	

Tabla 5: Coeficiente de presión interior, Fuente CTE DB-SE-AE

Entonces $q_{ei} = 0,5 \times 1,3 \times 0,1 = 0,065 \text{ KN/m}^2$.

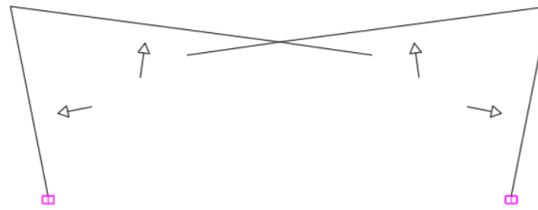


Imagen 13: Dirección del viento en presión interior (q_{ei}), Dibujo propio

Para el cálculo de los coeficientes de presión exterior sobre los paramentos se consideran los valores del Anejo D.3 del DB-SE-AE.

Ejemplos de alzados

A (m ²)	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	"	-0,3

$e = \min(b, 2h)$

Tabla 6: Coeficiente de presión exterior en paramentos verticales,

Fuente tabla D.3 CTE-DB-SE-AE

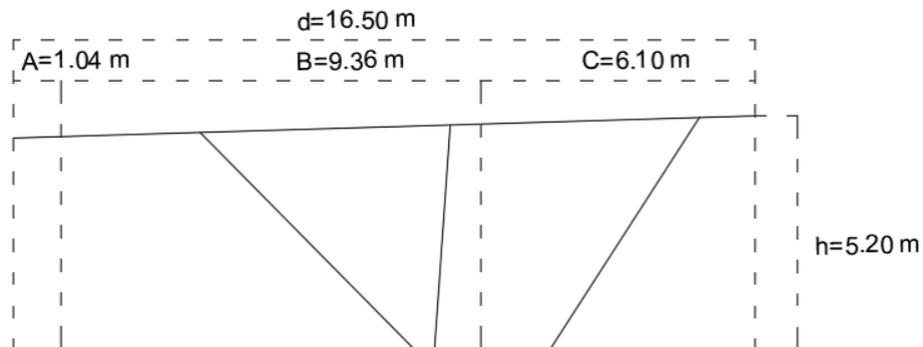


Imagen 14: Cotas de las áreas de viento en paramentos verticales, Dibujo propio

Paramentos verticales					
	A	B	C	D	E
C_{pe}	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,5
q_{ee} (KN/m ²)	-0,78	-0,52	-0,325	0,52	-0,32

Tabla 7: Valores de la carga de viento en paramentos verticales, Elaboración propia

La carga de viento con dirección Norte-Sur es de presión en la superficie D, y de succión en la superficie E.

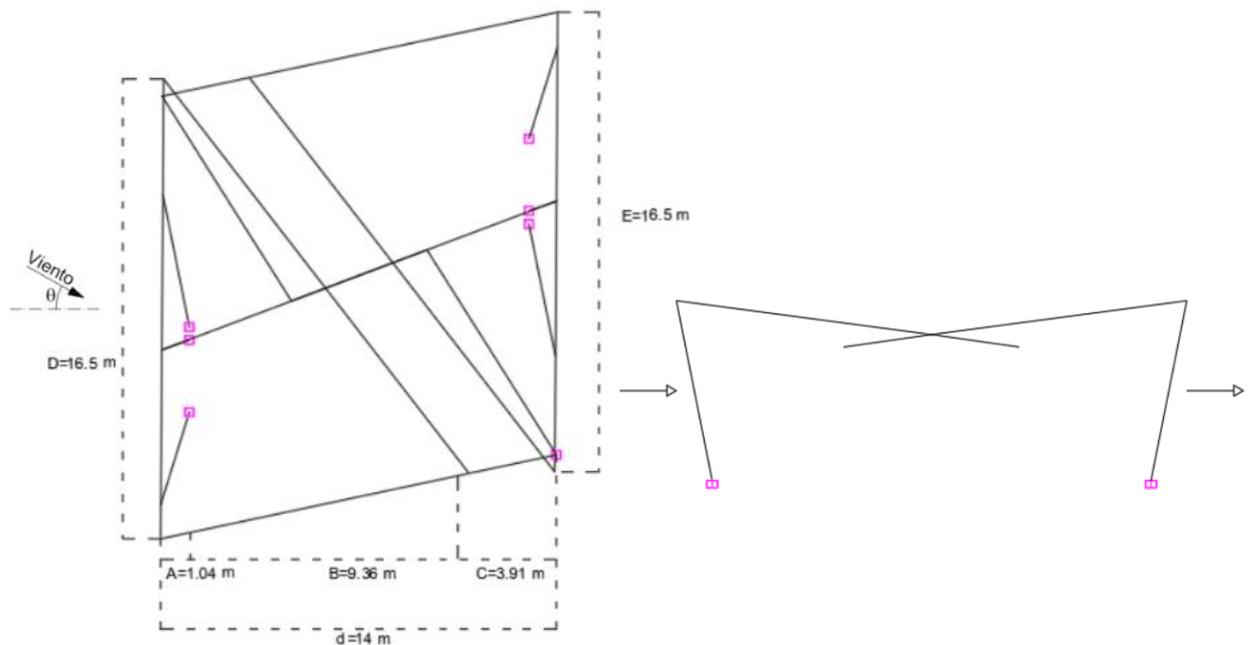


Imagen 15: Viento Norte-Sur, Dibujo propio

La carga de viento con dirección Sur-Norte es de presión en la superficie E y de succión en la superficie D.

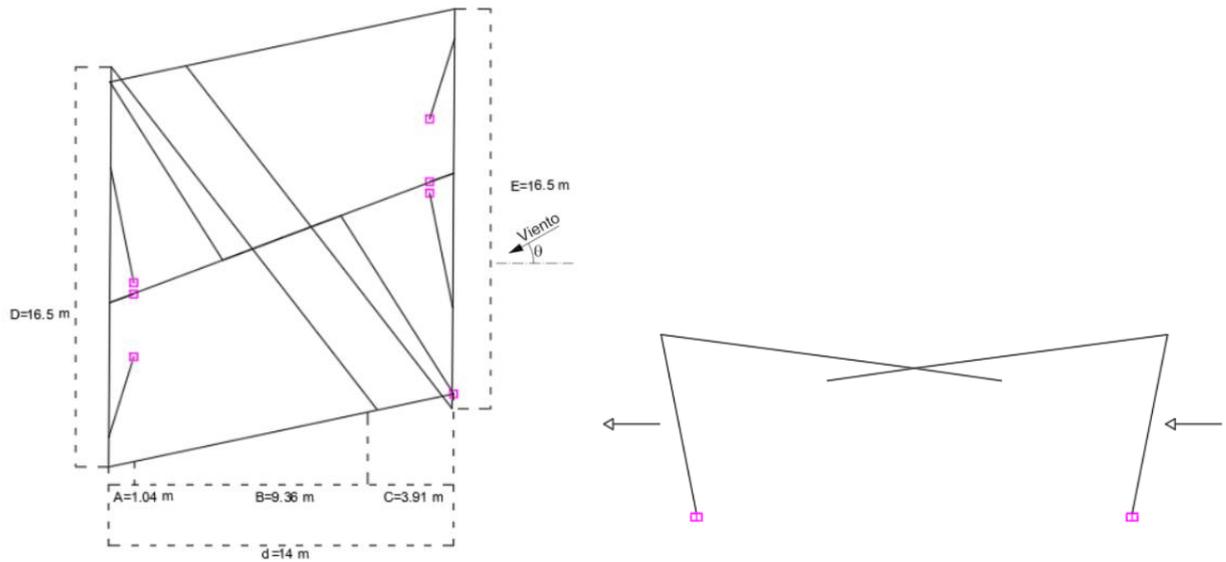


Imagen 16: Viento Sur-Norte, Dibujo propio

La carga de viento con dirección Este-Oeste y Oeste-Este es de succión en las superficies A, B, y C. Por la geometría del paramento vertical, el área A es nula, ya que no coincide con la superficie del cerramiento.

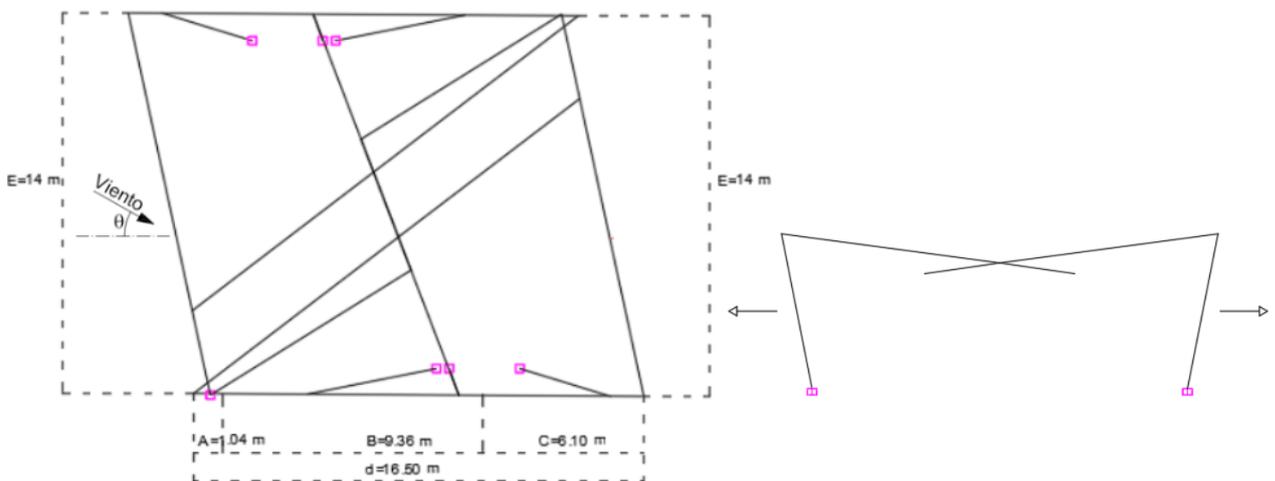


Imagen 17: Viento Este-Oeste, Dibujo propio

Por la geometría de la estructura se considera que la estructura está formada por dos marquesinas independientes, tomando los valores de la tabla de marquesinas a un agua.

Coeficientes de presión exterior						
$C_{pe,10}$						
Pendiente de la cubierta α	Efecto del viento hacia	Factor de obstrucción φ	Zona (según figura)			
			A	B	C	
$\varphi=1$	0°	Abajo	0,5	1,8	1,1	
		Arriba	0	-1,3	-1,4	
		Arriba	1	-1,5	-2,2	
	5°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,8	2,1	1,3
		Arriba	0	-1,1	-1,7	-1,8
		Arriba	1	-1,6	-2,2	-2,5
$\varphi=0$ Alzados	10°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,2	2,4	1,6
		Arriba	0	-1,5	-2,0	-2,1
		Arriba	1	-2,1	-2,6	-2,7
	15°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,4	2,7	1,8
		Arriba	0	-1,8	-2,4	-2,5
		Arriba	1	-1,6	-2,9	-3,0
	20°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,7	2,9	2,1
		Arriba	0	-2,2	-2,8	-2,9
		Arriba	1	-1,6	-2,9	-3,0
	25°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	2,0	3,1	2,3
		Arriba	0	-2,6	-3,2	-3,2
		Arriba	1	-1,5	-2,5	-2,8
30°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	2,2	3,2	2,4	
	Arriba	0	-3,0	-3,8	-3,6	
	Arriba	1	-1,5	-2,2	-2,7	
Planta	0°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	2,2	3,2	2,4
		Arriba	0	-3,0	-3,8	-3,6
		Arriba	1	-1,5	-2,2	-2,7
	45°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	2,5	3,5	2,7
		Arriba	0	-3,5	-4,5	-4,2
		Arriba	1	-2,0	-3,0	-3,3

Tabla 8: Valor del coeficiente de presión exterior en marquesinas,

Fuente tabla D.10 CTE DB-SE-AE

Paramentos horizontales			
	A	B	C
C_{pe}	1,2	2,4	1,6
q_{ee} (KN/m ²)	0,78	1,56	1,04

Tabla 9: Valores de la carga de viento en paramentos horizontales, Elaboración propia

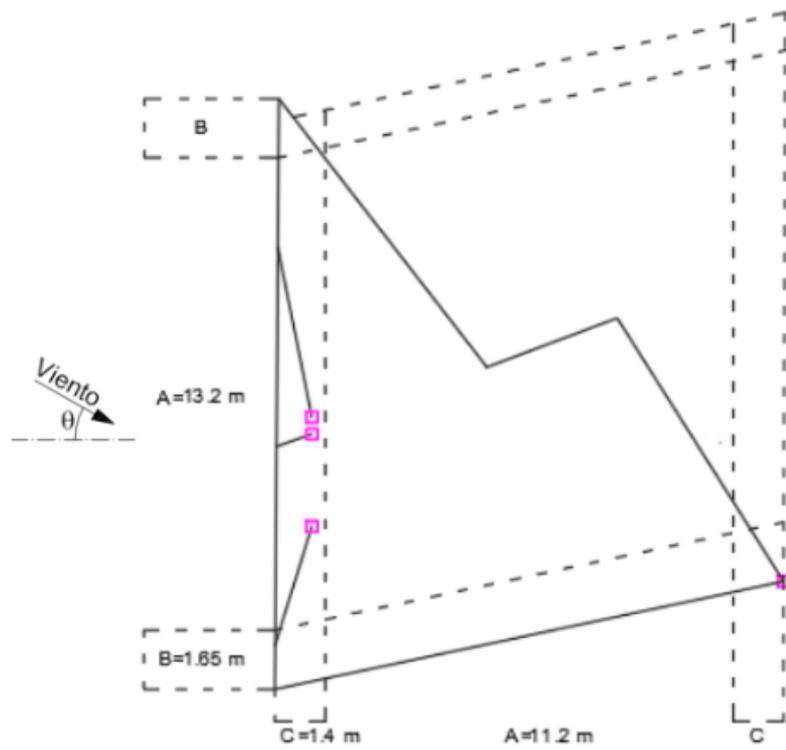


Imagen 18: Areas del viento Norte-Sur en paramento horizontal, Dibujo propio

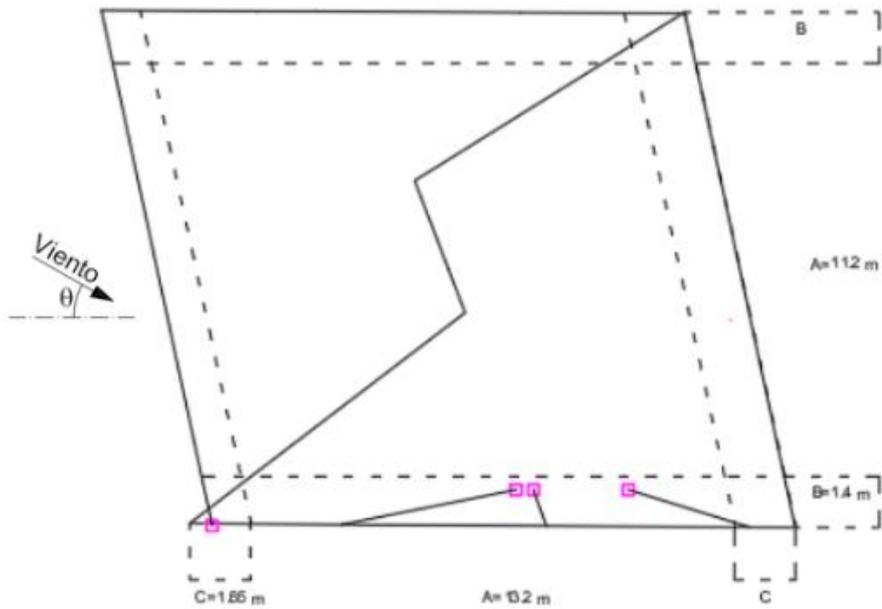


Imagen 19: Areas del viento Este-Oeste en paramento horizontal, Dibujo propio

Viento Norte-Sur		
Paramentos verticales		
q_{ei} (KN/m ²)	0,065 KN/m ²	presión interior
q_{ee} D (KN/m ²)	0,52 KN/m ²	presión
q_{ee} E (KN/m ²)	0,32 KN/m ²	succión
Paramentos horizontales		
q_{ei} (KN/m ²)	0,065 KN/m ²	presión interior
q_{ee} A (KN/m ²)	0,78 KN/m ²	presión
q_{ee} B (KN/m ²)	1,56 KN/m ²	presión
q_{ee} C (KN/m ²)	1,04 KN/m ²	presión
Viento Sur-Norte		
Paramentos verticales		
q_{ei} (KN/m ²)	0,065 KN/m ²	presión interior
q_{ee} E (KN/m ²)	0,52 KN/m ²	presión
q_{ee} D (KN/m ²)	0,32 KN/m ²	succión
Paramentos horizontales		
q_{ei} (KN/m ²)	0,065 KN/m ²	presión interior
q_{ee} A (KN/m ²)	0,78 KN/m ²	presión
q_{ee} B (KN/m ²)	1,56 KN/m ²	presión
q_{ee} C (KN/m ²)	1,04 KN/m ²	presión
Viento Este-Oeste		
Paramentos verticales		
q_{ei} (KN/m ²)	0,065 KN/m ²	presión interior
q_{ee} B (KN/m ²)	0,52 KN/m ²	succión
q_{ee} C (KN/m ²)	0,325 KN/m ²	succión
Paramentos horizontales		
q_{ei} (KN/m ²)	0,065 KN/m ²	presión interior
q_{ee} A (KN/m ²)	0,78 KN/m ²	presión
q_{ee} B (KN/m ²)	1,56 KN/m ²	presión
q_{ee} C (KN/m ²)	1,04 KN/m ²	presión

Tabla 10: Tabla resumen de las cargas de viento, Elaboración propia

3.2.3 Sobrecarga de nieve.

El valor de la carga de nieve se calcula mediante la fórmula:

$$q_n = \mu \cdot S_k$$

En cubiertas con pendientes <30% y sin limitación frente al deslizamiento de la nieve $\mu = 1$ según 3.5.3 Coeficiente de forma del DB-SE-AE.

Al no estar situado en capital de provincia el valor de S_k viene dada, según la zona y la altitud de la ubicación del proyecto, en el Anejo E del DB-SE-AE. Requena se encuentra a una altitud de 700 m y pertenece a la zona climática 5, con lo que se obtiene un valor de $S_k = 0,6 \text{ KN/m}^2$.



Imagen 20: Zonas climáticas de invierno, Fuente Figura E.2 CTE DB-SE-AE

Altitud (m)	Zona de clima invernal, (según figura E.2)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Tabla 11: Valor de carga de nieve, Fuente Tabla E.2 CTE DB-SE-AE

El resultado de la carga de nieve por unidad de superficie es $q_n = 0,6 \text{ KN/m}^2$.

4. COMBINACIONES DE CARGAS

Hipótesis de Cargas	
HIP 01	Peso propio
HIP 02	Uso
HIP 03	Nieve
HIP 04	Viento fachada Norte-Sur
HIP 05	Sismo
HIP 06	Viento fachada Sur-Norte
HIP 07	Viento fachada Este-Oeste
HIP 08	Viento cubierta Norte-Sur
HIP 09	Viento cubierta Este-Oeste

Tabla 12: Hipótesis de carga usadas en Architrave®, Elaboración propia

El dimensionado de la estructura se realiza mediante las verificaciones basadas en coeficientes parciales, según el cual se combinan las distintas hipótesis de cargas correspondientes a una situación persistente o transitoria. Este valor se obtiene de la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

siendo:

$(\gamma_G \cdot G_k)$ todas las acciones permanentes.

$(\gamma_Q \cdot Q_k)$ una acción variable cualquiera, se deben calcular distintos análisis para cada acción variable.

$(\gamma_Q \cdot \Psi_0 \cdot Q_k)$ el resto de las acciones variables.

γ coeficientes de seguridad según tabla 4.1 del CTE DB-SE.

Ψ coeficientes de seguridad según tabla 4.2 del CTE DB-SE.

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

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

Tabla 13: Coeficientes de seguridad para acciones, Fuente Tabla 4.1 CTE DB-SE

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

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

Tabla 14: Coeficientes de simultaneidad, Fuente Tabla 4.1 CTE DB-SE

Las combinaciones de cargas deben realizarse para los dos tipos de estados límites. “Se denominan estados límite aquellas situaciones para las que, de ser superadas, puede considerarse que el edificio no cumple alguno de los requisitos estructurales para las que ha sido concebido.” Según el CTE DB-SE apartado 3.2.

4.1 Combinación de los Estados Limite Últimos.

“Los estados límite últimos son los que, de ser superados, constituyen un riesgo para las personas, ya sea porque producen una puesta fuera de servicio del edificio o el colapso total o parcial del mismo.” Según el CTE DB-SE apartado 3.2.1.

ELU 01 -- Resistencia, Persistente: Gravitatoria Uso

Factores de carga: $(1,35 \times \text{HIP01}) + (1,50 \times \text{HIP02}) + (0,75 \times \text{HIP03})$

ELU 02 -- Resistencia, Persistente: Gravitatoria Nieve

Factores de carga: $(1,35 \times \text{HIP01}) + (1,50 \times \text{HIP03}) + (0,00 \times \text{HIP02})$

ELU 03 -- Resistencia, Persistente: Uso: Viento N-S

Factores de carga: $(1,35 \times \text{HIP01}) + (1,50 \times \text{HIP02}) + (0,70 \times \text{HIP03}) + (0,60 \times \text{HIP04}) + (0,60 \times \text{HIP08})$

ELU 04 -- Resistencia, Persistente: Uso: Viento S-N

Factores de carga: $(1,35 \times \text{HIP01}) + (1,50 \times \text{HIP02}) + (0,70 \times \text{HIP03}) + (0,60 \times \text{HIP06}) + (0,60 \times \text{HIP08})$

ELU 05 -- Resistencia, Persistente: Uso: Viento E-O

Factores de carga: $(1,35 \times \text{HIP01}) + (1,50 \times \text{HIP02}) + (0,70 \times \text{HIP03}) + (0,60 \times \text{HIP07}) + (0,60 \times \text{HIP09})$

ELU 06 -- Resistencia, Persistente: Nieve: Viento N-S

Factores de carga: $(1,35 \times \text{HIP01}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (1,50 \times \text{HIP03}) + (0,60 \times \text{HIP04}) + (0,60 \times \text{HIP08})$

ELU 07 -- Resistencia, Persistente: Nieve: Viento S-N

Factores de carga: $(1,35 \times \text{HIP01}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (1,50 \times \text{HIP03}) + (0,60 \times \text{HIP06}) + (0,60 \times \text{HIP08})$

ELU 08 -- Resistencia, Persistente: Nieve: Viento E-O

Factores de carga: $(1,35 \times \text{HIP01}) + (1,50 \times \text{HIP03}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (0,60 \times \text{HIP07}) + (0,60 \times \text{HIP09})$

ELU 09 -- Resistencia, Persistente: Viento N-S

Factores de carga: $(1,35 \times \text{HIP01}) + (0,70 \times \text{HIP03}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (1,50 \times \text{HIP08}) + (1,50 \times \text{HIP04})$

ELU 10 -- Resistencia, Persistente: Viento S-N

Factores de carga: $(1,35 \times \text{HIP01}) + (0,70 \times \text{HIP03}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (1,50 \times \text{HIP08}) + (1,50 \times \text{HIP06})$

ELU 11 -- Resistencia, Persistente: Viento E-O

Factores de carga: $(1,35 \times \text{HIP01}) + (0,70 \times \text{HIP03}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (1,50 \times \text{HIP09}) + (1,50 \times \text{HIP07})$

Tabla 15: Listado de combinaciones de hipótesis (ELU), Fuente Architrave®

4.2 Combinación de los Estados Límites de Servicio

“Los estados límite de servicio son los que, de ser superados, afectan al confort y al bienestar de los usuarios o de terceras personas, al correcto funcionamiento del edificio o a la apariencia de la construcción.” Según el CTE DB-SE apartado 3.2.2.

Se deben considerar los estados límite de servicio relativos a las deformaciones por flechas de los elementos de la estructura.

Según el apartado 4.3.3.1 Flechas del CRE DB-SE “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: a) 1/500 en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas; b) 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas; c) 1/300 en el resto de los casos.”

En este trabajo se usará la consideración c) 1/300 como límite de la flecha relativa.

No se consideran las limitaciones de confort de los usuarios ni la apariencia de la obra.

La primera por no tener sentido en una cubierta accesible sólo para mantenimiento, y la segunda por ser menos restrictiva que la que va a considerar al ser la carga de la combinación cuasi-permanente menor que la carga de la combinación característica.

ELS 01 -- Característica: Gravitatoria Uso

Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (1,00 \times \text{HIP02}) + (0,50 \times \text{HIP03})$

ELS 02 -- Característica: Gravitatoria Nieve

Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (1,00 \times \text{HIP03}) + (0,00 \times \text{HIP02})$

ELS 03 -- Característica: Uso: Viento N-S

Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (1,00 \times \text{HIP02}) + (0,50 \times \text{HIP03}) + (0,50 \times \text{HIP04}) + (0,50 \times \text{HIP08})$

ELS 04 -- Característica: Uso: Viento S-N

Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (1,00 \times \text{HIP02}) + (0,50 \times \text{HIP03}) + (0,50 \times \text{HIP06}) + (0,50 \times \text{HIP08})$

<p>ELS 05 -- Característica: Uso: Viento E-O</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (1,00 \times \text{HIP02}) + (0,50 \times \text{HIP03}) + (0,50 \times \text{HIP07}) + (0,50 \times \text{HIP09})$</p>
<p>ELS 06 -- Característica: Nieve: Viento N-S</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (1,00 \times \text{HIP03}) + (0,50 \times \text{HIP04}) + (0,50 \times \text{HIP08})$</p>
<p>ELS 07 -- Característica: Nieve: Viento S-N</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (1,00 \times \text{HIP03}) + (0,50 \times \text{HIP06}) + (0,50 \times \text{HIP08})$</p>
<p>ELS 08 -- Característica: Nieve: Viento E-O</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (1,00 \times \text{HIP03}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (0,50 \times \text{HIP07}) + (0,50 \times \text{HIP09})$</p>
<p>ELS 09 -- Característica: Viento N-S</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,50 \times \text{HIP03}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (1,00 \times \text{HIP04}) + (1,00 \times \text{HIP08})$</p>
<p>ELS 10 -- Característica: Viento S-N</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,50 \times \text{HIP03}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (1,00 \times \text{HIP06}) + (1,00 \times \text{HIP08})$</p>
<p>ELS 11 -- Característica: Viento E-O</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,50 \times \text{HIP03}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (1,00 \times \text{HIP07}) + (1,00 \times \text{HIP09})$</p>
<p>ELS 12 -- Frecuente: Uso</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,50 \times \text{HIP02})$</p>
<p>ELS 13 -- Frecuente: Nieve</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (0,20 \times \text{HIP03})$</p>
<p>ELS 14 -- Frecuente: Viento N-S</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,50 \times \text{HIP04}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (0,50 \times \text{HIP08})$</p>
<p>ELS 15 -- Frecuente: Viento S-N</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,50 \times \text{HIP06}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (0,50 \times \text{HIP08})$</p>
<p>ELS 16 -- Frecuente: Viento E-O</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,50 \times \text{HIP09}) + (0,00 \times \text{HIP02}) + (0,50 \times \text{HIP07})$</p>
<p>ELS 17 -- Casi Permanente</p> <p>Factores de carga: $(1,00 \times \text{HIP01}) + (0,30 \times \text{HIP02})$</p>

Tabla 16: Listado de combinaciones de hipótesis (ELS), Fuente Architrave®

5. DIMENSIONADO ARCHITRAVE®.

5.1 Modelización de la estructura

Para realizar el cálculo y las comprobaciones de la estructura mediante *Architrave*® primero se debe realizar un modelo de barras en *AutoCAD*® sobre el cual se configuraron las diferentes acciones mediante la aplicación *Architrave*® para *AutoCAD*®.

Se ha realizado un predimensionado para la obtención de unas secciones iniciales de los elementos estructurales utilizando las cargas calculadas en el apartado 3 de este trabajo, y que posteriormente se han asignado mediante la herramienta de *Architrave*® para *AutoCAD* al modelo de barras. Dichas secciones han sido optimizadas mediante el programa de cálculo para el cumplimiento de la normativa.

Se asigna a cada barra la sección calculada previamente del material seleccionado. En este trabajo se utilizan secciones de perfiles metálicos IPE y HEB y secciones de madera aserrada de geometría rectangular y cuadrada.

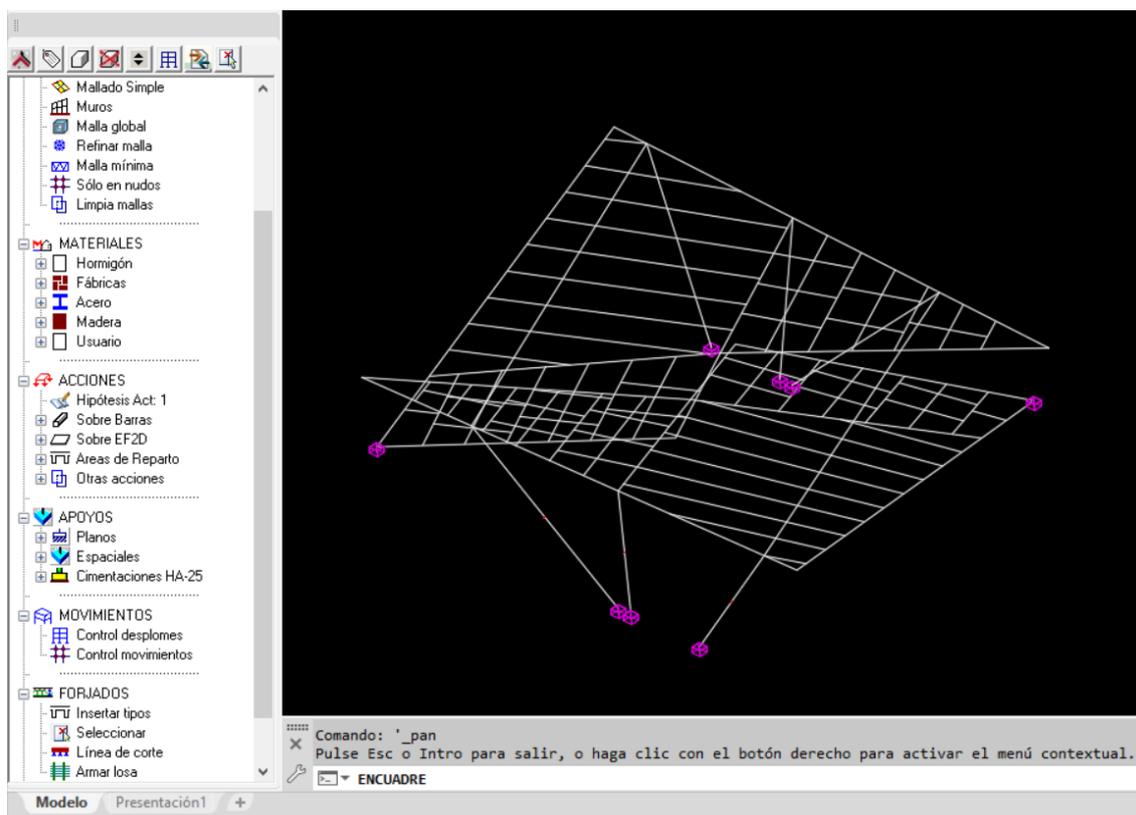


Imagen 21: Modelización de la estructura, Fuente Captura de pantalla de *AutoCAD*®

y la aplicación *Architrave*®

Las cargas de pesos propios y las cargas variables de uso y nieve se aplican mediante áreas de reparto unidireccionales o de voladizo.

Las cargas variables del viento se asignan como cargas perpendiculares a cada una de las áreas de reparto.

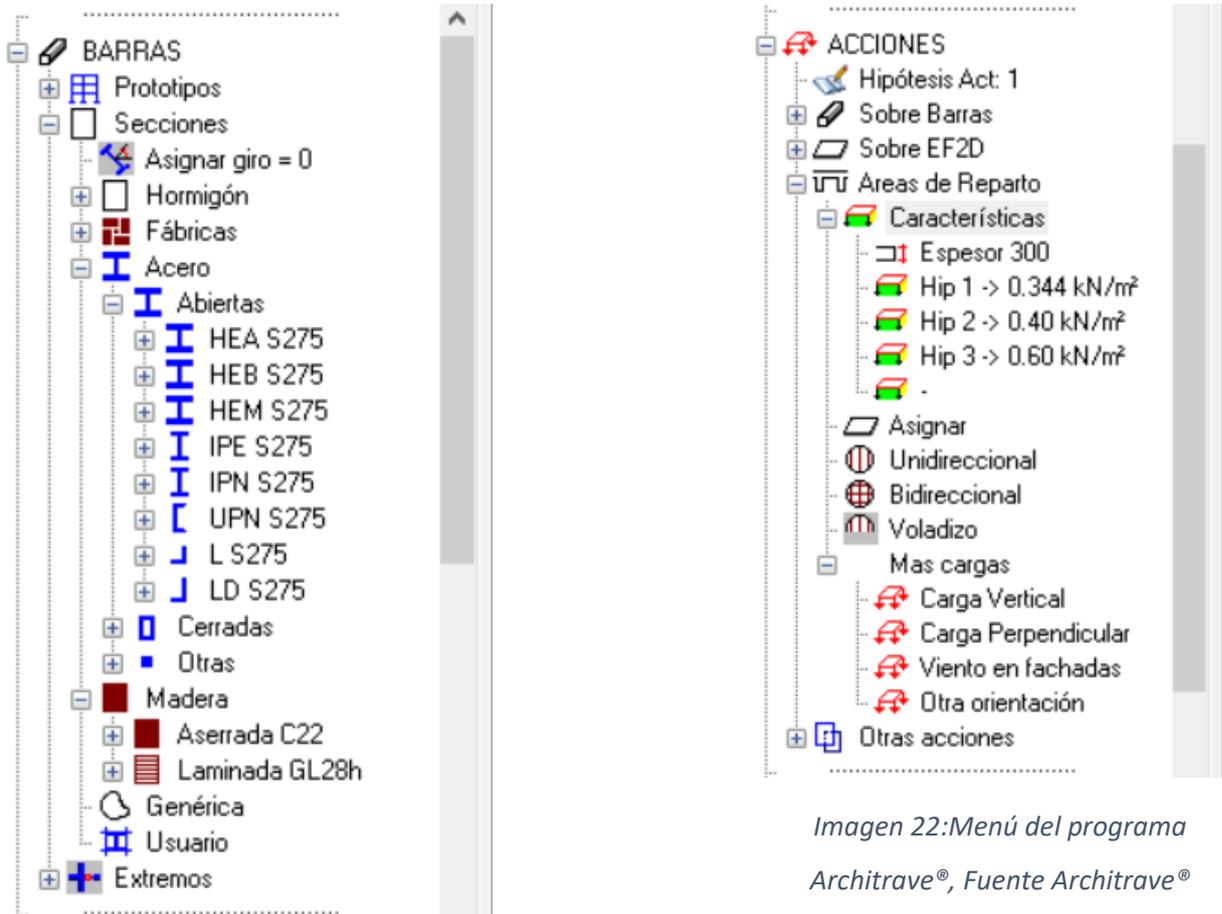


Imagen 22: Menú del programa

Architrave®, Fuente Architrave®

Imagen 23: Menú del programa Architrave®,

Fuente Architrave®

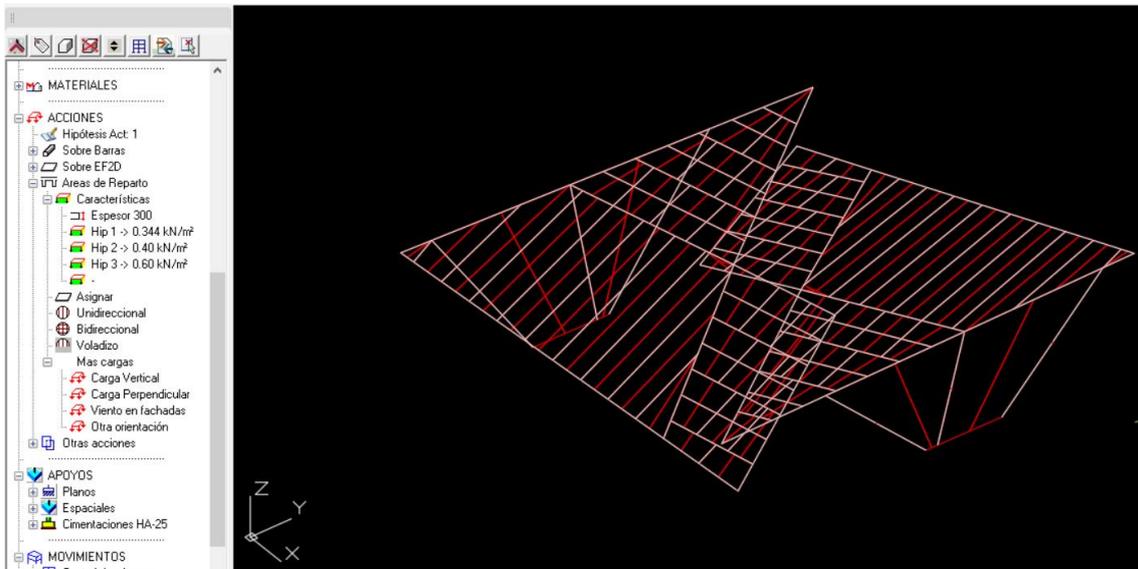


Imagen 24: Modelo estructural con las áreas de reparto asignadas, Captura de pantalla de AutoCAD® y la aplicación Architrave®

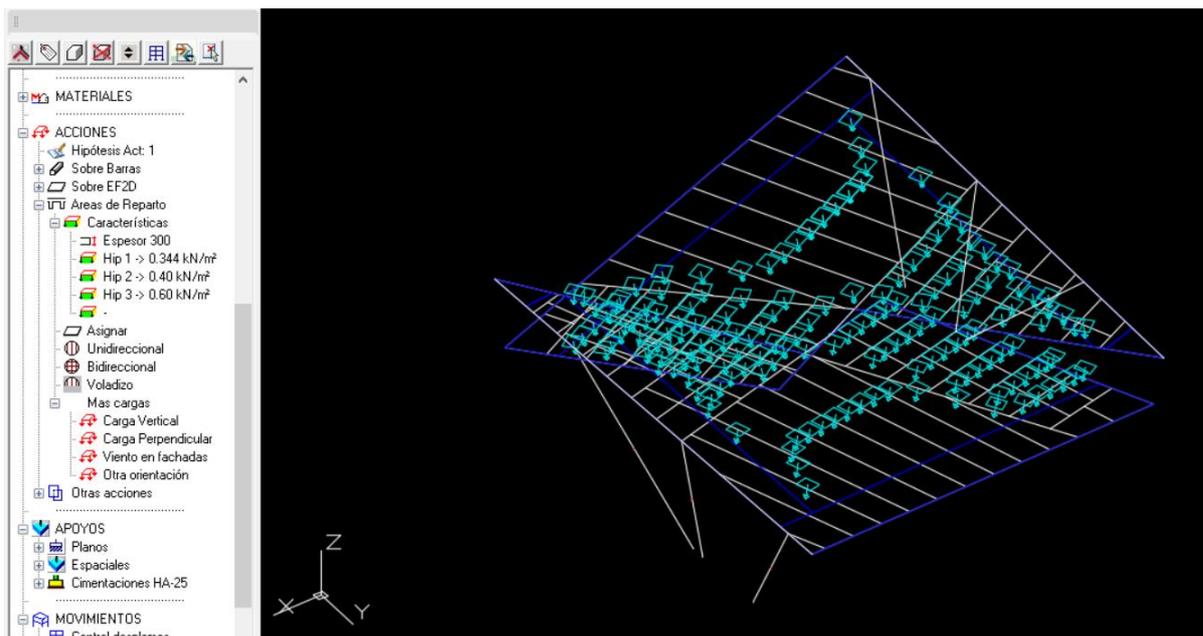


Imagen 25: Carga de viento Norte-Sur en paramento horizontal A, Captura de pantalla de AutoCAD® y la aplicación Architrave®

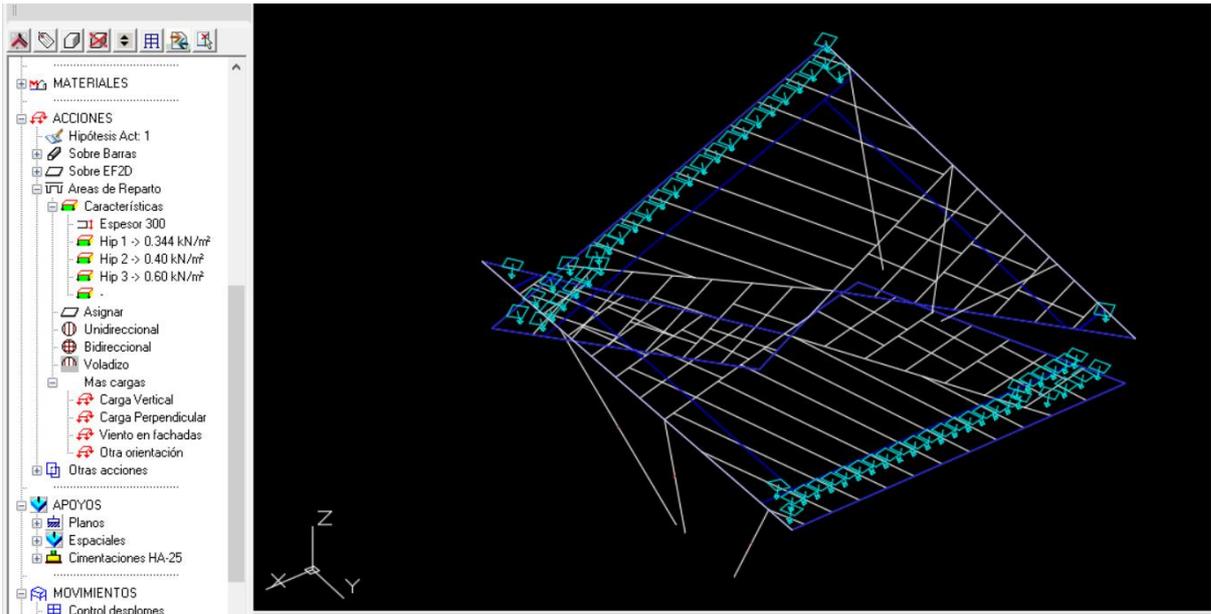


Imagen 26: Carga de viento Norte-Sur en paramento horizontal B, Captura de pantalla de AutoCAD® y la aplicación Architrave®

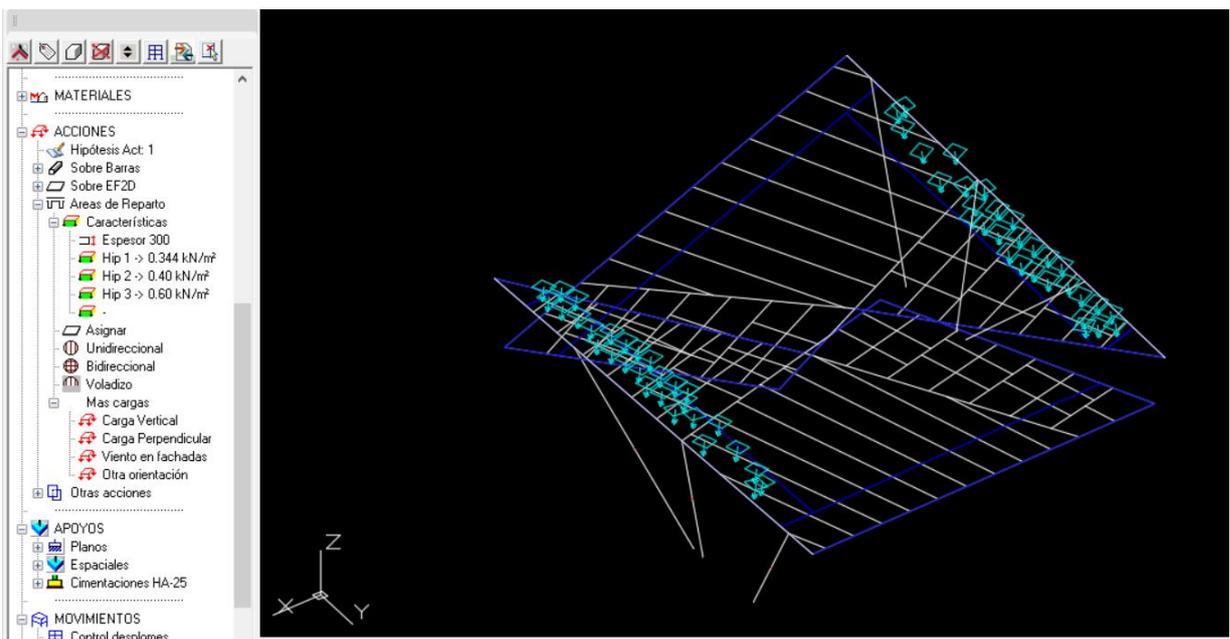


Imagen 27: Carga de viento Norte-Sur en paramento horizontal C, Captura de pantalla de AutoCAD® y la aplicación Architrave®

5.2. Cálculo y dimensionado de los elementos estructurales

Finalizado el modelo estructural en AutoCAD® se genera el archivo de intercambio .avex que permite exportar la estructura al módulo de cálculo del programa Architrave®.

Una vez importado el archivo de intercambio en el módulo de cálculo de Architrave® se revisan las combinaciones de hipótesis de carga que propone el programa por defecto, para que se ajusten a las calculadas en los apartados 4.1 y 4.2 de este trabajo.

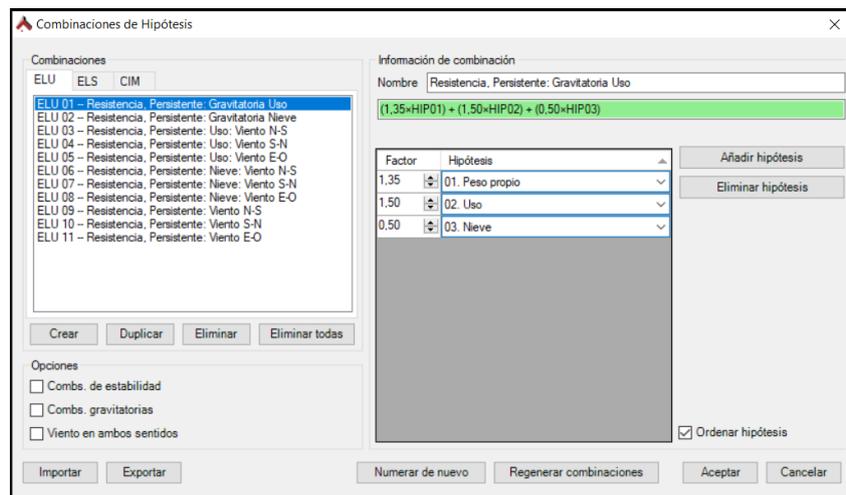


Imagen 28: Combinaciones de hipótesis (ELU), Fuente Captura de pantalla de Architrave®

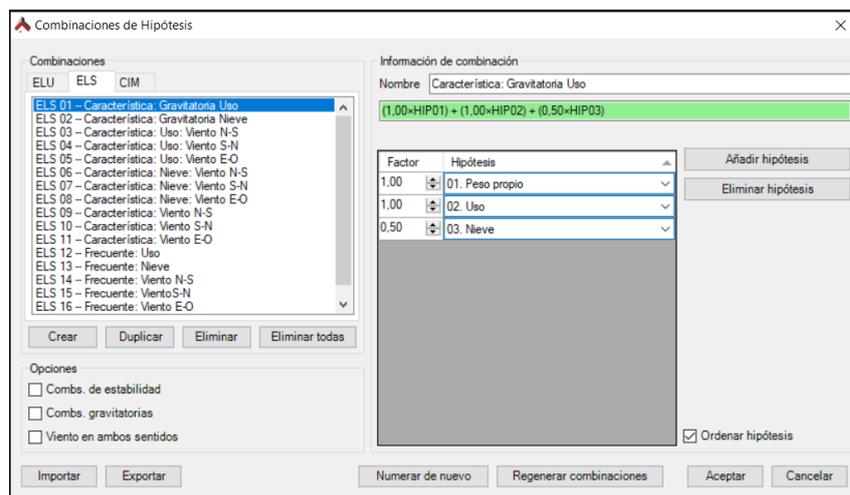


Imagen 29: Combinaciones de hipótesis (ELS), Fuente Captura de pantalla de Architrave®

Tras el análisis de la estructura (obtención de solicitaciones y movimientos) se dimensionan los elementos estructurales teniendo en cuenta el material y las limitaciones de flecha.

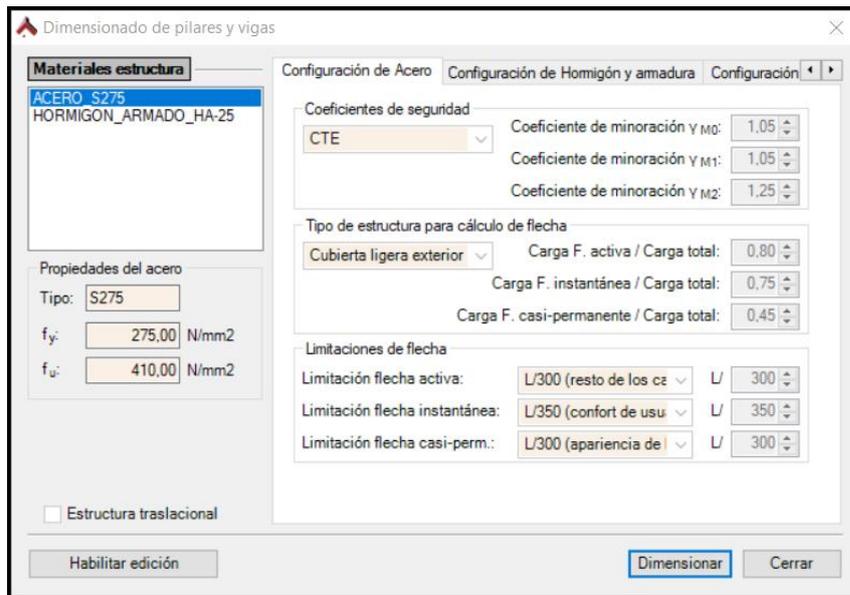


Imagen 30: Cuadro dialogo dimensionado de pilares y vigas, Fuente Captura de pantalla de Architrave®

Cuando se ha especificado todo se procede a dimensionar la estructura. En esta fase el programa indica que elementos no cumplen las condiciones de resistencia, pandeo y deformación. En el caso de no cumplir alguna barra, el propio programa permite optimizar dichas barras, proponiendo una nueva sección que cumpla las condiciones anteriores (la de menor peso, y por tanto, la más económica)

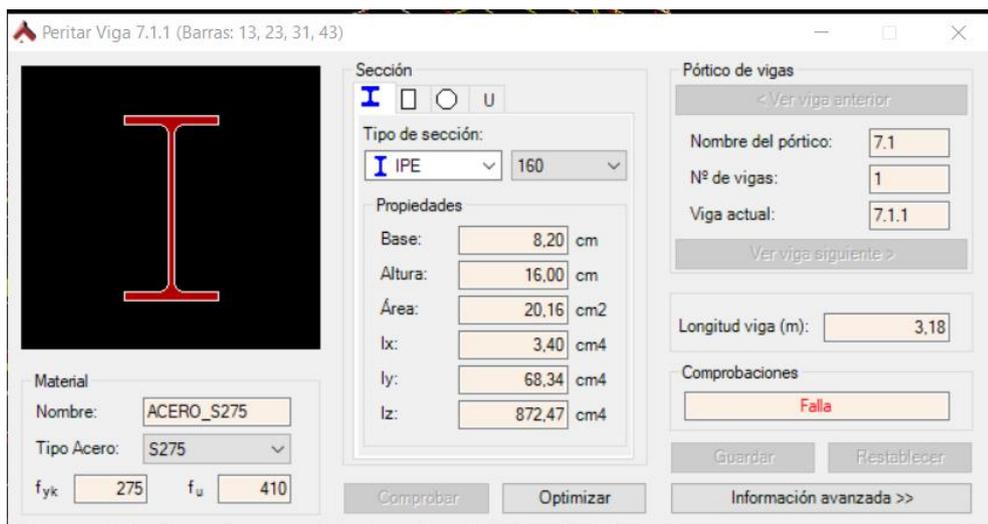


Imagen 31: Cuadro de peritar viga, Fuente Captura de pantalla de Architrave®

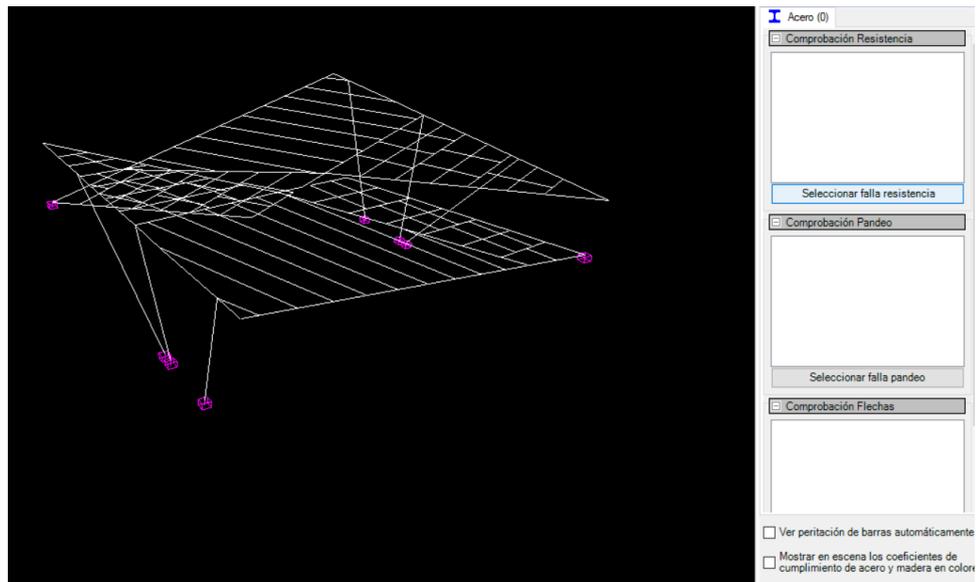


Imagen 32: Columna cumplimiento a las comprobaciones, Fuente Captura de pantalla de Architrave®

En el caso de la imagen 32 se considera que el dimensionado de la estructura cumple, dado que no aparece ningún fallo.

Se han realizado las comprobaciones centrándose en la resistencia de los elementos, aunque el programa de cálculo también ha comprobado el cumplimiento de la estructura según su deformada. Pudiendo ser un caso de estudio más concreto para el futuro.

5.2.1 Dimensionado en acero

La estructura se ha calculado y dimensionado para el cumplimiento de las distintas combinaciones con perfiles de acero 275 IPE 160, 180, 220,240, 360,400, 500, 550 y perfiles HEB 200, 300, y 500. Al ser una estructura simétrica a continuación se muestra solo una mitad de la estructura completa, la otra mitad se construye con los mismos elementos.

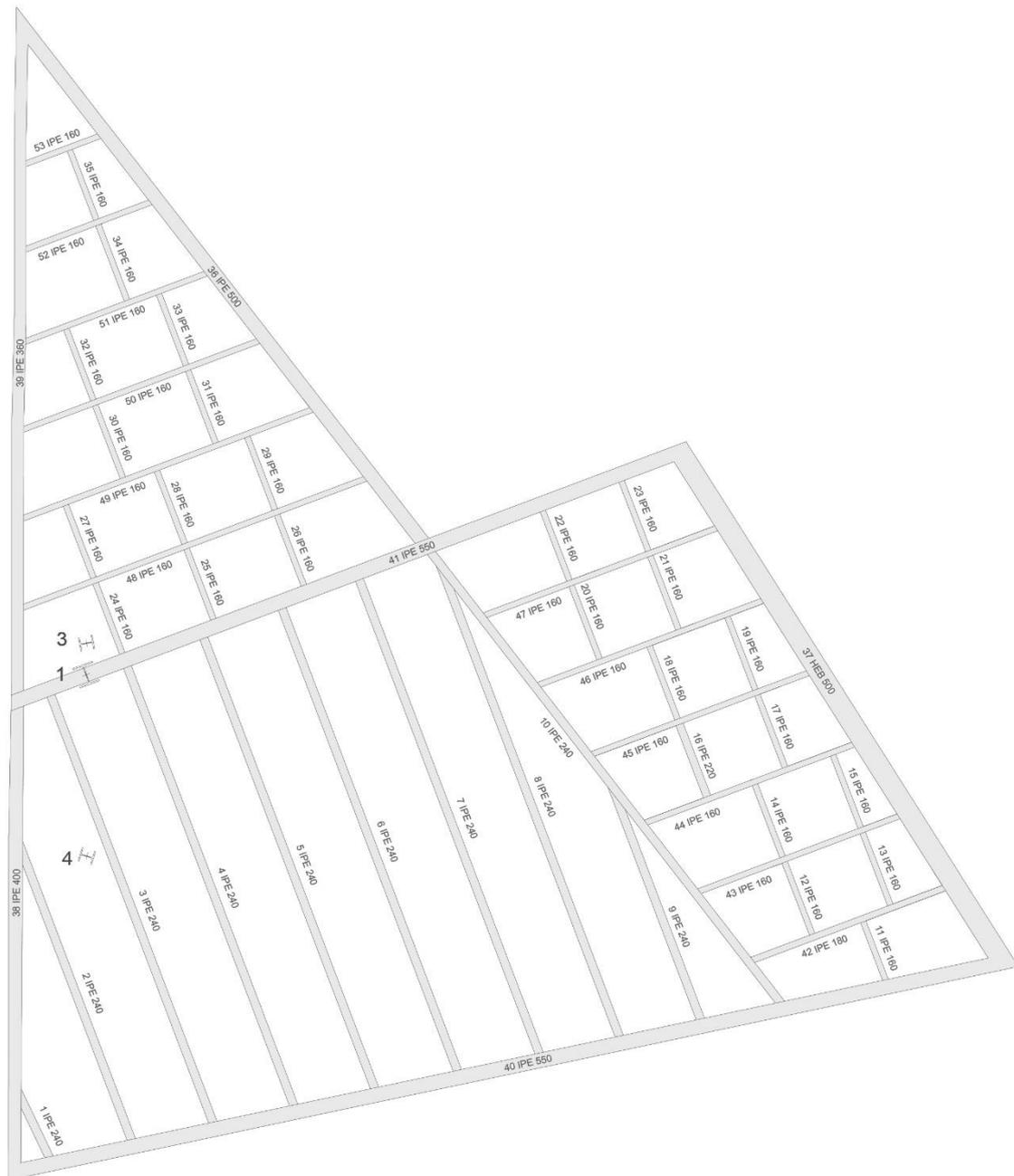


Imagen 33: Planta de vigas numeradas con sección de acero, Dibujo propio

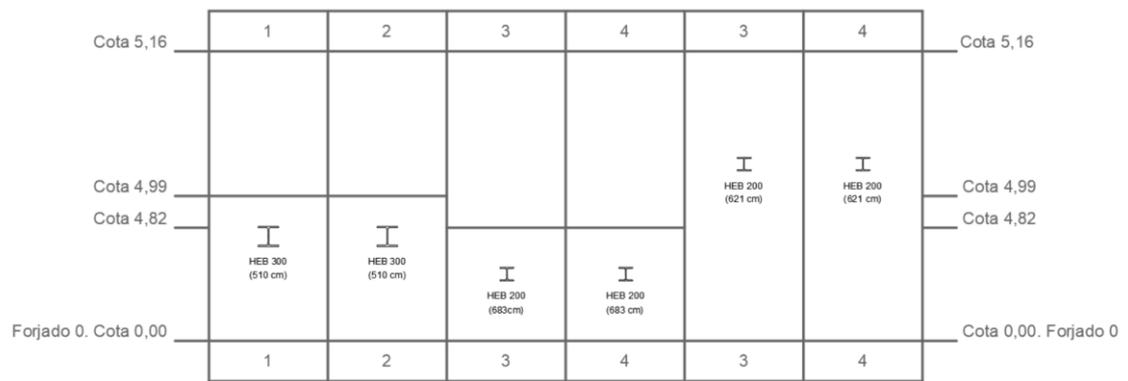


Imagen 34: Cuadro de pilares, Dibujo propio

5.2.2 Dimensionado madera

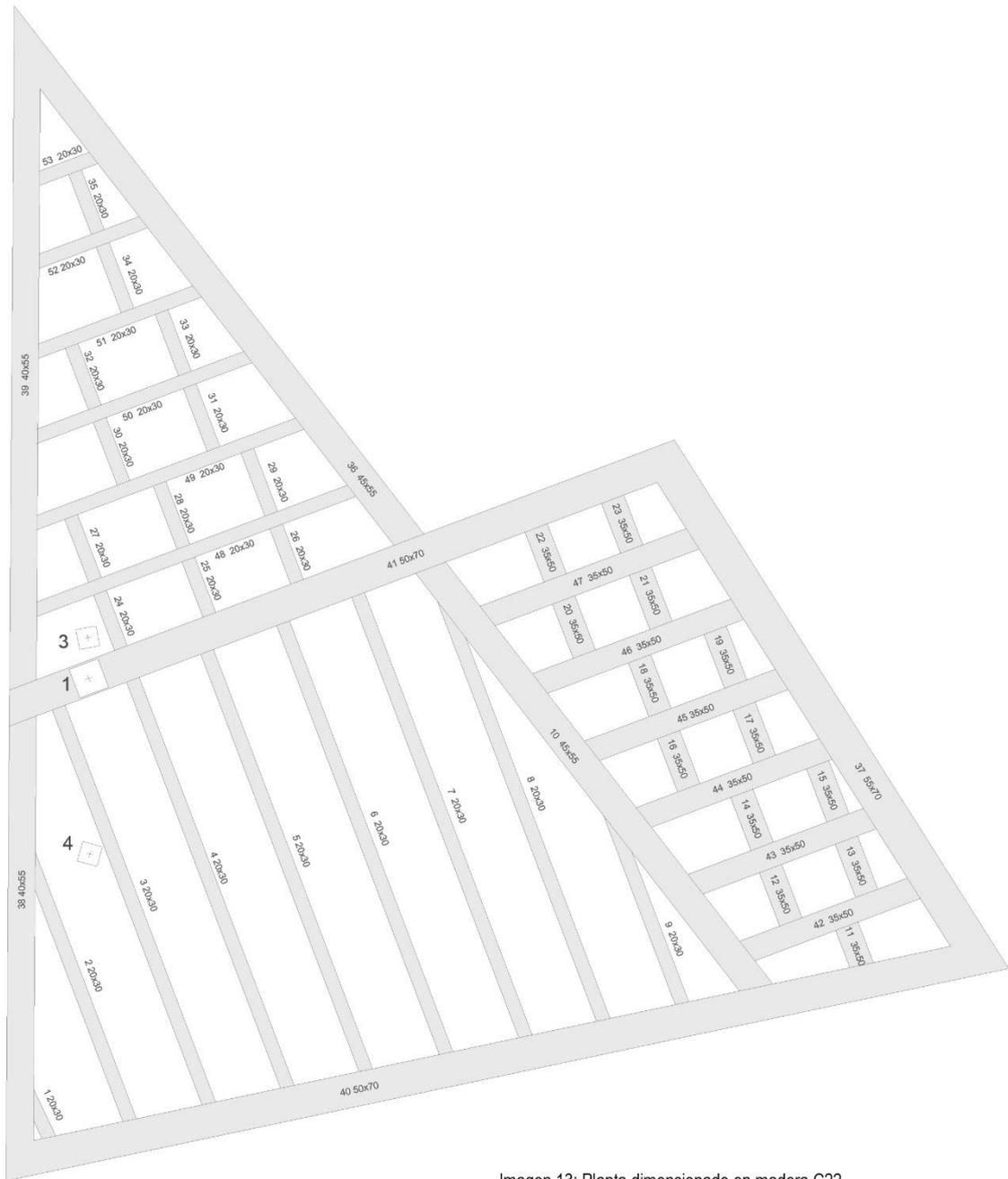


Imagen 13: Planta dimensionado en madera C22

Imagen 35: Planta de vigas numeradas con sección de madera, Dibujo propio

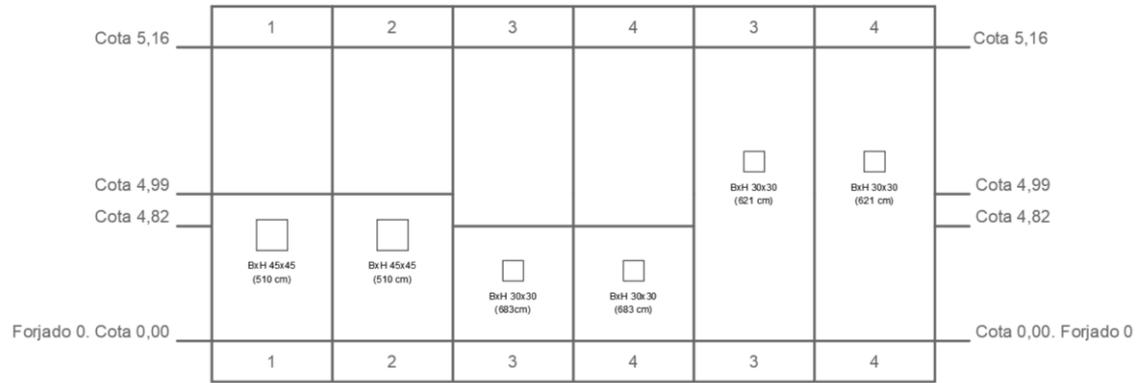


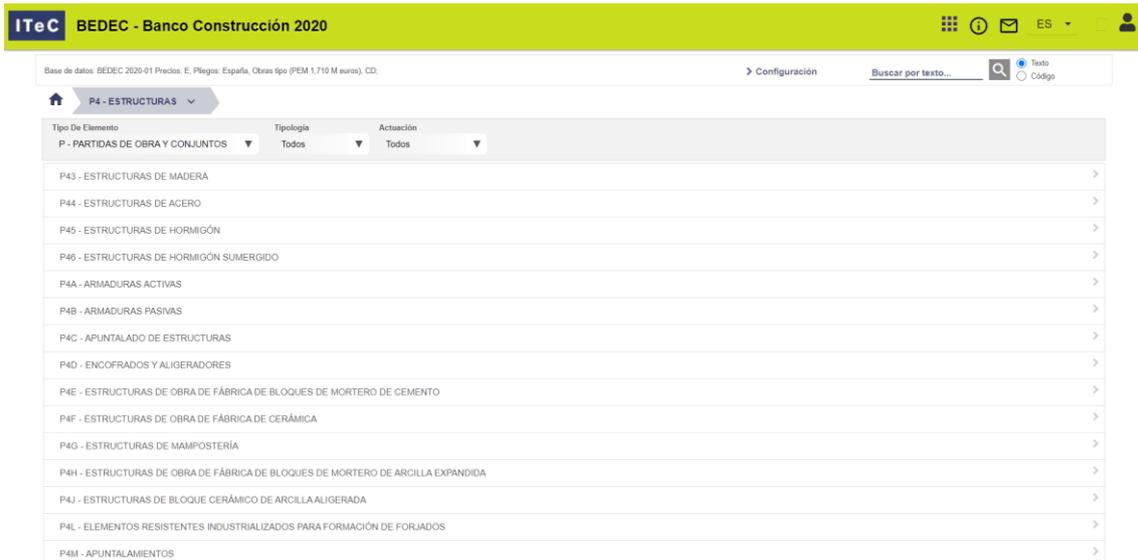
Imagen 36: Cuadro de pilares, Dibujo propio

6. CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

Después del análisis y dimensionado se consideran válidas las dos estructuras: la original de acero y la propuesta de madera. Y se procede a calcular la huella de carbono. Para ello se tiene en cuenta el peso de los elementos.

Las emisiones de CO₂ asociadas a cada modelo se calculan considerando los valores facilitados por el *banco de datos del Instituto de tecnología de la construcción de Cataluña (BEDEC, ITeC, www.itec.es)*.

Según el BEDEC, en este cálculo se obtienen solamente las emisiones de CO₂ generadas por las barras de acero y de madera una vez colocadas en obra, ya que no se consideran las emisiones del transporte.



Base de datos: BEDEC 2020-01 Precios. E. Pilegos: España, Obras tipo (PEM 1.710 M euros), CD.

Configuración Buscar por texto... Texto Código

P4 - ESTRUCTURAS

Tipo De Elemento	Tipología	Actuación
P - PARTIDAS DE OBRA Y CONJUNTOS	Todos	Todos
P43 - ESTRUCTURAS DE MADERA		
P44 - ESTRUCTURAS DE ACERO		
P45 - ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN		
P46 - ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN SUMERGIDO		
P4A - ARMADURAS ACTIVAS		
P4B - ARMADURAS PASIVAS		
P4C - APUNTALADO DE ESTRUCTURAS		
P4D - ENCOFRADOS Y ALIGERADORES		
P4E - ESTRUCTURAS DE OBRA DE FÁBRICA DE BLOQUES DE MORTERO DE CEMENTO		
P4F - ESTRUCTURAS DE OBRA DE FÁBRICA DE CERÁMICA		
P4G - ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA		
P4H - ESTRUCTURAS DE OBRA DE FÁBRICA DE BLOQUES DE MORTERO DE ARCILLA EXPANDIDA		
P4J - ESTRUCTURAS DE BLOQUE CERÁMICO DE ARCILLA ALIGERADA		
P4L - ELEMENTOS RESISTENTES INDUSTRIALIZADOS PARA FORMACIÓN DE FORJADOS		
P4M - APUNTALAMIENTOS		

Imagen 37: BEDEC- Banco construcción 2020, Fuente www.itec.es

INFORMACIÓN AMBIENTAL

T	Consumo		Coste energético		Emisión CO2	
			MJ	kW-h	kg	
MAT	B44Z601A	Acero S275J0 según UNE-EN 10025-2, formado por pieza simple, en perfiles laminados en caliente serie	1,0000 kg	41,50	11,53	4,00
	B44Z-0LY5	IPN, IPE, HEB, HEA, HEM y UPN, trabajado en el taller para colocar con soldadura y con una capa de imprimación antioxidante				
MAQ	C200P000	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica	0,0180 h	2,51	0,70	0,34
	C206-00DW					
Total				44,01	12,23	4,33

T	Materia prima		Contenido materia primaria (%)	Contenido reciclado (%)	
				Pre-consumo	Post-consumo
MAT	B44Z601A	Acero S275J0 según UNE-EN 10025-2, formado por pieza simple, en perfiles laminados en caliente serie IPN,	100,00%	0,00%	0,00%
	B44Z-0LY5	IPE, HEB, HEA, HEM y UPN, trabajado en el taller para colocar con soldadura y con una capa de imprimación antioxidante			
Total			100,00%	0,00%	0,00%

Imagen 38: Captura del valor de las emisiones de CO2 del acero en perfiles laminados en caliente, Fuente www.itec.es

En la página del BEDEC no se han encontrado datos de la madera C22, por lo que se ha tomado el valor de emisión de CO₂ por unidad de volumen de la madera C24.

INFORMACION AMBIENTAL

T	Consumo		Coste energético		Emisión CO2	
			MJ	kW-h	kg	
MAT	B433F250	Viga de madera de pino flandes C24 acabado aserrada, de 10x20 a 14x24 cm de sección y longitud hasta 5	1,0000 m3	1.260,00	350,00	36,04
	B430-12XI	m, trabajada en el taller y con tratamiento insecticida-fungicida con un nivel de penetración NP2 (UNE-EN 351-1)				
Total			1.260,00	350,00	36,04	

T	Materia prima		Contenido materia primaria (%)	Contenido reciclado (%)	
				Pre-consumo	Post-consumo
MAT	B433F250	Viga de madera de pino flandes C24 acabado aserrada, de 10x20 a 14x24 cm de sección y longitud hasta 5	100,00%	0,00%	0,00%
	B430-12XI	m, trabajada en el taller y con tratamiento insecticida-fungicida con un nivel de penetración NP2 (UNE-EN 351-1)			
Total			100,00%	0,00%	0,00%

Imagen 39: Captura del valor de las emisiones de CO2 de la madera C24, Fuente www.itec.es

De este modo, las emisiones de CO₂ calculadas para cada uno de los elementos que constituyen la estructura analizada se detallan en las Tablas 17 y 18, para la estructura a base de perfiles de acero y perfiles de madera respectivamente

IPE 160		16,116 (Kg/m)	
Viga	Longitud (m)	Peso (Kg)	CO ₂ (Kg)
11	1,05	16,9218	67,6872
12	1,2	19,3392	77,3568
13	1,2	19,3392	77,3568
14	1,2	19,3392	77,3568
15	1,2	19,3392	77,3568
17	1,2	19,3392	77,3568
18	1,2	19,3392	77,3568
19	1,2	19,3392	77,3568
20	1,22	19,66152	78,64608
21	1,22	19,66152	78,64608
22	1,22	19,66152	78,64608
23	1,22	19,66152	78,64608
24	1,22	19,66152	78,64608
25	1,22	19,66152	78,64608
26	1,22	19,66152	78,64608
27	1,22	19,66152	78,64608
28	1,22	19,66152	78,64608
29	1,22	19,66152	78,64608
30	1,19	19,17804	76,71216
31	1,19	19,17804	76,71216
32	1,19	19,17804	76,71216
33	1,19	19,17804	76,71216
34	1,2	19,3392	77,3568
35	1,2	19,3392	77,3568
43	3,3	53,1828	212,7312
44	3,42	55,11672	220,46688
45	3,54	57,05064	228,20256
46	3,66	58,98456	235,93824
47	3,78	60,91848	243,67392
48	5,44	87,67104	350,68416
49	4,61	74,29476	297,17904
50	3,78	60,91848	243,67392
51	2,96	47,70336	190,81344
52	2,1	33,8436	135,3744
53	1,3	20,9508	83,8032
IPE 180		19,176 (Kg/m)	
Viga	Longitud (m)	Peso (Kg)	CO ₂ (Kg)
42	3,18	60,97968	243,91872
IPE 220		26,724 (Kg/m)	
Viga	Longitud (m)	Peso (Kg)	CO ₂ (Kg)
16	1,2	32,0688	128,2752

IPE 240		31,314 (Kg/m)	
Viga	Longitud (m)	Peso (Kg)	CO ₂ (Kg)
1	1,25	39,1425	156,57
2	4,76	149,05464	596,21856
3	6,78	212,30892	849,23568
4	6,96	217,94544	871,78176
5	7,14	223,58196	894,32784
6	7,33	229,53162	918,12648
7	7,51	235,16814	940,67256
8	7,39	231,41046	925,64184
9	3,72	116,48808	465,95232
10	8,46	264,91644	1059,66576
IPE 360		58,242 (Kg/m)	
Viga	Longitud (m)	Peso (Kg)	CO ₂ (Kg)
39	9,73	566,69466	2266,77864
IPE 400		67,626 (Kg/m)	
Viga	Longitud (m)	Peso (Kg)	CO ₂ (Kg)
38	6,78	458,50428	1834,01712
IPE 500		92,514 (Kg/m)	
Viga	Longitud (m)	Peso (Kg)	CO ₂ (Kg)
36	9,48	877,03272	3508,13088
IPE 550		108,12 (Kg/m)	
Viga	Longitud (m)	Peso (Kg)	CO ₂ (Kg)
40	14,67	1586,1204	6344,4816
41	10,19	1101,7428	4406,9712
HEB 200		62,526 (Kg/m)	
Pilar	Longitud (m)	Peso (Kg)	CO ₂ (Kg)
3	6,83	427,05258	1708,21032
4	6,21	388,28646	1553,14584
5	6,21	388,28646	1553,14584
6	6,83	427,05258	1708,21032
HEB 300		119,34 (Kg/m)	
Pilar	Longitud (m)	Peso (Kg)	CO ₂ (Kg)
1	5,1	608,634	2434,536
2	5,1	608,634	2434,536
HEB 500		190,74 (Kg/m)	
Viga	Longitud (m)	Peso (Kg)	CO ₂ (Kg)
37	8,76	1670,8824	6683,5296

Tabla 17: Cálculo de la huella de carbono de la estructura en acero, Elaboración propia

40x55		0,22 m2	
Viga	Longitud (m)	Volumen (m3)	CO ₂ (Kg)
38	6,78	1,4916	53,757264
39	9,73	2,1406	77,147224
45x55		0,2475 m2	
Viga	Longitud (m)	Volumen (m3)	CO ₂ (Kg)
10	8,46	2,09385	75,462354
36	9,48	2,3463	84,560652
55x70		0,385 m2	
Viga	Longitud (m)	Volumen (m3)	CO ₂ (Kg)
37	8,76	3,3726	121,548504
50x70		0,35 m3	
Viga	Longitud (m)	Volumen (m3)	CO ₂ (Kg)
40	14,67	5,1345	185,04738
41	10,19	3,5665	128,53666
20x30		0,06 m3	
Viga	Longitud (m)	Volumen (m3)	CO ₂ (Kg)
1	1,25	0,075	2,703
2	4,76	0,2856	10,293024
3	6,78	0,4068	14,661072
4	6,96	0,4176	15,050304
5	7,14	0,4284	15,439536
6	7,33	0,4398	15,850392
7	7,51	0,4506	16,239624
8	7,39	0,4434	15,980136
9	3,72	0,2232	8,044128
24	1,22	0,0732	2,638128
25	1,22	0,0732	2,638128
26	1,22	0,0732	2,638128
27	1,22	0,0732	2,638128
28	1,22	0,0732	2,638128
29	1,22	0,0732	2,638128
30	1,19	0,0714	2,573256
31	1,19	0,0714	2,573256
32	1,19	0,0714	2,573256
33	1,19	0,0714	2,573256
34	1,2	0,072	2,59488
35	1,2	0,072	2,59488
48	5,44	0,3264	11,763456
49	4,61	0,2766	9,968664
50	3,78	0,2268	8,173872
51	2,96	0,1776	6,400704
52	2,1	0,126	4,54104
53	1,3	0,078	2,81112

35x50		0,175 m3	
Viga	Longitud (m)	Volumen (m3)	CO ₂ (Kg)
11	1,05	0,18375	6,62235
12	1,2	0,21	7,5684
13	1,2	0,21	7,5684
14	1,2	0,21	7,5684
15	1,2	0,21	7,5684
16	1,2	0,21	7,5684
17	1,2	0,21	7,5684
18	1,2	0,21	7,5684
19	1,2	0,21	7,5684
20	1,22	0,2135	7,69454
21	1,22	0,2135	7,69454
22	1,22	0,2135	7,69454
23	1,22	0,2135	7,69454
42	3,18	0,5565	20,05626
43	3,3	0,5775	20,8131
44	3,42	0,5985	21,56994
45	3,54	0,6195	22,32678
46	3,66	0,6405	23,08362
47	3,78	0,6615	23,84046
30x30		0,09 m3	
Pilar	Longitud (m)	Volumen (m3)	CO ₂ (Kg)
P1	5,1	0,459	16,54236
P2	5,1	0,459	16,54236
45x45		0,2025 m3	
Pilar	Longitud (m)	Volumen (m3)	CO ₂ (Kg)
P3	6,83	1,383075	49,846023
P4	6,21	1,257525	45,321201
P5	6,21	1,257525	45,321201
P6	6,83	1,383075	49,846023

Tabla 18: Calculo de la huella de carbono de la estructura en madera, Elaboración propia

7. DISCUSION Y CONCLUSIONES

En este trabajo final de grado se ha modelizado el MPavilion 2018 de Carmen Pinós proyectado y construido inicialmente con estructura de acero, con una estructura resuelta con madera de pino.

Además, se ha propuesto una ubicación alternativa y se ha contactado con una empresa de comercialización de madera estructural de la zona que garantiza un suministro de km cero.

Para la modelización, el análisis y el dimensionado se han tenido en cuenta los siguientes documentos básicos del Código Técnico:

- DB SE
- DB SE AE
- DB SE A
- DB SE M

Siendo una las principales complicaciones la evaluación de la acción del viento sobre los cerramientos y la cubierta pabellón, teniendo en cuenta la peculiaridad de la forma además de la permeabilidad del mismo.

Se ha utilizado el programa de cálculo de estructuras Architrave® para calcular y dimensionar los dos modelos estructurales, y para finalizar se ha calculado la huella de carbono en función del peso de los elementos estructurales de cada una de las soluciones teniendo en cuenta los datos proporcionados por la base de datos del BEDEC.

En cuanto a los resultados obtenidos, las emisiones de CO₂ correspondientes a la estructura proyectada y construida por Carme Pinós superan las 86 Toneladas, mientras que el mismo pabellón construido con madera de pino apenas produciría unas emisiones de 2,5 Toneladas de CO₂, tal y como puede observarse en las tablas 17 y 18.

Es decir, la huella de carbono de la estructura de madera apenas representa el 2.9% de la correspondiente a la estructura de acero.

Adicionalmente, considerando que el peso total de la estructura de acero es de 21545 kg y el de la alternativa propuesta construida en madera de 70 m³ (equivalente a 23800

kg), el dimensionado de la cimentación de hormigón requerirá algo menos de volumen de hormigón para la propuesta de acero, lo que dará lugar a una menor diferencia de las emisiones de CO₂ al considerar el hormigón de la cimentación.

Finalmente, tal y como se ha dicho en el apartado anterior, en los cálculos realizados no se han tenido en cuenta las emisiones generadas por el transporte, sin embargo, al haber elegido un tipo de madera de km cero para el proyecto alternativo, la diferencia con la huella de carbono de la estructura de acero será aún mayor.

8. REFERENCIAS

Ministerio de Fomento. (2019). *Código Técnico de la Edificación (CTE). Seguridad Estructural*. Madrid: Boletín Oficial del Estado.

Ministerio de Fomento. (2009). *Código Técnico de la Edificación (CTE). Seguridad Estructural: Acciones en la Edificación*. Madrid: Boletín Oficial del Estado.

Ministerio de Fomento. (2008). *Código Técnico de la Edificación (CTE). Seguridad Estructural: Acero*. Madrid: Boletín Oficial del Estado.

Ministerio de Fomento. (2019). *Código Técnico de la Edificación (CTE). Seguridad Estructural: Madera*. Madrid: Boletín Oficial del Estado.

Alonso Durá, Adolfo, Cabrera i Fausto, Iván, Fenollosa Forner, Ernesto, Martínez Boquera, Arturo, Pérez García, Agustín, Serrano Lanzarote, Begoña. (2012). *Introducción a las estructuras de edificación*, Prontuario. Valencia: Editorial UPV.

Pérez-García, Agustín, Alonso Durá, Alfonso, Gómez-Martínez, Fernando; Alonso Avalos, José Miguel and Lozano Lloret, Pau. *Architrave*® 2019 [online]. 2019. Valencia (Spain), Universitat Politècnica de València. 2019. Available from: www.architrave.es

Vignote Peña, Santiago. *Principales maderas de coníferas en España*

Estudio Carme Pinós www.cpinos.com

Naciones unidas, Objetivos de desarrollo sostenible <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>

Banco de datos BEDEC del instituto de tecnología de la construcción de Cataluña – IteC www.itec.es

Iniciativa MPavilion www.mpavilion.org

Plataforma arquitectura, MPAVILION 2018 / Estudio Carme Pinós (2019) <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/910674/mpavilion-2018-estudio-carme-pinos>

Aislux Galicia www.aisluxgalicia.com

9.ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente (www.un.org)	4
Imagen 2: MPavilion 2018, Fuente (www.cpinos.com)	6
Imagen 3: MPavilion 2018, Fuente (www.cpinos.com)	7
Imagen 4: Municipio de Requena. Fuente Google Maps.	7
Imagen 5: Sección MPavilion 2018, Fuente (www.cpinos.com)	8
Imagen 6 Cotas de la sección de la Imagen 5, Dibujo propio.....	8
Imagen 7: Alzados MPavilion 2018, Fuente (www.plataformaarquitectura.cl).....	9
Imagen 8: Cotas del Alzado, Dibujo propio	9
Imagen 9: Planta MPavilion 2018, Fuente (www.cpinos.com)	10
Imagen 10: Cotas de la planta de la Imagen 9, Dibujo propio	10
Imagen 11: Modelo de la estructura de acero, Realizado con Architrave®.....	11
Imagen 12: Modelo de la estructura de madera, Realizado con Architrave®.....	11
Imagen 13: Dirección del viento en presión interior (q_{ei}), Dibujo propio	15
Imagen 14: Cotas de las áreas de viento en paramentos verticales, Dibujo propio.....	15
Imagen 15: Viento Norte-Sur, Dibujo propio	16
Imagen 16: Viento Sur-Norte, Dibujo propio	17
Imagen 17: Viento Este-Oeste, Dibujo propio.....	17
Imagen 18:Áreas del viento Norte-Sur en paramento horizontal, Dibujo propio	19
Imagen 19:Áreas del viento Este-Oeste en paramento horizontal, Dibujo propio.....	19
Imagen 20: Zonas climáticas de invierno, Fuente Figura E.2 CTE DB-SE-AE	21
Imagen 21:Modelización de la estructura, Fuente Captura de pantalla de AutoCAD®	27
Imagen 22:Menú del programa Architrave®, Fuente Architrave®	28
Imagen 23: Menú del programa Architrave®,.....	28
Imagen 24: Modelo estructural con las áreas de reparto asignadas, Captura de pantalla de AutoCAD® y la aplicación Architrave®	29
Imagen 25: Carga de viento Norte-Sur en paramento horizontal A, Captura de pantalla de AutoCAD® y la aplicación Architrave®	29
Imagen 26: Carga de viento Norte-Sur en paramento horizontal B, Captura de pantalla de AutoCAD® y la aplicación Architrave®	30
Imagen 27: Carga de viento Norte-Sur en paramento horizontal C, Captura de pantalla de AutoCAD® y la aplicación Architrave®	30
Imagen 28: Combinaciones de hipótesis (ELU), Fuente Captura de pantalla de Architrave®	31
Imagen 29: Combinaciones de hipótesis (ELS), Fuente Captura de pantalla de Architrave®	31
Imagen 30: Cuadro dialogo dimensionado de pilares y vigas, Fuente Captura de pantalla de Architrave®	32
Imagen 31: Cuadro de peritar viga, Fuente Captura de pantalla de Architrave®.....	32

Imagen 32: Columna cumplimiento a las comprobaciones, Fuente Captura de pantalla de Architrave®	33
Imagen 33: Planta de vigas numeradas con sección de acero, Dibujo propio.....	34
Imagen 34: Cuadro de pilares, Dibujo propio	35
Imagen 35: Planta de vigas numeradas con sección de madera, Dibujo propio	36
Imagen 36: Cuadro de pilares, Dibujo propio	37
Imagen 37: BEDEC- Banco construcción 2020, Fuente www.itec.es	38
Imagen 38: Captura del valor de las emisiones de CO2 del acero en perfiles laminados en caliente, Fuente www.itec.es	39
Imagen 39: Captura del valor de las emisiones de CO2 de la madera C24, Fuente www.itec.es	39

10.ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Valores pesos específicos, Fuente tabla C.1 DB-SE-AE.....	12
Tabla 2: Valores de pesos de las placas de policarbonato, Fuente (www.aisluxgalicia.com).....	13
Tabla 3: Valores sobrecarga de uso, Fuente Tabla 3.1 CTE DB-SE-AE.....	13
Tabla 4: Valores del coeficiente de exposición c_e , Fuente tabla 3.4 CTE DB-SE-AE	14
Tabla 5: Coeficiente de presión interior, Fuente CTE DB-SE-AE.....	14
Tabla 6: Coeficiente de presión exterior en paramentos verticales,	15
Tabla 7: Valores de la carga de viento en paramentos verticales, Elaboración propia .	16
Tabla 8: Valor del coeficiente de presión exterior en marquesinas,.....	18
Tabla 9: Valores de la carga de viento en paramentos horizontales, Elaboración propia	18
Tabla 10: Tabla resumen de las cargas de viento, Elaboración propia	20
Tabla 11: Valor de carga de nieve, Fuente Tabla E.2 CTE DB-SE-AE.....	21
Tabla 12: Hipótesis de carga usadas en Architrave®, Elaboración propia	22
Tabla 13: Coeficientes de seguridad para acciones, Fuente Tabla 4.1 CTE DB-SE	23
Tabla 14:Coeficientes de simultaneidad, Fuente Tabla 4.1 CTE DB-SE	23
Tabla 15:Listado de combinaciones de hipótesis (ELU), Fuente Architrave®	24
Tabla 16:Listado de combinaciones de hipótesis (ELS), Fuente Architrave®	26
Tabla 17:Calculo de la huella de carbono de la estructura en acero, Elaboración propia	40
Tabla 18: Calculo de la huella de carbono de la estructura en madera, Elaboración propia.....	41

11.ANEXOS

Anexo 1. Certificado suministro madera

DON J.ENRIQUE PERAZA SÁNCHEZ, ARQUITECTO, SECRETARIO GENERAL DE LA ASOCIACIÓN DE INVESTIGACIÓN TÉCNICA DE LAS INDUSTRIAS DE LA MADERA -AITIM- Y DEL COMITÉ DE DIRECCIÓN DEL SELLO DE CALIDAD AITIM

CERTIFICA:

Que la Empresa AYUNTAMIENTO DE CUENCA MADERAS S.A. ostenta actualmente el

Sello de Calidad	21-01-5	de madera aserrada de uso estructural
------------------	---------	---------------------------------------

para su producción de madera aserrada de uso estructural de las características siguientes:

Especie de madera	Pino laricio (<i>Pinus nigra</i> Arnold)	Pino silvestre (<i>Pinus silvestris</i> L.)
Procedencia	Cuenca	Cuenca
Calidad Estructural UNE 56.544	MEG	MEG
Clase Resistente UNE EN 338 , UNE EN 1912 y prEN 1912	C - 22	C - 22
Contenido de humedad	≤ 20 % (Dry graded)	≤ 20 % (Dry graded)
Tolerancias dimensionales UNE EN 336	Clase 1	Clase 1
Espesor mínimo permitido	Superior a 70 mm	Superior a 70 mm

Según fue aprobado en la reunión del Comité de Dirección del Sello de Calidad AITIM de Estructuras de Madera de 13 Marzo de 2008.

Y para que conste expido la presente certificación en Madrid, a uno de Enero de dos mil catorce.

NO SE ADMITEN FOTOCOPIAS DE ESTE CERTIFICADO

ESTE CERTIFICADO TIENE VALIDEZ HASTA EL 31 DE DICIEMBRE DEL 2014



Asociación de
Investigación
Técnica
de las Industrias
de la Madera

C.I.F. G28194803

C/ Flora, 3-2º Dcha.
28013
MADRID

Tel: 91 542 58 64

91 547 85 01

Fax: 91 559 05 12

E-Mail:

informame@aitim.es

www.aitim.es

Inscrita como Centro de
Innovación y Tecnología de la
Comisión Asesora de Investigación
Científica y Técnica - CICYT
con el nº de Registro 37



Anexo 2. Maderas Coníferas en España

ESPECIE: Pino laricio.

NOMBRE CIENTIFICO: *Pinus nigra* Arn. var. *corsicana* Hort.

ORDEN: Coníferas.

FAMILIA: Pinaceae.

SUBFAMILIA: Pinoideae.

SINONIMIAS.

Pinus laricio Poir = *Pinus austriaca* Hoess. = *Pinus nigricans* Host = *Pinus maritima* ssp *Koch* = *Pinus nigra* Arnold (1785) = *Pinus laricio* var. *corsicana* Loud = *Pinus nigra* ssp *laricio* (Poir.) Maire.

NOMBRES COMUNES Y COMERCIALES.

Larizio leher, larizio pinu (País Vasco).

Pino laricio.

Pino negral (Cuenca, Guadalajara, Teruel y Castellón).

Pino pudío y ampudio (Jaén, Soria, Burgos, Sierra de Guadarrama).

Pino salgareño (Andalucía).

Pino cascalbo (Ávila).

Pino albar o blanco (Huesca).

Pino nasarre, pino masano, pino mazarrón (Pirineo aragonés).

Pi bord, pi melis, pi nassa, pi sarrut, pi gargallá (Cataluña)

Pino blanco (Sagra de Huéscar).

Pino maderero (Baza).

Pino gargalla (Lérida).

NOMBRES EXTRANJEROS.

Pino laricio, Pino di Corso, Pino silano della Corsica y Pino silano (italiano)

Pin laricio, Pin de Corse (francés).

Corsican Pine (inglés).

Schwarzkiefer, Korsische Schwarz Kiefer (alemán).

DISTRIBUCIÓN EN ESPAÑA.

El conjunto de la especie se extiende espontáneamente por España, Sureste de Francia, Córcega, Italia, Sicilia, Austria, países balcánicos, Crimea, base del Cáucaso, Anatolia, Chipre y Norte de Marruecos.

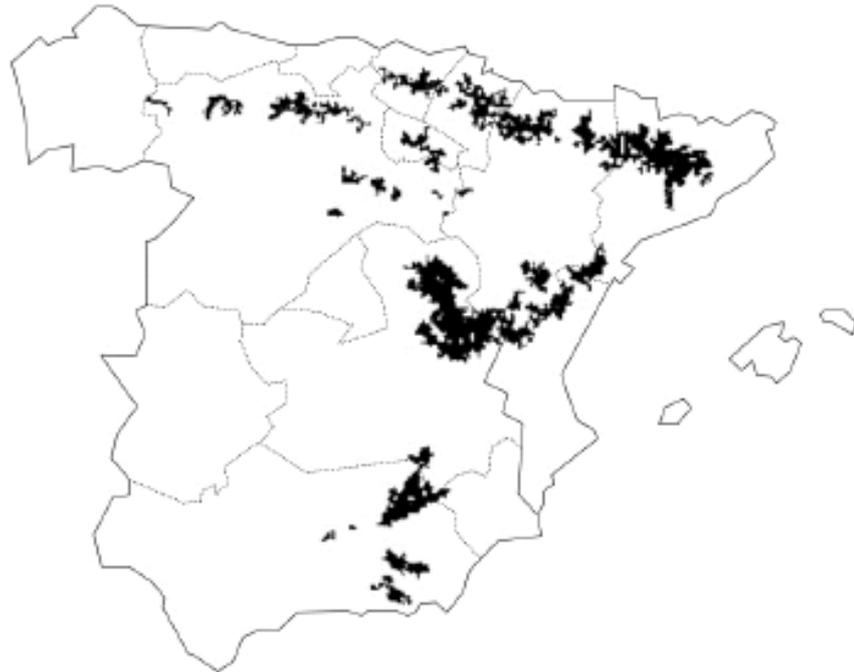
En España ocupa zonas de altitud generalmente superior a los 500 m. en el Centro y mitad oriental. La mayor parte se encuentra en sustratos calizos, aunque se trata de una especie indiferente.

Su área natural comprende el Pirineo y Prepirineo, Cordillera Costera Catalana, Sistema Ibérico (más en el Sur que en el Norte), montañas del Maestrazgo, macizos béticos alrededor del nudo Segura-Cazorla, Sierras de Baza, Nevada, Filabres y María, alto Alberche y representaciones esporádicas en algunos otros puntos del Sistema Central.

Artificialmente se ha extendido por las cuencas altas de Duero, Ebro, Tajo y Turia y mitad oriental del conjunto de cordilleras béticas.

El método de ordenación adecuado a su temperamento es el de aclareo sucesivo uniforme, con turnos comprendidos entre 70 y 120 años, aunque podría ser conveniente en algunos casos llegar a los 140 años. Suele tener problemas de regeneración por lo que su periodo de regeneración podría aumentarse a 30 o más años.

Imagen 3: Distribución del pino laricio en España



DESCRIPCIÓN DEL FUSTE.

El pino laricio es un árbol elevado, que suele llegar hasta los 30-40 m. de altura, excepcionalmente hasta 50 m. Su porte es cilíndrico-ovoidal en la juventud, con la copa casi desde el suelo. En la edad adulta presenta una copa recogida por encima de la mitad de la altura y en la vejez, la copa es irregular y lobulada.

El tronco es recto, con corteza grisácea bastante lisa en los jóvenes; y dividida en grandes espejuelos brillantes, gris-plateados y muy característicos, en los adultos.

Su crecimiento es de los más lentos de los pinos españoles. Su producción anual suele oscilar entre los 2 y 3.5 m³/Ha.

Foto 26: Masas de pino laricio en Cuenca



DESCRIPCIÓN DE LAS TROZAS.

Los defectos son parecidos a los del pino silvestre. Los nudos son más o menos gruesos, dependiendo de las condiciones de crecimiento, pero, en general, son más pequeños que los del pino silvestre. Presenta mayor número de bolsas de resina.

La calidad de la madera es variable de unas regiones a otras, siendo la mejor la procedente de Cuenca, Cazorla, Segura y Huesca. En estos casos puede incluso igualar la calidad del pino silvestre y venderse de forma indistinta. Sin embargo, frente a éste presenta la desventaja de tener la fibra algo entrecruzada.

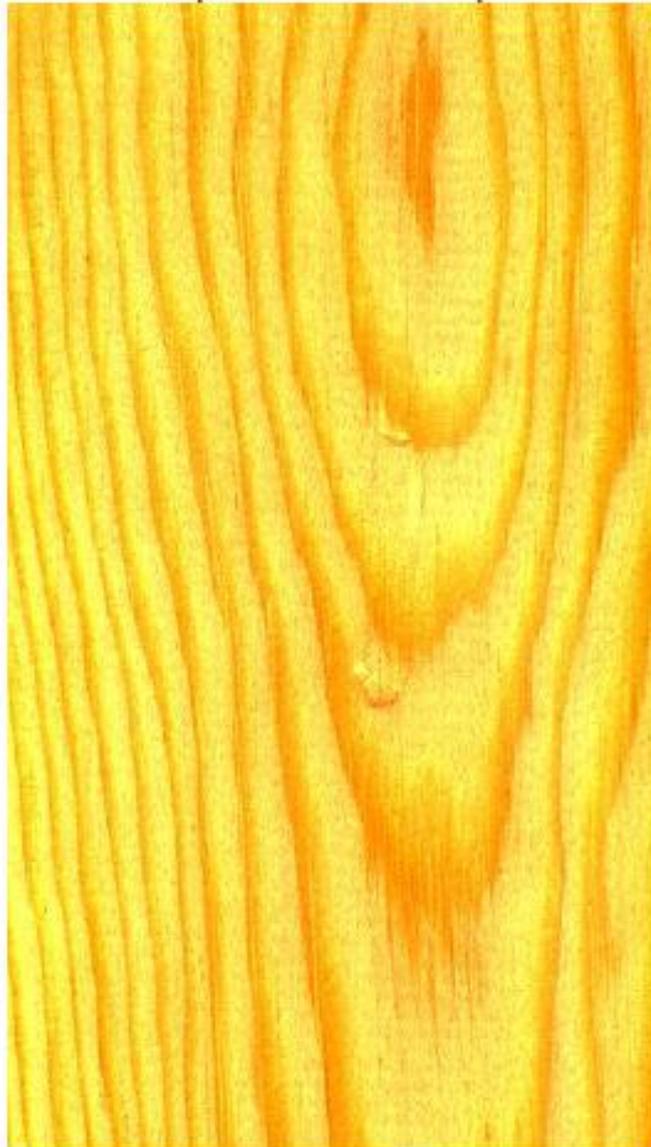
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA.

Sus cualidades varían según los lugares de procedencia, especialmente entre los ejemplares de masas naturales y artificiales.

La albura, más reducida en la madera procedente de masas naturales, es de color amarillo pálido. El duramen es más o menos rojizo.

Los anillos de crecimiento están bien diferenciados. También son apreciables las gotitas de resina en árboles dentro de la zona de paso de primavera a verano.

Foto 27: Aspecto de la madera de pino laricio



Los canales resiníferos son muy similares a los del silvestre, apreciándose en la sección transversal, y con lupa de al menos 4 aumentos, pequeños puntos blancos, individuales o con mayor asiduidad en grupos de 2 o 3 puntos, siempre dentro de la madera de otoño o en el límite con la primavera, en cantidad bastante numerosa. En la sección longitudinal se pueden ver a simple vista como líneas cortas de color pardo.

Normalmente, la fibra es recta, pero puede estar algo revirada.

El grano es medio-basto. La textura es de tipo medio.

Presenta un listado y un mallado en sus caras radiales y tangenciales de bello aspecto, aunque el veteado es más oscuro que el del silvestre.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA. (A. Caperos y J.L. Serfaty, 1.969)

1.-TRAQUEIDAS VERTICALES.

Las traqueidas de primavera son anchas de pared delgada y lumen ancho, y presentan grandes punteaduras areoladas que pueden ser biseriadas. Las de otoño son más estrechas y de pared ancha.

Las punteaduras de campo de cruce son de tipo ventana con las esquinas redondeadas y tendencia oval. Vistas de perfil se presentan como grandes escotaduras en las traqueidas de primavera y aserrada en las de otoño. Generalmente hay una grande por campo de cruce; cuando hay dos, éstas tienen forma de gota. Presenta traqueidas en cadena. Los parámetros importantes se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 22: Tamaño de las traqueidas de la madera de pino laricio

PARÁMETRO	TRONCO	RAMAS
Longitud máxima, media y mínima (mm)	4,9-3,2-0,5	3,7-1,9-1,2
Anchura máxima, media y mínima (m)	60,0-39,1-16,0	57,1-33,5-22,0
Espesor de la pared (m)	5,1	4,7
Relacion longitud/anchura (esbeltez)	82,3	57,8
Proporcion de la pared %	26,1	28,1

2.-TRAQUEIDAS HORIZONTALES.

Las traqueidas horizontales poseen dientes agudos y aislados, pudiendo juntarse los de una pared con los de enfrente. Tienen punteaduras areoladas incluso en la pared tangencial. Pueden presentar formas irregulares.

3.-RADIOS LEÑOSOS.

Los radios leñosos son uniseriados y fusiformes. Su altura media es de 8-12 células, aunque los hay de hasta de 30 células (la variedad hispánica, 33) con 480 μ . Los radios leñosos más pequeños están formados por una célula con altura de 11 a 19 μ ; son heterogéneos con traqueidas dentadas con dientes aislados, bien marginales, o espaciadas en el parénquima del radio leñoso, observándose en general una tendencia marginal.

Las punteaduras del campo de cruce de las células del parénquima de los radios leñosos con las traqueidas longitudinales tienen forma de ventana, son un poco ovaladas y una por cruce, generalmente. Las traqueidas radiales son muy numerosas, abundando más que el parénquima. Los dientes están bien marcados y son obtusos.

4.-CANALES RESINÍFEROS.

Los canales resiníferos son longitudinales en número de 0-3 por mm.². Varían en diámetro desde 100 hasta 160 μ . Las células del parénquima epitelial son de paredes delgadas. Están situados principalmente en la zona de paso de la madera de primavera a verano. Son más largos que los del pino silvestre.

Foto 28: Aspecto de la testa x4 aumentos

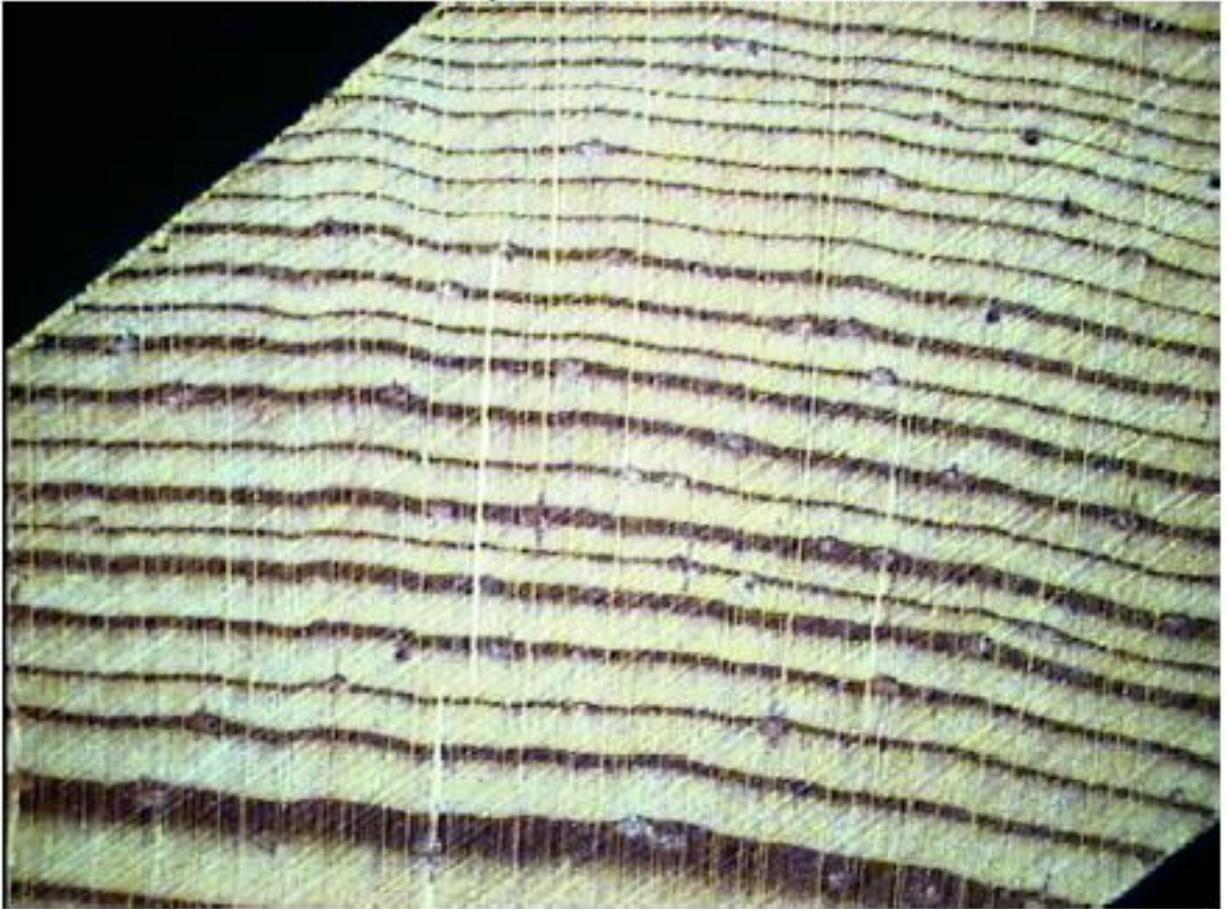
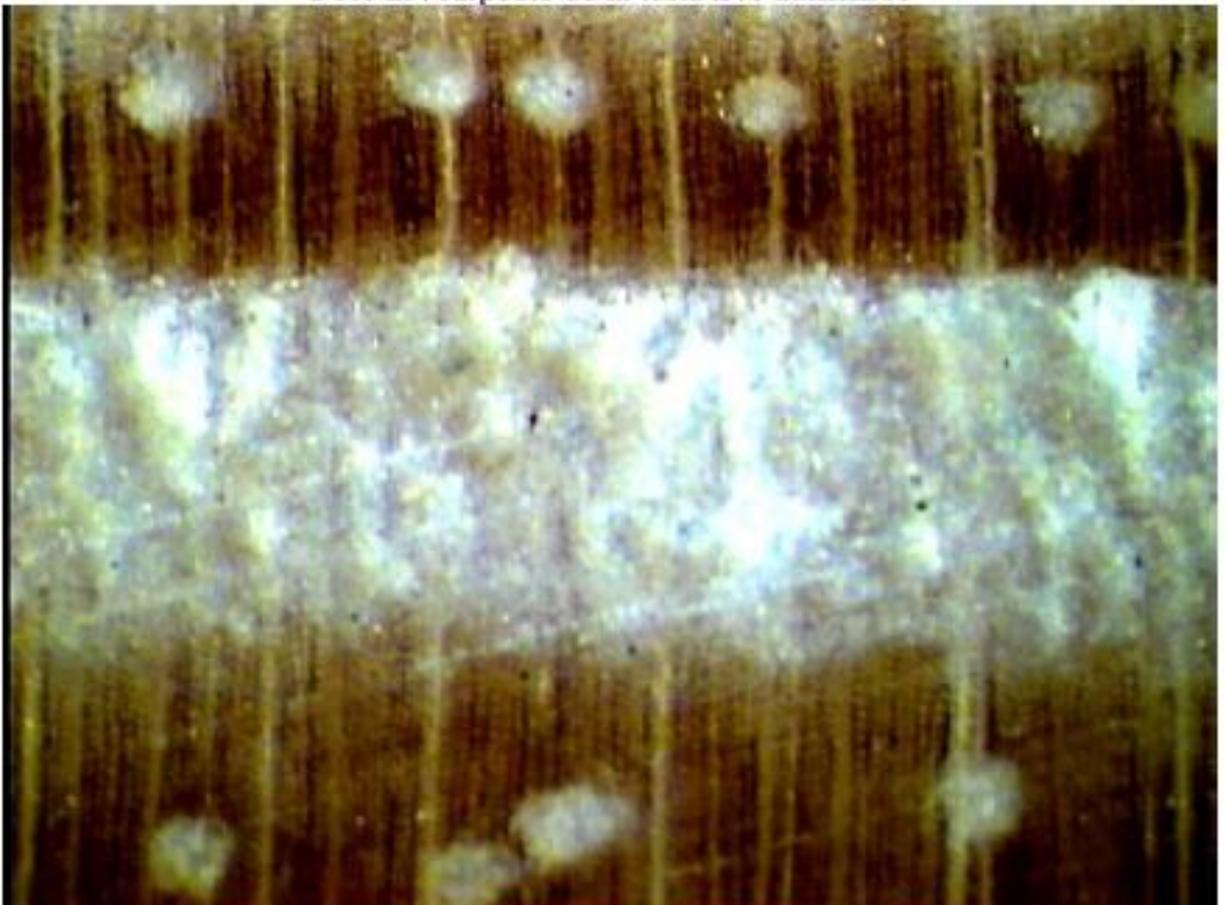


Foto 29: Aspecto de la testa x40 aumentos



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS. (A. Gutierrez Oliva, 1.967)

Se indican en la tabla 23

Tabla 23: Características física de la madera de pino laricio

PARÁMETRO	Mínimo	Medio	Máximo	Interpretación.
Densidad normal (peso específico aparente) (gr/cm^3)	0.491	0.576	0.656	semipesada
Dureza radial	2.24	2.48	2.91	semiblanda
Cota de dureza	5.48	5.95	6.28	pequeña
Dureza tangencial	1.16	2.34	3.28	semiblanda
Cota de dureza	4.61	6.85	10.01	normal
Contracción volumétrica total	11.6	13.3	16.7	media
Contracción lineal tangencial	5.64	6.60	7.56	
Contracción lineal radial	2.81	3.51	4.49	
Punto de saturación de la fibra	30	33	39	normal
Coefficiente de contracción volumétrica	0.25	0.40	0.47	algo nerviosa
Coefficiente contracción tangencial	0.17	0.20	0.23	
Coefficiente contracción radial	0.09	0.11	0.15	
Relación c.c.tang./c.c.radl	1.66	1.82	2.33	
Higroscopicidad	0.0023	0.0032	0.0038	normal

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS. (A. Gutierrez Oliva, 1.967)

Se indican en la tabla 24

Tabla 24: Características mecánicas de la madera de pino laricio

PARÁMETRO	Mínimo	Medio	Máximo	Interpretación
Flexión estática. Carga de ruptura (kg/cm^2)	1012	1169	1334	mediana
Cota de flexión	18.8	20.6	23.6	grande
Cota de rigidez	17.4	25.2	34.7	elástica
Cota de tenacidad	2.3	2.5	2.7	mediana
Modulo de elasticidad	83500	96500	103500	-
Trabajo unitario ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$)	0.17	0.25	0.33	baja
Cota dinámica	0.65	0.76	0.87	frágil
Compresión paralela a la fibra (kg/cm^2)	374	456	506	alta
Cota de calidad estática	6.8	7.9	9.1	mediana
Hienda. Resistencia a rotura (kg/cm)	7.75	9.77	11.67	baja
Cota estática	0.13	0.17	0.20	poco laminable
Tracción perpend. a la fibra (radial)(kg/cm^2)	21	22	24	baja
Cota de calidad	0.36	0.38	0.42	medianamente adherente
Tracción perp. a la fibra (tangenc.) (kg/cm^2)	20	23	27	pequeña
Cota de calidad	0.35	0.40	0.47	medianamente adherente
Compresión perp. a la fibra (radial) (kg/cm^2)	79	88	101	
Cota de calidad	1.2	1.4	1.5	
Compresión perp a la fibra (tang.) (kg/cm^2)	88	99	102	
Cota de calidad	1.4	1.6	1.7	

VALORES CARACTERÍSTICOS DE RESISTENCIA.-DENSIDAD.MOR.MOE. (R. Argüelles y F. Arriaga, 1.996)

El pino laricio está catalogado, para gruesos de hasta 70 mm, según sus calidades ME-1 y ME-2, en las clases resistentes siguientes:

Tabla 25: Clases resistentes de la madera estructural de pino laricio

CLASE DE CALIDAD		
Grueso > 70 mm		Grueso > 70 mm
ME-1	ME-2	MEG
C30	C18	C22

Estas clases resistentes tienen los siguientes valores:

Tabla 26: Características mecánicas de la madera de pino laricio según sus valores resistentes

PROPIEDADES (Kg/cm ²)\CLASE RESISTENTE	C30	C22	C18
Flexión	300	220	180
Tracción paralela	180	130	110
Tracción perpendicular	4	3	3
Compresión paralela	230	200	180
Compresión perpendicular	57	51	48
Cortante	30	24	20
Módulo de elasticidad paralelo medio	120.000	100.000	90.000
Módulo de elasticidad paralelo 5° percentil	80.000	67.000	60.000
Módulo de elasticidad perpendicular medio	4.000	3.300	3.000
Módulo cortante	7.500	6.300	5.600
Densidad característica en Kg/m ³	380	340	320
Densidad media en Kg/m ³	460	410	380

DURABILIDAD.

La durabilidad natural del pino laricio es superior a la del pino silvestre, sobre todo la procedente de árboles viejos, en los que la madera está fuertemente impregnada de resina y, es, además, poco permeable a la humedad.

La resistencia de la madera en servicio frente a los ataques biológicos depende de la presencia y proporción de albura. En la tabla cuadro se resumen las propiedades de durabilidad de la madera de laricio:

Tabla 27: Características durables de la madera de pino laricio.

DURABILIDAD	ALBURA	DURAMEN
Hongos	No durable	Algo durable
Termita	No durable	Algo durable
Polilla	Muy durable	Muy durable
Carcoma fina	No durable	Muy durable
Carcoma gruesa	No durable	Muy durable
Resistencia a la luz	Escasa	

Por otra parte, esta madera es fácilmente protegida por impregnación profunda.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS. (L. Bustamante y A. Caperos, 1.966)

Se indican en la tabla 28

Tabla 28: Características químicas de la madera de pino laricio.

PARAMETROS	TRONCO	RAMAS
Cenizas (%)	0.46	0.64
Solubilidad en agua fría	2.35	2.46
Solubilidad en agua caliente	4.95	5.41
Solubilidad en NaOH 1%	20.37	20.65
Extracto en eter	7.75	4.53
Extracto en alcohol benceno	1.60	1.74
Lignina	25.07	29.97
Holocelulosa	71.43	70.40
Pentosanos	10.20	12.90

TECNOLOGÍA DE LA MADERA.

La tecnología del pino laricio es similar a la del silvestre. Únicamente deben tenerse ciertas precauciones en el acabado por su mayor contenido en resina. Con el tiempo aparecen puntitos de resina en la madera que pueden deteriorar el acabado que se haya aplicado a la madera.

APLICACIONES.

Las aplicaciones de la madera de pino laricio son muy similares a la del pino silvestre, hasta el punto de que algún aserradero comercializa la madera sin distinguir la especie de que se trata. El comprador profesionalizado prefiere el silvestre por su menor contenido en resina, a pesar de su menor resistencia.

Un caso particular es su aplicación para chapa a la plana, que realmente no se usa esta madera, por las manchas que produce su elevado porcentaje de resina.