Guía para la asignación de clases de uso y de servicio a los productos de la madera

Juan Ignacio Fernández-Golfín Seco[1]; Fernando Peraza Sánchez[2]; Manuel C. Touza Vazquez[3]; Francisco Arriaga Martitegui[4]

[1]Centro de Investigación Forestal CIFOR-INIA. Laboratorio de Estructuras. Carretera de la Coruña km 7,5. 28040 Madrid. golfin@inia.es

[2]AITIM, Calle de la Flora 3, 28013 Madrid

[3] Axencia Galega de Innovación, CIS Madeira, Avda. de Galicia 5, Parque Tecnolóxico de Galicia. San Cibrao das Viñas, 32901 Ourense

[4] Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid

Diseño gráfico: Dra. Vega Asensio, NORARTE

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN 3

2.- TÉRMINOS Y DEFINICIONES 7

3.- ASIGNACIÓN PARAMÉTRICA DE LAS CLASES DE USO 13

VARIABLES INCIDENTES 13

3.A. CLIMA LOCAL (mesoclima) 13

3.A.1. Índice de exposición básica (I_{s0}) 14

3.A.1.1. Elementos ubicados al interior de edificios dotados de envolvente térmica 14

3.A.1.2. Elementos ubicados al interior de edificios carentes de envolvente térmica 14

3.A.1.3. Exposición exterior 17

3.A.2. Factor de severidad climática (k_{s1}) 19

3.A.3. Índice de exposición mesoclimática (I_s) 20

3.B. VARIABLES ASOCIADAS AL DISEÑO 21

3.B.1. Geometría del elemento (k_{s2}) 21

3.B.2. Aleros y cornisas (k_{s3}) 22

3.B.3. Distancia al suelo (k_{s4}) 23

3.B.4. Diseño constructivo en elementos ubicados al exterior (k_{s5}) 24

3.B.5. Riesgos especiales en rehabilitación (k_{s6}) 27

CÁLCULO DE LA CLASE DE USO 29

4.- PRESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS POR CLASES DE SERVICIO Y USO 31

ANEXO 1. EJEMPLO DE ASIGNACIÓN DE CLASES DE USO 35

ANEXO 2. ESTIMACIÓN DE LA DURABILIDAD DEL DURAMEN DE ESPECIES COMERCIALES EN LAS DISTINTAS CLASES DE USO 54

ANEXO 3. CONSIDERACIONES SOBRE LA DURABILIDAD DE LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN 56

Guía para la asignación de clases de uso y de servicio a los productos de la madera

RESUMEN

Esta guía presenta las bases científico-técnicas y normativas para la asignación de las clases de uso de la norma UNE-EN 335 y de las de servicio del Documento Básico de Seguridad Estructural "Madera" del Código Técnico de la Edificación (CTE) a los productos de la madera empleados en construcción.

En España, la construcción con madera constituye un reto para los proyectistas, ya que han de hacer frente a aspectos del diseño constructivo para los que, a menudo, no tienen formación específica suficiente.

Si bien el cálculo estructural está regido por normas y criterios conocidos y refrendados por la práctica, no ocurre lo mismo con el efecto de la humedad en todo lo referido al diseño, a la prescripción de los productos y al tratamiento químico.

En el presente trabajo no se dan pautas referidas al tratamiento químico pero sí respecto del efecto del clima, en sus distintos ámbitos, y del diseño, tanto urbanístico como constructivo, en el riesgo de degradación de la madera.

Para la mejor comprensión de los contenidos técnicos del presente trabajo se incluye un anexo con ejemplos, que ilustran el efecto de las diversas variables en la evaluación del riesgo, expresado mediante las clases de uso de la norma UNE-EN 335.

PALABRAS CLAVE: Pudrición; clase de uso; clase de servicio; diseño constructivo; madera

Guide for the assignment of use and service classes for the wood based products

SUMMARY

This guide presents the scientific, technical and normative bases for the assignment of the use classes of the standard UNE-EN 335 and of the service classes of the Basic Structural Safety Document "Madera" of the CTE, for the wood based products used in building.

In Spain, building with wood is a challenge for designers because they have to deal with aspects of design for those who, frequently, do not have enough specific training.

Although the structural design is governed by rules and well known criteria, also well endorsed by the practice, this is not true with respect to the handling of the humidity in all the aspects related to the design, the prescription of the products and of the chemical treatment.

In the present work no guidelines are given regarding chemical treatments, but this work is focused on the effect of climate, urban and constructive detailing or internal climate on the risk of degradation of wood.

For the better understanding of the technical contents of the present work an annex with examples is included, which illustrate the effect of the various variables in the risk assessment, established this in terms of use classes of the standard UNE-EN 335.

KEY WORDS: Decay; use classes; service classes; constructive detailing; wood

1.- INTRODUCCIÓN

La madera y sus productos derivados aportan unos innegables valores ambientales y prestaciones a la construcción sostenible (materia prima renovable, almacenamiento de carbono, baja energía embebida, reciclable, reutilización, valorización energética, aislamiento térmico, etc.).

Esta excelente valoración ambiental inicial, puesta de manifiesto en las declaraciones ambientales de producto y edificio, se puede revertir si una incorrecta prescripción de los materiales o un inapropiado diseño propician fallos que obligan a continuas intervenciones de mantenimiento, reparación y/o rehabilitación.

Por todo ello es necesario dar pautas para conseguir que los productos sean elegidos y las soluciones constructivas diseñadas de forma que en todo momento la vida útil prescrita quede garantizada.

Es importante aquí llamar la atención sobre el concepto de durabilidad adoptado en el presente trabajo, que consideramos debe ser definida como:

> "*La capacidad de soportar, durante la vida útil prevista, el efecto combinado de las solicitaciones físico-mecánicas y climáticas previstas en proyecto*".

Como se desprende de la definición anterior, la durabilidad va más allá de la simple degradación del material por la acción de los agentes biológicos, que es como tradicionalmente se ha considerado la durabilidad en el sector de la madera.

Especialmente interesante es, a este respecto, el listado de agentes de la degradación que afectan a la vida en servicio de componentes y materiales de construcción (Frohnsdorff *et al* 1980[1]) y que puede ser resumido en la Tabla 1.1:

Tabla 1.1

Agentes de degradación de los materiales de construcción[1]

I.- Agentes atmosféricos • Radiación ▪ Solar ▪ Nuclear ▪ Térmica • Temperatura • Agua ▪ Sólida (nieve, hielo) ▪ Líquida (lluvia, condensaciones) ▪ Vapor (humedad relativa) • Constituyentes normales del aire ▪ Gases (óxidos de nitrógeno, sulfuros) ▪ Nieblas (salinas, ácidas) ▪ Partículas (arena, polvo) ▪ Lluvias ácidas • Ciclos de hielo-deshielo • Viento	**II.- Agentes biológicos (bióticos)** • Insectos y microorganismos • Bacterias • Hongos **III.- Tensión** • Permanente • Dinámica (cargas cíclicas) **IV.- Incompatibilidades** • Químicas • Físicas **V.- Uso** ▪ Diseño ▪ Métodos de instalación ▪ Métodos de mantenimiento ▪ Desgaste ▪ Abuso de uso

El interés de dicha Tabla radica en que es universalmente aplicable a todos los productos de la construcción y que mediante su empleo podemos apreciar los puntos fuertes y las debilidades de cada producto. En dicha Tabla hemos resaltado aquellos agentes que afectan más intensamente a la madera y sus derivados.

Como se puede apreciar, la madera puede ser degradada por la influencia de factores bióticos y abióticos mientras que las resinas sintéticas presentes en los productos derivados de la madera

[1] Frohnsdorff *et al*. (1980) *An Approach to Improved durability tests for building materials and components*. National Bureau of Standards.

(madera laminada, LVL, tableros contralaminados y de partículas, etc.) únicamente lo serán por la acción de agentes abióticos (fundamentalmente la temperatura, la humedad y la tensión permanente). Es claro que con carácter general y para conseguir una adecuada vida útil de los materiales y productos sólo es posible incrementar la resistencia inicial del material (resistencia físico-mecánica, resistencia biológica) o reducir el efecto de los agentes de la degradación, o ambos a la vez (Fig. 1.1).

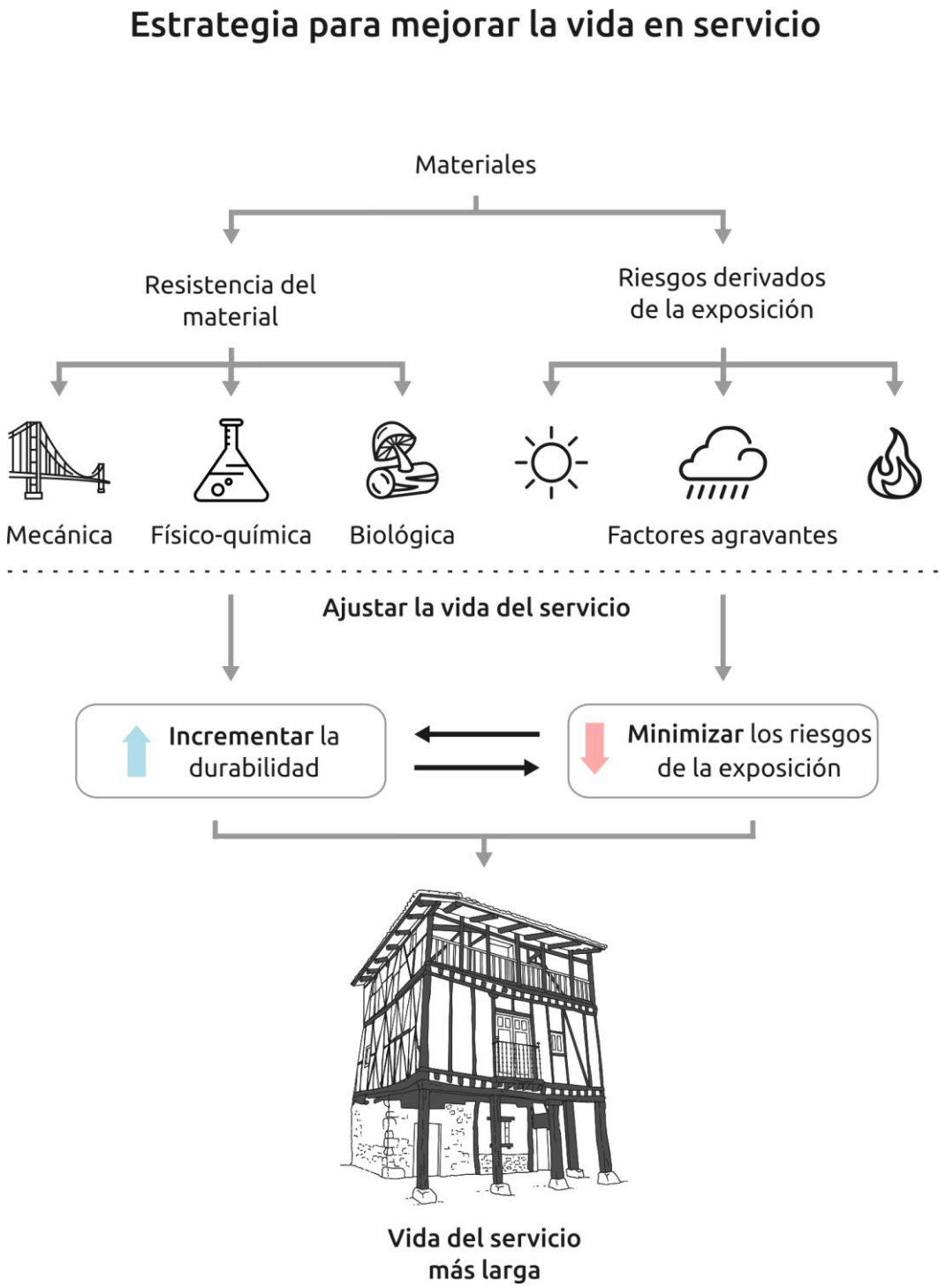


Figura 1.1. Esquema general de optimización de la vida en servicio

De todos los agentes de la degradación identificados anteriormente, es el binomio humedad-temperatura del material (*clima del material*), el que más afecta al comportamiento físico-mecánico y biológico de los productos de la madera. Esto es así por la dependencia que de la humedad y la

temperatura del material tienen tanto el comportamiento viscoelástico como la cinética de la degradación por parte de los principales agentes biológicos (hongos de pudrición y termitas subterráneas, fundamentalmente).

Por tanto, la correcta estimación de las condiciones climáticas en las que un producto de madera va a trabajar, junto con la adopción de las medidas de diseño, prescripción de producto y, en su caso, de tratamiento químico protector son aspectos que todo proyectista ha de ser capaz de manejar cuando construye con madera y se plantea la durabilidad como meta.

Para garantizar la salubridad y la durabilidad de la construcción con madera es necesario tomar en consideración la acción del agua bajo todas sus formas, lo cual implica conocer las medidas constructivas encaminadas a disminuir los riesgos de que la madera pueda sufrir aportes de humedad que originen ataques por organismos xilófagos y, en particular, por hongos de pudrición o termitas subterráneas:

- Protección frente a la lluvia y la nieve: Cualquiera que sea su naturaleza, las fachadas y cubiertas deben ser eficaces aportando una protección continua de los elementos de la estructura frente a la lluvia y el viento, especialmente en las zonas de las uniones y de los encuentros con otros elementos constructivos. Por dicho motivo, si los revestimientos de madera se colocan a junta abierta con una función fundamentalmente de tipo decorativo, la protección de la estructura se ha de conseguir mediante el empleo de, sobre todo, membranas impermeabilizantes.

  Otras medidas de protección recomendadas en el DB-SEM[2] para este fin son las siguientes:
  - Evitar que las testas de los elementos estructurales de madera queden expuestas al agua de lluvia ocultándolas, cuando sea necesario, con una pieza de remate (Nota: También es admisible una solución basada en un diseño de la testa que limite el tiempo de contacto con el agua de lluvia como, por ejemplo, corte angular o diseño en *pecho de paloma*).
  - Proteger la cara superior de los elementos de madera que queden expuestos directamente a la intemperie y en los que pueda acumularse el agua. En el caso de utilizar una albardilla (normalmente de chapa metálica), esta albardilla debe permitir, además, la aireación de la madera que cubre. Una solución sobre la base del empleo de piezas de sacrificio resulta también, en la mayoría de los casos, admisible.
  - Facilitar, en general, al conjunto de la cubierta y sus elementos la rápida evacuación de las aguas de lluvia y de condensación, mediante un adecuado diseño y el empleo en los sitios apropiados de elementos de recogida y canalización de las mismas.
- Protección frente a la humidificación prolongada de las fachadas y revestimientos exteriores: Para ello todo contacto de los elementos de madera de la fachada con el suelo debe ser evitado y debe fomentarse el empleo de cámaras de aire ventiladas en la contracara de los revestimientos de madera al exterior.
- Protección frente a los ascensos de humedad: Debe evitarse el contacto directo de los elementos de madera con los muros exteriores y con los elementos de la cimentación, impidiendo todo riesgo de humidificación por la acción de la capilaridad. Otras medidas de protección recomendadas por el DB-SEM son:
  - Evitar que los arranques de soportes y arcos queden embebidos en el hormigón u otro material de fábrica. Para ello se protegerán de la humedad colocándolos a una distancia suficiente del suelo o haciéndolos reposar sobre capas impermeables.
  - Ventilar los encuentros de vigas en muros potencialmente húmedos, manteniendo una separación mínima de 15 mm entre la superficie de la madera y el material del muro. El apoyo en su base debe realizarse a través de un material intermedio, separador, que no transmita la posible humedad del muro.

[2] Documento Básico SE-M *Seguridad Estructural Madera* del Código Técnico de la Edificación

- Evitar el contacto directo de la madera con el terreno, manteniendo una distancia mínima de 20 cm y disponiendo un material hidrófugo (barrera antihumedad).

- Protección frente a las condensaciones: Tanto para los elementos de madera con función estructural instalados al interior de los edificios, como para aquellos otros que formen parte de la envolvente exterior del edificio y que por tanto se encuentren sometidos a la acción del clima exterior, bajo protección o no, es necesario limitar el riesgo de aparición de humedades de condensación, superficiales e intersticiales, que puedan perjudicar sus prestaciones físico-mecánicas y de durabilidad. En todos los casos es necesario tratar adecuadamente los *puentes térmicos* para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.

  De acuerdo con la exigencia básica establecida en el DB-HS1[3] de "*Protección frente a la humedad*" como con lo establecido en el DB-HE1[4] es necesario adoptar los siguientes criterios generales para evitar la presencia de condensaciones:

  - Respecto de las condensaciones superficiales, en los *cerramientos* y *particiones interiores* que componen la *envolvente térmica* del edificio, se limitarán las condensaciones superficiales de manera que se evite la formación de mohos en su superficie interior. Para ello, en aquellas superficies interiores de los cerramientos exteriores del edificio que puedan absorber agua o sean susceptibles de degradarse, la humedad relativa media mensual del aire en contacto con dicha superficie será inferior al 80%[5].

    Adicionalmente el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)[6], en su Instrucción Técnica IT 1.1 referente a "*Exigencia de bienestar e higiene*", apartado 1.1.4.1.2 referido a "*Temperatura operativa y humedad relativa*" establece en su considerando tercero que:

    > "*La temperatura seca de los locales que alberguen piscinas climatizadas se mantendrá entre 1ºC y 2ºc por encima de la del agua del vaso, con un máximo de 30ºC. La humedad relativa del local se mantendrá siempre por debajo del 65%, para proteger los cerramientos de la formación de condensaciones".*

  - Las condensaciones intersticiales que se produzcan en los cerramientos y particiones interiores que componen la envolvente térmica del edificio serán tales que no produzcan una merma significativa en sus prestaciones físico-mecánicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil[7]. Además, la máxima condensación acumulada en cada periodo anual no será superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo[8].

  La calificación del riesgo de aparición de condensaciones en el interior de los locales se efectúa en función de la carga higrotérmica interna (véase la Tabla 3.1).

  - Protección frente a las condensaciones en cámaras sanitarias: Cuando se disponga un forjado de estructura de madera sobre una cámara sanitaria se velará por la adecuada ventilación del local, de forma que la humedad relativa en su interior no exceda el valor del 80%.

[3] Documento Básico HS Salubridad, Sección HS 1 *Protección frente a la humedad*. Código Técnico de la Edificación.
[4] Documento Básico HE Ahorro de Energía, Sección HE 1 *Limitación de la demanda energética*. Código Técnico de la Edificación.
[5] Para una temperatura de 20/25ºC y una humedad relativa del 80% la humedad de equilibrio de la madera sólida corresponde al 16% (véase Tabla 3.2), lo cual supone la asignación de la madera y derivados de la madera a una clase de servicio 2 (véase Tabla 2.1).
[6] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
[7] En el caso de condensaciones intersticiales que acaecen regularmente y con carácter estacional en determinados periodos del año, esta exigencia se cumple en los productos derivados de la madera si pertenecen a una clase técnica apta para clase de servicio 3.
[8] Esta exigencia se cumple habitualmente asegurando que el diseño constructivo adoptado asegure que los materiales se llegan a secar completamente tras cada periodo de humectación.

2.- TÉRMINOS Y DEFINICIONES

En este trabajo por ***elemento de madera*** se entiende cualquier componente estructural (vigas, pilares, tableros de forjado, cubierta o muro, etc.) o de carpintería (puertas, ventanas, fachadas, suelos, etc.) conformado con madera maciza o reconstituida (chapas, láminas, partículas, fibras, etc.).

El ***clima del material***, entendido como la acción combinada del contenido de humedad (CH) y de la temperatura del material, es el factor agravante de mayor trascendencia en la degradación de la madera y sus derivados.

En el caso de la madera, la normativa europea (Eurocódigo 5 y normas EN), la nacional (normas UNE) así como el Código Técnico de la Edificación (Documento Básico de Seguridad Estructural Madera) abordan el problema de la evaluación del efecto del *clima del material* desde dos puntos de vista, distintos pero confluentes (considerando que ambos han de ser tomados en consideración a la vez):

- Mediante la aplicación del concepto de ***clase de servicio***, para la modificación de sus propiedades mecánicas en función de las condiciones higrotérmicas de servicio, así como para establecer algunas limitaciones de uso de los productos encolados en función del tipo de encolado.
- Mediante la aplicación del concepto de ***clase de uso***, que trata de estimar los riesgos de la degradación biológica (biótica) del material

La nomenclatura similar y la dificultosa interpretación de la definición que tienen las clases de uso y servicio en nuestra normativa y reglamentación (toda ella de origen europeo) conduce a veces a confusión.

De forma muy concisa se puede afirmar que la clase de uso hace exclusivamente referencia al riesgo de degradación **biológica** de la madera que compone el producto (fundamentalmente por la acción de hongos e insectos), mientras que la clase de servicio se refiere a la minoración de las prestaciones físico-mecánicas del elemento de madera (fundamentalmente originada por fallos del encolado o por la reducción de las prestaciones elastomecánicas de los componentes del elemento), que se podrían traducir, por ejemplo, en el incremento en la flecha, en la reducción en la resistencia o en la disgregación de la estructura interna por acción de la humedad y la temperatura.

En la Tabla 2.1 se incluyen las últimas definiciones aceptadas para ambas familias de clases.

Tabla 2.1

Definiciones de clases de uso y de servicio

			Clase Uso (CU) (UNE-EN 335:2013)	**Clase Servicio (CS) (CTE/DB-SEM)**
Nº	**Sub-clase**	**Entorno de aplicación**	**Durabilidad del elemento frente al ataque de hongos xilófagos, fundamentalmente**	**Prestaciones elastomecánicas e integridad estructural de productos encolados**
C1	-	**No en contacto con el suelo**	Situación en la que el elemento de madera se utiliza **en el interior de una construcción y** no expuesto a la intemperie ni a la humidificación * *Nota: Habitualmente CH≤12%*	Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20 ± 2°C y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 65% unas pocas semanas al año. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera expuestas a un ambiente interior. *Nota: Las condiciones higrotérmicas de 20/65% se corresponden en el caso de la madera sólida con un contenido de humedad del 12%* (véase Tabla 3.2)
C2	-		Situación en la que el elemento de madera se encuentra situado **bajo cubierta** y no expuesto a la intemperie (en particular a la lluvia) pero en la que puede estar sometido a una humidificación ocasional pero no persistente. En esta clase de uso puede producirse condensación superficial en el elemento de madera. Radiación solar reducida*.	Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20 ± 2°C y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 85% unas pocas semanas al año. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera a cubierto, pero abiertas y expuestas al ambiente exterior, como es el caso de cobertizos y viseras. Las

			Nota: Habitualmente 12%<CH<18%	piscinas cubiertas, debido a su ambiente húmedo, encajan también en esta clase de servicio.. *Nota: Las condiciones higrotérmicas de 20/85% se corresponden en el caso de la madera sólida con un contenido de humedad del 18%* (véase Tabla 3.2)
C3	**3.1**		Situación en la que el elemento de madera se encuentra situado **por encima del suelo y expuesto a la intemperie** (en particular a la lluvia) pero en la que el elemento no permanece húmedo durante largos periodos de tiempo y el agua en ningún caso se acumula. Exige un **diseño (u orientación) que garantice una rápida evacuación del agua y un rápido secado**. Radiación solar media-elevada***** *Nota: Habitualmente el CH no supera el umbral del 18% durante más de unas semanas al año*	**Toda otra condición que no pueda ser considerada en las dos clases anteriores** En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera expuestas a un ambiente exterior sin cubrir. *Nota: En la clase de servicio 3 la humedad de equilibrio higroscópico media de la mayoría de las maderas de coníferas excede el 20%.*
	3.2		Situación en la que el elemento de madera se encuentra situado **por encima del suelo y expuesto a la intemperie** (en particular a la lluvia) pero en la que el elemento permanece húmedo durante largos periodos de tiempo y el agua puede acumularse. Es una situación en la que los elementos no están orientados ni las soluciones constructivas diseñadas de forma que permitan la rápida evacuación del agua. Radiación solar elevada. Nota: *El CH supera el umbral del 18-20% durante algunos meses al año pero llega a secarse completamente (CH<12%) durante, al menos, tres meses.*	
C4	**-**	**Contacto con suelo o agua dulce**	Situación en la que el elemento de madera se encuentra en **contacto directo con el suelo y/o el agua dulce *.** *Nota 1: También han de incluirse en esta clase a las maderas en contacto con una fuente de humidificación permanente o semipermanente (ej. Muros o soleras húmedos).* *Nota 2: Habitualmente CH>18%, no llegando a secarse completamente (CH<12%) en ningún momento del año*	
C5	**-**	**Contacto con agua marina o salobre**	Situación en la que el elemento de madera se encuentra **sumergido en agua salada** de forma regular o permanente (ej. Agua marina o salobre) *Nota: Habitualmente CH>18%, no llegando a secarse completamente (CH<12%) en ningún momento del año*	

CH: contenido de humedad de la madera (en el caso de otros productos, por ejemplo tableros, los valores umbrales señalados en las notas habrán de ser modificados considerando el valor de equilibrio para las condiciones climáticas de referencia de 20ºC/65% y 20ºC/85%, ver Tabla 3.2)

(*) Los ataques por insectos xilófagos, incluyendo las termitas, son posibles, aunque su presencia e importancia dependen de la localización geográfica.

Como puede apreciarse en la Tabla 2.1, las reglas de asignación de clases de uso y de servicio son coincidentes en algunos aspectos pero difieren en el enfoque con el que consideran los efectos del contenido de humedad y la temperatura de la madera, lo que obliga a su toma en consideración por separado.

Es necesario destacar que si no fuera posible conocer con exactitud las condiciones de utilización previstas para un elemento de madera, o si se interpreta que diferentes partes de un mismo elemento pueden estar sometidas a diferentes condiciones, la decisión de asignación se debería adoptar sobre la base de la clase más severa.

Por otra parte, en situaciones en las que los elementos de madera no se encuentren en contacto con el suelo pero que por su diseño puedan acumular agua de forma permanente o encontrarse en contacto permanente con elementos húmedos (por ejemplo muros, soleras), o cuando puedan producirse depósitos salinos, de suciedad, hojas, etc. (por ejemplo en entarimados al exterior) durante un periodo de tiempo prolongado, puede ser necesario considerar dichas situaciones como equivalentes a las que corresponden a elementos de madera en contacto con el suelo o con agua dulce (CU 4).

Para hacer frente a los distintos regímenes de clima del material en los que los productos de la madera pueden trabajar, la industria de la madera ha desarrollado productos que aun perteneciendo al mismo tipo o familia (por ejemplo, tableros de partículas, de fibras, madera laminada, etc) presentan distintas calidades de encolado (Ej. Interior, exterior). Es por ello que las normas de especificaciones de muchas familias de productos encolados incorporan tipos o "*clases técnicas*" distintos, que difieren entre sí por su capacidad para hacer frente a condiciones climáticas distintas. La decisión sobre la clase técnica más apropiada para cada condición de servicio se ha de efectuar mediante la previa determinación de la clase de servicio que resulta de aplicación en cada condición de uso.

Siendo, como vemos, el contenido de humedad del material una variable incidente de primera magnitud en el proceso de degradación del material, su correcta medida, tanto en taller como en obra, así como la estimación y comprobación de su evolución futura son aspectos de importancia fundamental para el correcto funcionamiento del material.

Para la rápida estimación del valor del contenido de humedad del material, en taller y en obra, se suelen emplear aparatos portátiles denominados xilohigrómetros, cuya precisión depende de su correcto ajuste y calibración. Para que estos aparatos provean de una medida precisa es necesario no solo que en el momento de la medida sean ajustados en función de la temperatura y la especie o producto de madera bajo medida, sino que, también, se emplee la metodología de medida recomendada por el fabricante del aparato, que en todo caso deberá ser conforme a lo establecido en la norma UNE-EN 13183-2[9].

Todo taller o dirección facultativa que desee velar por la correcta puesta en obra y el buen funcionamiento del material y sus diseños debería disponer de estos sencillos y económicos equipos de medida que, de forma rutinaria, deberían ser verificados y calibrados para asegurar su correcto funcionamiento.

Nota: La presencia de productos protectores en la madera puede alterar significativamente las lecturas realizadas con un xilohigrómetro de resistencia eléctrica. Las sales hidrosolubles, por ejemplo, disminuyen la resistencia eléctrica de la madera, incrementando las lecturas del contenido de humedad de una muestra de madera tratada respecto a las de la misma madera sin tratar.

El porcentaje de variación oscila en función de factores como el producto empleado, la retención alcanzada o el contenido de humedad de la muestra. Algunos fabricantes proporcionan tablas correctoras que deben emplearse para corregir las lecturas de los equipos. Ante la ausencia de tablas de ajuste se recomienda obtener algunas muestras patrón de producto tratado y determinar su contenido de humedad mediante el método de secado en estufa definido en la norma UNE-EN 13183-1.

Como resumen de todo lo anterior, ante cualquier proyecto constructivo en el que se haga uso de la madera o sus derivados, será necesario tomar simultáneamente dos decisiones independientes para asegurar la adecuada vida en servicio (durabilidad):

[9] UNE-EN 13183-2. *Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica*

1. Asignación de la Clase de Servicio, que lleva a la prevención de la degradación abiótica y al ajuste de las prestaciones elastomecánicas de materiales y productos y para ello es necesario:
   1.1. Elección de la "*clase técnica*" de producto (de acuerdo con lo establecido en las normas de especificaciones de cada producto);
   1.2. Seleccionar el k_{def} *y* k_{mod} (en función de clase de duración de carga) necesarios para el cálculo.
2. Asignación de la Clase de Uso, que lleva a la prevención de la degradación biótica de la madera y para ello es necesario:
   1.1. Evaluar las condiciones de uso (UNE-EN 335[10], DB-SE-M y DB-HS1 del Código Técnico);
   1.2. Elegir la madera adecuada (UNE-EN 350)[11], o
   1.3. Prescribir el tratamiento químico adecuado de la madera o producto (UNE-EN 351-1[12] y UNE 56419[13]), tomando en consideración:
      1.3.1. Tipo de protector (compatibilidad, agentes cubiertos, legalidad);
      1.3.2. Retención mínima en la madera o producto (g/m^2 ó kg/m^3);
      1.3.3. Penetración mínima en la madera (normalmente en términos de mm de albura).

Todo lo anterior no excluye que el proyectista haya de tomar en consideración todo lo contenido en el Documento Básico HS de Salubridad y muy especialmente lo establecido en su apartado HS 1 de *Protección frente a la humedad*, el cual establece una serie de consideraciones y requisitos que es necesario tener en cuenta a la hora del diseño para evitar condensaciones y limitar los efectos nocivos de la humedad sobre los materiales.

Por su trascendencia a la hora de determinar el clima en el que el material va a trabajar, seguidamente se definen diversos términos considerados tanto en el DB-HE y DB-HS del Código Técnico de la Edificación, como en el presente trabajo:

Cerramiento: elemento constructivo del edificio que lo separa del exterior, ya sea aire, terreno u otros edificios. Comprende cubiertas, forjados, muros y medianeras.

Clases de higrometría interior a los edificios: de acuerdo con su higrometría, los espacios interiores de los edificios se clasifican en cinco clases en función de la cantidad de humedad disipada en su interior, siguiendo lo establecido en UNE-EN ISO 13788[14]:

a. Espacios desocupados y almacenes de bienes secos (Clase higrométrica 1);
b. Espacios habitables destinados a oficinas y comercios con una ventilación y ocupación normales (Clase higrométrica 2)
c. Espacios habitables con carga higrométrica interna baja (Clase higrométrica 3): espacios en los que se disipa poca humedad. Son los espacios destinados principalmente a residir en ellos, con carácter eventual o permanente. En esta categoría se incluyen todos los espacios de edificios de viviendas así como aquellas zonas o espacios de edificios asimilables a éstos en uso y dimensión, dotados de sistemas estables de calefacción o climatización, tales como habitaciones de hotel, habitaciones de hospitales y salas de estar, así como sus zonas de circulación vinculadas.
d. Espacios habitables y no habitables con carga higrométrica interna alta (Clase higrométrica 4): Son aquellos espacios en los que se genera gran cantidad de humedad por causa de su ocupación, uso o equipos existentes. En esta categoría se incluyen todos los espacios de viviendas con alta ocupación, pabellones deportivos y piscinas dotados con sistemas continuos de extracción (que cumplen con el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios), cocinas (con sistemas de extracción), cantinas, edificios calefactados con estufas no dotadas de sistemas de evacuación de gases. En esta categoría también quedan incluidos los recintos no habitables como los garajes y trasteros, las cámaras técnicas y los desvanes no acondicionados, y sus zonas comunes (si el nivel de ventilación del recinto es elevado, el elemento podrá ser

[10] UNE-EN 335. *Clases de uso: definiciones, aplicación a la madera maciza y a los productos derivados de la madera.*
[11] UNE-EN 350. *Ensayos y clasificación de la resistencia a los agentes biológicos de la madera y de los productos derivados de la madera.*
[12] UNE-EN 351-1. *Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores.*
[13] UNE 56419. *Evaluación y certificación de los tratamientos.*
[14] UNE-EN ISO 13788. *Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial.*

considerado como ubicado al interior de edificios carentes de envolvente térmica). En esta clase también serán incluidos todos los materiales de cubierta y fachada que estando ubicados al exterior del aislamiento térmico estén protegidos de la acción del agua de lluvia por una barrera impermeabilizante.

e. Espacios habitables y no habitables con carga higrométrica interna muy alta (Clase higrométrica 5): Son aquellos espacios no incluidos en la definición de espacios de las clases de carga anteriores. En esta categoría se incluyen todos los espacios con características especiales, tales como recintos deportivos dotados de piscinas carentes de sistemas continuos de extracción (en los que, por tanto, no se puede asegurar el cumplimiento del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios-RITE) o las lavanderías. En esta categoría también quedan incluidos los recintos no habitables en los que sea previsible la presencia de condensaciones durante largos periodos de tiempo (ej. garajes, trasteros, las cámaras técnicas y desvanes no acondicionados e insuficientemente ventilados). Siempre que sea posible deberían utilizarse datos higrotérmicos medidos para el análisis de los espacios clasificables en esta clase 5 con altas humedades internas.

Clima de referencia o *macroclima*: clima normalizado que define los parámetros climáticos (temperatura, precipitación, radiación solar…) representativos de la zona geográfica en la que el edificio se sitúa o del tipo de edificio bajo estudio.

Clima local o *mesoclima*: clima reinante en las inmediaciones o interior de los edificios, que se caracteriza a partir del conocimiento del clima de referencia o macroclima.

Cubierta: cerramiento en contacto con el aire exterior en su cara superior cuya inclinación sea inferior a 60º respecto a la horizontal.

Envolvente térmica del edificio: compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios no habitables en contacto con el ambiente exterior.

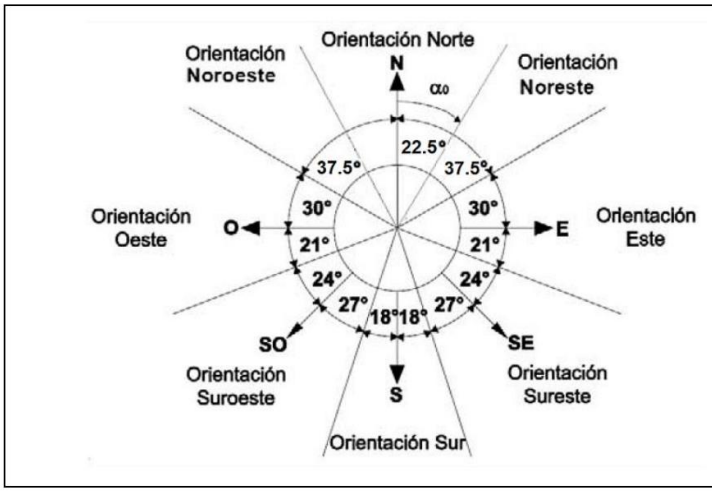
Espacio habitable: espacio formado por uno o varios recintos habitables (ver recinto habitable) contiguos con el mismo uso y condiciones higrotérmicas equivalentes.

En función de la disponibilidad de sistemas de calefacción y/o climatización, los espacios habitables se clasifican en acondicionados o no acondicionados.

a. **Espacio (habitable) acondicionado:** espacio habitable que dispone de un sistema de calefacción y/o refrigeración. En uso residencial privado se consideran acondicionados todos los espacios habitables.
b. **Espacio (habitable) no acondicionado:** espacio habitable que no dispone de un sistema de calefacción y/o refrigeración. Al ser un espacio habitable dispone, sin embargo, de fuentes internas (iluminación, ocupación y equipos). Se aplica a usos distintos del residencial privado, puesto que en este se consideran acondicionados todos los espacios habitables.

Espacio no habitable: espacio formado por uno o varios recintos no habitables (ver recinto no habitable) contiguos con el mismo uso y condiciones térmicas equivalentes. Se trata de espacios no destinados al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ser ocasional o excepcional y por ser bajo el tiempo de estancia, sólo exige unas condiciones de salubridad adecuadas. En esta categoría se incluyen explícitamente como no habitables los garajes, trasteros, las cámaras técnicas y desvanes no acondicionados, y sus zonas comunes.

Fachada: cerramiento en contacto con el aire exterior cuya inclinación es superior a 60º respecto a la horizontal. La orientación de una fachada se caracteriza mediante el ángulo α que es el formado entre el eje de orientación norte y la perpendicular al exterior de la fachada, medido en sentido horario a partir del eje del norte. Se distinguen 8 orientaciones según los sectores angulares contenidos en la Fig. 2.1.



Norte	$\alpha_0 < 22,5$; $\alpha_0 \geq 337,5$;
Noreste	$22,5 \leq \alpha_0 < 60$
Este	$60 \leq \alpha_0 < 111$
Sureste	$111 \leq \alpha_0 < 162$
Sur	$162 \leq \alpha_0 < 198$
Suroeste	$198 \leq \alpha_0 < 249$
Oeste	$249 \leq \alpha_0 < 300$
Noroeste	$300 \leq \alpha_0 < 337,5$

Figura 2.1. Orientaciones de las fachadas (según DB-HE[4])

Material: parte de un producto sin considerar su modo de entrega, forma y dimensiones, sin ningún revestimiento o recubrimiento.

Partición interior: elemento constructivo del edificio que divide su interior en recintos independientes. Pueden ser verticales u horizontales.

Producto: forma final de un material, o conjunto de materiales, listo para su uso, de forma y dimensiones dadas y que incluye cualquier recubrimiento o revestimiento.

Recinto habitable: recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran recintos habitables los siguientes:

a. Habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.) en edificios residenciales;
b. Aulas, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente;
c. Quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario;
d. Oficinas, despachos; salas de reunión, en edificios de uso administrativo;
e. Cocinas, baños, aseos, pasillos y distribuidores, en edificios de cualquier uso;
f. Zonas comunes de circulación en el interior de los edificios;
g. Cualquier otro con un uso asimilable a los anteriores.

Recinto no habitable: recinto interior no destinado al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ser ocasional o excepcional y por ser bajo el tiempo de estancia, sólo exige unas condiciones de salubridad adecuadas. En esta categoría se incluyen explícitamente como no habitables los garajes, trasteros, las cámaras técnicas y desvanes no acondicionados, y sus zonas comunes.

3.- ASIGNACIÓN PARAMÉTRICA DE LAS CLASES DE USO

Para evaluar el riesgo de degradación y asignar correcta y objetivamente la clase de uso de aplicación para un determinado elemento de madera es necesario estimar, de la forma más precisa posible, la evolución del "*clima del material*" (temperatura y contenido de humedad) a lo largo del año.

El *clima del material* al que se encuentra sometido un determinado elemento de madera, tanto si la aplicación es exterior como si lo es bajo cubierta, depende directamente del clima existente en inmediato contacto con él, lo que se denomina como ***microclima***.

Para estimar el microclima es necesario partir del conocimiento del clima local, que llamaremos ***mesoclima*** y que entenderemos como el existente en la zona circundante o en el interior de los edificios (dependiendo de la ubicación del elemento bajo estudio). Conocido el mesoclima estimaremos el microclima tomando en consideración una serie de factores asociados al **diseño** que tienen un efecto conocido y significativo sobre el **contenido de humedad** del elemento de madera bajo estudio.

El método de asignación paramétrica de clases de uso, que seguidamente exponemos, sigue los principios generales establecidos en la norma ISO 15686-1, ya que permite la asignación objetiva de las clases de uso definidas en la norma UNE-EN 335 e incorporar el efecto de todas aquellas variables que asociadas tanto al clima como al diseño tienen influencia sobre el clima del material. La propuesta que efectuamos de coeficientes correctores sigue también la efectuada en el seno del proyecto europeo *Woodexter*[15] y el *International Research Group on Wood Protection*[16]

VARIABLES INCIDENTES

Las variables que influyen sobre la asignación de la clase de uso para los elementos de madera presentes en una edificación ubicada en un lugar y condiciones concretos, son las siguientes:

3.A. VARIABLES CLIMÁTICAS: CLIMA LOCAL (mesoclima)

El mesoclima reinante en las cercanías o interior de los edificios puede ser caracterizado a partir del conocimiento del clima de referencia, o ***macroclima***, propio de la zona geográfica en la que el edificio se sitúa o del tipo de edificio bajo estudio.

En el caso de aplicaciones de exterior el macroclima queda fácilmente caracterizado mediante el conocimiento que aporta el empleo de las bases de datos meteorológicas publicadas por organismos tales como la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET); pero para estimar en estas aplicaciones el mesoclima, o clima local, será necesario analizar si los factores de exposición (por ej. orientación), de configuración urbana o de existencia de elementos geográficos clave (elevaciones, valles, lagunas, ríos cercanos, etc.) provocan, o no, que el clima de la localidad sea diferente o no del macroclima antes apuntado. En muchas ocasiones macroclima y mesoclima coinciden pero en otras no, motivo por el que se hace necesario proceder a la evaluación separada de ambos, especialmente en los elementos de madera que forman parte de la envolvente del edificio así como de sus carpinterías y estructuras al exterior.

A efectos prácticos el macroclima queda caracterizado de forma genérica mediante lo que se denomina ***índice de exposición básica*** (I_{s0}) pero para caracterizar el mesoclima será necesario mayorar o minorar el valor del índice anterior por la acción del denominado ***factor de severidad climática*** (k_{s1}), el cual tiene en cuenta ciertos aspectos particulares de la exposición.

[15] Jermer *et al*. (2011), Thelandersson. *et al*. (2011b),

[16] Thelandersson. *et al*. (2011a), Thelandersson S. (2013)

De acuerdo con esto la demanda mesoclimática básica quedará caracterizada mediante el empleo de un ***índice de exposición mesoclimática*** (I_s), que se obtiene mediante el empleo de la expresión [1] siguiente:

$$\boldsymbol{I_s = I_{s0} \cdot k_{s1}}\ [1]$$

donde:

I_{s0}: índice de exposición básica del elemento

k_{s1}: factor de exposición básica

Los criterios para la determinación de ambas variables serán los siguientes:

3.A.1. Índice de exposición básica *(I_{s0})*

La determinación del índice de exposición básica admite tres posibilidades, según cual sea la naturaleza de la exposición a la que se encuentre sometido el elemento de madera en estudio.

3.A.1.1. Elementos ubicados al interior de edificios dotados de envolvente térmica

En este tipo de aplicaciones se usarán los índices de exposición básica ($\boldsymbol{I_{s0}}$) contenidos en la Tabla 3.1, establecidos en función de las clases de higrometría interior (ver definición en apartado 2 de "*Términos y definiciones*") a los edificios.

Tabla 3.1

Valores del índice de exposición básica a emplear en elementos ubicados al interior de edificios dotados de envolvente térmica en función de su Clase de Higrometría interior

Clase de higrometría Interior	I_{S0}
1	**1,0**
2	**1,0**
3	**1,0**
4	**2,0**
5	**3,0**

Nota 1. El empleo de las clases de higrometría 1 a 4, ambas incluidas, queda circunscrito a aquellas aplicaciones ubicadas en el interior de los edificios en las que se pueda excluir totalmente la presencia de condensaciones.

Nota 2. En clase higrométrica 4 también serán incluidos todos los materiales de cubierta y fachada que estando ubicados al exterior del aislamiento térmico estén protegidos del clima exterior por una barrera impermeabilizante.

3.A.1.2. Elementos ubicados al interior de edificios carentes de envolvente térmica

En este tipo de aplicaciones se usarán los índices de exposición básica ($\boldsymbol{I_{s0}}$) contenidos en la Tabla 3.3 para las capitales de provincia o los calculados para cualquier otra localidad, de acuerdo con el método que seguidamente se detalla, que toma en consideración los registros climáticos de dicha localidad.

Los índices de exposición básica contenidos en la Tabla 3.3 han sido calculados a partir de los datos climáticos contenidos en la Tabla F.1 del Anejo F del DB-SEM, en la que se establecen los valores de la humedad de equilibrio higroscópico (medios, máximos y mínimos anuales), para las distintas capitales de provincia. Éstos están asociados a parejas de valores de temperatura (T) y humedad relativa media (HR) del aire, correspondientes al mes en el que se generan los valores máximo o mínimo en la humedad de equilibrio higroscópico de la madera.

Para el cálculo de los valores de los índices de exposición básica correspondientes a las distintas capitales de provincia españolas se han usado las siguientes variables:

a) Valor medio anual de la humedad de equilibrio higroscópico de la madera (CHMED)

Se calcula a partir de los valores medios anuales de la temperatura y la humedad relativa del aire de cada localidad, con apoyo de la Tabla 3.2 que aporta el valor de la humedad de equilibrio de la madera (CH) correspondiente a cada pareja de valores de temperatura y humedad relativa.

Tabla 3.2

Humedad de equilibrio higroscópico de la madera maciza en función de la temperatura y humedad relativa del aire

Ts	Humedad relativa (%)																	
(ºC)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65*	70	75	80	85**	90	95
0	3,1	4,1	4,9	5,7	6,6	7,4	8,2	9,0	9,8	10,7	11,7	12,7	13,8	15,0	16,4	18,2	20,5	24,0
5	3,0	4,0	4,8	5,6	6,4	7,2	8,0	8,9	9,7	10,6	11,6	12,6	13,7	14,9	16,3	18,1	20,4	23,9
10	2,7	3,7	4,6	5,5	6,2	7,1	7,9	8,7	9,4	10,1	11,0	12,1	13,2	14,7	16,1	18,1	20,4	23,0
15	2,7	3,7	4,6	5,4	6,2	7,0	7,8	8,6	9,3	10,0	11,0	12,0	13,1	14,6	16,0	18,1	20,3	22,9
20	2,6	3,6	4,5	5,4	6,1	7,0	7,7	8,5	9,2	10,0	10,9	**12,0**	13,0	14,4	16,0	**18,0**	20,2	22,8
25	2,6	3,5	4,4	5,3	6,0	6,9	7,6	8,4	9,1	9,9	10,8	11,7	12,9	14,2	15,8	17,8	20,1	22,7
30	2,5	3,4	4,3	5,2	5,9	6,8	7,5	8,3	9,0	9,7	10,6	11,5	12,7	14,0	15,5	17,4	19,9	22,5
35	2,4	3,3	4,2	5,1	5,8	6,6	7,3	8,2	8,8	9,5	10,3	11,3	12,4	13,7	15,1	17,1	19,6	22,3
40	2,2	3,2	4,0	4,9	5,7	6,4	7,1	7,9	8,6	9,3	10,1	11,0	**12,0**	13,4	14,9	16,9	19,3	22,1
45	2,1	3,1	3,9	4,7	5,4	6,1	6,8	7,6	8,3	9,0	9,9	10,8	11,9	13,0	14,6	16,5	19,0	22,0
50	2,1	3,0	3,8	4,4	5,1	5,9	6,6	7,2	8,0	8,8	9,7	10,5	11,6	12,9	14,1	16,0	18,5	22,0
55	2,0	2,9	3,6	4,2	4,9	5,7	6,3	7,0	7,8	8,5	9,2	10,1	11,1	12,4	13,8	15,6	**18,0**	21,5
60	1,9	2,6	3,3	4,0	4,8	5,3	6,0	6,8	7,4	8,2	8,9	9,8	10,8	**12,0**	13,4	15,0	17,5	21,0
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95

En la tabla se establecen tres zonas diferenciadas por el valor del contenido de humedad
(*) Valores de contenido de humedad de madera compatibles con Clases de uso y servicio 2
(**) Valores de contenido de humedad de madera compatibles con Clases de uso y servicio 3

b) Distribución del valor medio mensual de la humedad de equilibrio de la madera (CHMES) durante los 12 meses del año

Como en el apartado a) anterior, el valor de la humedad de la madera en cada localidad se calculará a partir de los datos medios mensuales de temperatura y humedad relativa, con el apoyo de la Tabla 3.2 para obtener los valores medios mensuales de la humedad de equilibrio.

En la Tabla 3.3 se aportan los valores calculados para cada capital de provincia, correspondientes al número de meses en los que la humedad media mensual de la madera (CHMES) se sitúa en los siguientes intervalos:

- CHMES≤12%
- 12%<CHMES≤18%
- CHMES>18%

Adicionalmente en la Tabla 3.3 se aporta, también para cada capital de provincia, el valor del "*Riesgo de Deformación y Agrietamiento (RDA)*", calculado como la diferencia entre los valores máximo (MCMAX) y mínimo (MCMIN) anuales de la humedad de la madera, ya que este dato es indicador del riesgo de presencia de fuertes deformaciones por atejado (habituales en los elementos de pequeño espesor, como por ejemplo en suelos) o de agrietamiento (típico en los elementos de fuerte escuadría, como por ejemplo vigas y pilares), los cuales pueden incrementar el *tiempo de mojado*[17] (sobre todo si los elementos de madera están en posición horizontal).

[17] Por *tiempo de mojado* se entiende el tiempo durante el cual la madera se encuentra con un contenido de humedad superior a un determinado umbral. A nivel europeo este valor umbral se suele fijar en 25%, ya que de acuerdo con diversos estudios de laboratorio es el mínimo que permite la proliferación de hongos xilófagos. No obstante, actualmente en España se está tomando el valor del 18%, que, siendo más conservador, tiene mejor en cuenta la mayor virulencia de los hongos en nuestro territorio así como el hecho de que rara vez la temperatura cae por debajo del umbral de 2ºC, que inhibe su actividad.

El valor del RDA en este tipo de aplicaciones de espacios cubiertos pero sin cerramiento sólo será tenido en cuenta para la evaluación del aspecto de los elementos de madera en aquellas aplicaciones en las que su papel estético sea importante. Tan sólo en aquellas localidades y edificios en los que sea previsible la presencia de condensaciones habrá de ser considerado el valor de la RDA como mayorador del riesgo de pudrición.

Con los datos climáticos contenidos en la Tabla 3.3, correspondientes a las capitales de provincias españolas, así como con los que se puedan calcular para cualquier otra localidad en función de sus registros climáticos medios durante un periodo de tiempo no inferior a 10 años, se calculan los índices de exposición básica de acuerdo con el sistema de puntuación siguiente:

- **Por el valor de la media anual de la humedad de equilibrio de la madera (CHMED)**
  - ≤12%: 1 punto
  - 12%<CHMED≤18%: 2 puntos
  - >18%: 3 puntos
- **Por cada mes en el que la media mensual de la humedad de equilibrio de la madera (CHMES) se sitúe en el intervalo:**
  - <10%: restar 0,15 puntos[18]
  - >18%: sumar 0,30 puntos
- **Valor del índice (I_{s0}):** Suma de los anteriores

Según lo arriba señalado, el índice de exposición climática de los elementos de madera ubicados en capitales de provincia, o en lugares de clima asimilable, se tomará de la Tabla 3.3. En aquellas localidades donde no sea conveniente emplear los valores tabulados (por ejemplo por presencia de condiciones climáticas especiales) se emplearán los datos climáticos locales (media de un periodo no inferior a 10 años) aplicando los principios de cálculo anteriormente señalados (considerando MCMAX, CHMIN, CHMED y distribución anual de CHMES).

Tabla 3.3

Valores del índice de exposición básica y del Riesgo de Deformación y Agrietamiento de la madera (RDA) ubicada en exposiciones de interior en edificios carentes de envolvente

Capitales de provincia

Capital	Cálculo de la humedad de la madera y de su variación anual						Nº de meses		Índice de exposición básica	RDA
	Max. Anual		Mínima Anual		Media Anual		Media mensual de la humedad de la madera			
	T-HR ºC-%	CHMAX (%)	T-HR ºC-%	CHMIN (%)	T-HR ºC-%	CHMED (%)	CHMES≤10%	CHMES≥18%	I_{S0}	CHMAX-CHMIN (%)
A CORUÑA	15,0- 75	14,7	12,4- 72	14,0	14,8- 75	14,7	0	0	**2,0**	**0,7**
ALBACETE	6,0- 80	16,4	25,0- 44	8,1	14,3- 63	11,9	3	0	**0,6**	**8,3**
ALICANTE	15,4- 64	12,1	15,9- 57	10,7	18,2- 61	11,4	0	0	**1,0**	**1,4**
ALMERÍA	20,4- 68	12,8	26,1- 60	10,9	19,1- 65	12,1	0	0	**2,0**	**1,9**
ÁVILA	4,0- 79	16,1	20,6- 43	8,1	11,0- 63	12,0	3	0	**0,6**	**8,0**
BADAJOZ	9,7- 82	16,9	26,1- 48	8,7	17,1- 64	12,0	2	0	**1,7**	**8,2**
BARCELONA	17,8- 73	14,0	23,9- 67	12,4	16,1- 69	13,1	0	0	**2,0**	**1,7**
BILBAO	12,4- 73	14,2	11,5- 68	13,1	14,7- 70	13,4	0	0	**2,0**	**1,2**
BURGOS	3,1- 85	18,2	19,5- 57	10,5	10,7- 71	13,8	0	0	**2,0**	**7,6**
CÁCERES	8,7- 80	16,3	26,2- 37	6,9	16,3- 60	11,2	4	0	**0,4**	**9,4**
CÁDIZ	12,7- 75	14,7	24,6- 68	12,6	18,6- 73	14,0	0	0	**2,0**	**2,2**

[18] La presencia de condiciones higrotérmicas que generan humedades de equilibrio en la madera inferiores al 10% son secantes y las que generan humedades de equilibrio superiores al 18% son humectantes. En general, para un mismo gradiente de humedad, el secado de la madera conlleva el triple de tiempo que su humectación. Las condiciones secantes reducen, o impiden, los riesgos de proliferación de hongos y las humectantes los agravan, salvo que se den concomitantemente con temperaturas inferiores a 2ºC, que inhiben el desarrollo de los hongos.

Capital	Cálculo de la humedad de la madera y de su variación anual						Nº de meses		Índice de exposición básica	RDA
	Max. Anual		Mínima Anual		Media Anual		Media mensual de la humedad de la madera			
	T-HR ºC-%	CHMAX (%)	T-HR ºC-%	CHMIN (%)	T-HR ºC-%	CHMED (%)	CHMES≤10%	CHMES≥18%	I_{s0}	CHMAX-CHMIN (%)
CASTELLÓN	19,0- 69	13,0	22,5- 63	11,6	17,5- 66	12,4	0	0	**2,0**	**1,4**
CIUDAD REAL	6,9- 81	16,7	26,7- 40	7,4	15,6- 61	11,4	3	0	**0,6**	**9,3**
CÓRDOBA	10,4- 79	15,9	28,0- 41	7,5	18,2- 60	11,2	4	0	**0,4**	**8,5**
CUENCA	5,4- 76	15,2	23,6- 41	7,7	13,1- 60	11,3	3	0	**0,6**	**7,5**
GIRONA	7,8- 76	15,1	23,6- 59	10,8	14,7- 71	13,7	0	0	**2,0**	**4,4**
GRANADA	7,6- 76	15,1	25,3- 38	7,1	15,4- 58	10,9	4	0	**0,4**	**8,0**
GUADALAJARA	6,0- 83	17,4	24,0- 44	8,1	14,0- 64	12,1	2	0	**1,7**	**9,2**
HUELVA	12,3- 78	15,6	25,8- 51	9,2	18,2- 66	12,4	2	0	**1,7**	**6,4**
HUESCA	5,5- 81	16,7	19,8- 57	10,5	14,0- 63	11,9	3	0	**0,6**	**6,2**
JAÉN	9,5- 72	14,1	27,6- 40	7,3	17,0- 67	12,7	2	0	**1,7**	**6,7**
LAS PALMAS	23,1- 69	12,9	19,4- 64	11,9	21,1- 66	12,3	0	0	**2,0**	**0,9**
LEÓN	4,2- 83	17,4	19,8- 52	9,6	11,1- 67	12,8	0	0	**2,0**	**7,8**
LOGROÑO	6,0- 80	16,4	22,0- 60	11,0	13,0- 70	13,5	0	0	**2,0**	**5,3**
LUGO	8,9- 85	18,1	18,5- 72	13,8	12,0- 77	15,3	0	1	**2,3**	**4,3**
LLEIDA	5,7- 84	17,7	25,2- 52	9,4	15,0- 66	12,5	2	0	**1,7**	**8,3**
MADRID	6,2- 76	15,2	25,2- 35	6,7	14,5- 57	10,7	4	0	**0,4**	**8,5**
MÁLAGA	13,2- 72	13,9	25,5- 58	10,5	18,5- 65	12,2	0	0	**2,0**	**3,5**
MURCIA	11,5- 68	13,1	24,2- 49	8,9	18,6- 58	10,8	3	0	**0,6**	**4,1**
OURENSE	8,5- 84	17,7	22,5- 59	10,8	14,9- 70	13,4	0	0	**2,0**	**6,9**
OVIEDO	19,1- 80	16,0	10,5- 74	14,5	13,3- 78	15,6	0	0	**2,0**	**1,4**
PALENCIA	4,0- 82	17,0	21- 52	9,6	12,0- 67	12,8	1	0	**1,9**	**7,5**
PALMA DE M.	9,5- 79	16,0	24,8- 62	11,3	16,5- 72	13,8	0	0	**2,0**	**4,7**
PAMPLONA	5,2- 78	15,8	18,2- 62	11,6	12,9- 67	12,8	0	0	**2,0**	**4,2**
PONTEVEDRA	12,1- 78	15,6	20,4- 67	12,5	14,8- 72	13,9	0	0	**2,0**	**3,1**
S. SEBASTIÁN	19,5- 83	17,0	10,3- 74	14,5	13,5- 78	15,6	0	0	**2,0**	**2,4**
S.C.TENERIFE	19,4- 66	12,3	25,0- 58	10,5	21,5- 63	11,6	0	0	**1,0**	**1,8**
SALAMANCA	4,9- 83	17,4	21,5- 47	8,7	12,2- 65	12,4	2	1	**2,0**	**8,7**
SANTANDER	18,6- 76	14,8	11,3- 71	13,8	14,5- 74	14,4	0	0	**2,0**	**1,1**
SEGOVIA	5,1- 75	14,9	22,2- 39	7,4	12,4- 59	11,2	2	0	**0,7**	**7,5**
SEVILLA	11,9- 74	14,5	28,2- 44	8,0	19,2- 59	10,9	4	0	**0,4**	**6,5**
SORIA	4,0- 78	15,8	20,5- 50	9,3	11,0- 65	12,4	1	0	**1,9**	**6,5**
TARRAGONA	17,5- 73	14,1	24,2- 63	11,5	16,1- 68	12,9	0	0	**2,0**	**2,5**
TERUEL	4,2- 78	15,8	2,2- 52	10,1	12,2- 65	12,4	1	0	**1,9**	**5,6**
TOLEDO	7,1- 79	16,0	26,8- 39	7,2	15,8- 59	11,1	4	0	**0,4**	**8,8**
VALENCIA	26,1- 68	12,5	16,2- 62	11,6	18,3- 65	12,2	0	0	**2,0**	**0,9**
VALLADOLID	4,1- 87	19,0	20,6- 48	8,9	11,5- 68	13,1	2	0	**1,7**	**10,1**
VITORIA	5,0- 87	19,0	19,2- 70	13,3	11,7- 75	14,8	0	0	**2,0**	**5,7**
ZAMORA	4,6- 82	17,0	22,7- 47	8,7	13,1- 64	12,1	2	0	**1,7**	**8,4**
ZARAGOZA	7,0- 76	15,2	25,3- 47	8,6	15,5- 61	11,5	3	0	**0,6**	**6,6**
								Valor máximo	**2,3**	**10,1**
								Valor mínimo	**0,4**	**0,7**

(*) CHMED: Contenido de humedad de la madera medio anual
CHMAX: Contenido de humedad de la madera máximo anual
CHMIN: Contenido de humedad de la madera mínimo anual
CHMES: Contenido de humedad de la madera medio mensual
RDA: Riesgo de deformación y agrietamiento

El empleo de los índices de exposición de la Tabla 3.3 queda circunscrito a aquellas situaciones en las que los elementos de madera se encuentren ubicados en espacios cubiertos pero abiertos o que estando cerrados estén sometidos a la acción de la temperatura y humedad relativa exteriores (Ej. Locales acristalados y no acondicionados, buhardillas y locales no acondicionados pero altamente ventilados).

El empleo de estos índices de exposición sólo será posible en situaciones en las que se pueda excluir totalmente la presencia de agua líquida, bien procedente de lluvia o de condensaciones superficiales.

3.A.1.3. Exposición exterior

Se usarán los índices de exposición básica (I_{s0}) contenidos en la Tabla 3.4 para las capitales de provincia o los calculados para cualquier otra localidad, de acuerdo con el siguiente método, que toma en consideración los registros climáticos de dicha localidad.

Tabla 3.4

Valores del índice de exposición básica de la madera ubicada al exterior sin protección frente a la lluvia. Capitales de provincia e Islas Canarias*

Capital	Valor del índice Scheffer modificado	Índice de exposición básica I_{s0}
A Coruña	113	3,7
Albacete	34	3,0
Alicante	29	3,0
Almería	17	3,0
Arrecife (Lanzarote)*	6	3,0
Ávila	48	3,3
Badajoz	56	3,3
Barcelona	18	3,0
Bilbao	131	3,7
Burgos	70	3,3
Cáceres	65	3,3
Cádiz	39	3,3
Castellón	70	3,3
Ciudad Real	51	3,3
Córdoba	35	3,0
Cuenca	62	3,3
Girona	35	3,0
Granada	48	3,3
Guadalajara	57	3,3
Huelva	62	3,3
Huesca	38	3,3
Jaén	30	3,0
Las Palmas de Gran Canaria*	22	3,0
León	72	3,5
Logroño	54	3,3
Lugo	109	3,7
Lleida	64	3,3
Madrid	42	3,3
Málaga	46	3,3
Murcia	40	3,3
Ourense	105	3,7
Oviedo	126	3,7
Palencia	74	3,5
Palma de Mallorca	41	3,3
Pamplona	94	3,5
Pontevedra	87	3,5
Puerto del Rosario (Fuerteventura)*	2	3,0
Salamanca	33	3,0
San Sebastián	123	3,7
Santander	122	3,7
S.C. de Tenerife*	24	3,0
S.C. de la Palma*	41	3,3
San Sebastián de la Gomera*	2	3,0
Segovia	39	3,3
Sevilla	38	3,3

Capital	Valor del índice Scheffer modificado	Índice de exposición básica I_{s0}
Soria	68	3,3
Tarragona	44	3,3
Teruel	52	3,3
Toledo	40	3,3
Valencia	62	3,3
Valladolid	61	3,3
Vitoria	76	3,5
Zamora	46	3,3
Zaragoza	33	3,0
Valor máximo	**131**	**3,7**
Valor mínimo	**2**	**3,0**

Los índices de exposición contenidos en la Tabla 3.4 han sido calculados a partir de los datos climáticos publicados por AEMET para el periodo 1971-2000.
El índice de Scheffer (Scheffer, 1971) se publicó en EE.UU en el año 1971 con el objetivo de comparar el riesgo de pudrición de un elemento de madera expuesto al exterior (no en contacto con el suelo), en función de su exposición geográfica.

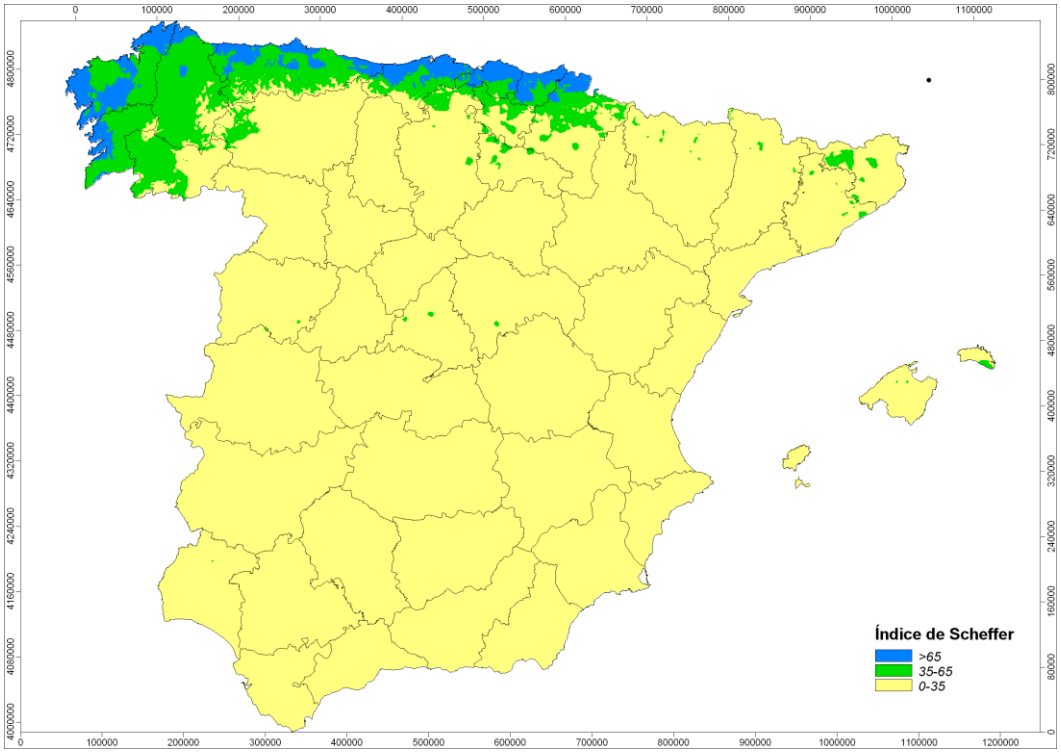


Figura 3.1. Distribución del valor del índice Scheffer original en las Península y Baleares[16]

El índice Scheffer ha sido utilizado en este trabajo pero modificado respecto al original, al incorporar la presencia de condensaciones, lo que en algunos lugares puede llegar a ser de gran importancia. Por disponibilidad de datos meteorológicos, para el cálculo de los índices de la Tabla 3.4 se ha empleado en cada localidad el número de días mensuales con precipitación igual o superior a 0,2 mm en vez de los 0,25 mm empleados por Scheffer en el cálculo de su índice. Por estar del lado de la seguridad esta simplificación se considera

aceptable. El cálculo de los valores del índice Scheffer, por localidades, de la Tabla 3.4 se realizó mediante la ecuación[19] [2]:

$$Índice_Scheffer_{\mathrm{mod}} = \sum_{Enero}^{Dic} \frac{(T-2)\ ((D+0{,}6*C)-3)}{16.7} \quad [2]$$

donde:

D: Número medio de días/mes con precipitación superior o igual a 0,2 mm

C: Número medio de días/mes en los que se observa condensación superficial

T: temperatura media mensual

El coeficiente 0,6 que multiplica el valor del número de días en los que se observa presencia de condensación en cada localidad ha sido obtenido de forma empírica[19], pudiendo variar en un futuro en función de la práctica observada.

Para determinar el valor del índice Scheffer anual primero se habrá de calcular el valor del índice de cada mes y, posteriormente, se habrán de sumar los valores mensuales pero considerando que ningún valor mensual puede ser inferior a cero (es decir, los valores mensuales inferiores a 0 serán tomados como 0).

Conocido el valor del índice Scheffer de cada localidad, la asignación del índice de exposición básica (I_{s0}) se hará mediante el criterio contenido en la Tabla 3.5 adjunta:

Tabla 3.5

Criterio de conversión del valor del índice Scheffer en valor del índice de exposición básica (I_{s0})

Valor calculado del índice Scheffer modificado	Calificación de la estación	Índice de exposición básica I_{s0}
***IS*≤35**	**Seca**	**3,0**
***35< IS*≤70**	**Húmeda**	**3,3**
***70< IS*≤100**	**Muy húmeda**	**3,5**
IS>100	**Extremadamente húmeda**	**3,7**

3.A.2. Factor de severidad climática (k_{s1})

En el caso de elementos de madera ubicados al exterior de los edificios y sometidos a la acción directa del clima (sin protección suficiente ante la acción de la lluvia), el valor del índice de exposición básica (I_{s0}) de la Tabla 3.5 deberá ser mayorado o minorado en función de la severidad de la exposición local a la humedad (mesoclima), valorada de acuerdo con los criterios resumidos en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6

Valores del factor de severidad climática en función de las condiciones mesoclimáticas a las que queda sometido el elemento de madera

Severidad climática	Descripción	Factor (k_{s1})
Baja	Las condiciones mesoclimáticas tienen poco impacto sobre el comportamiento de los elementos de madera ya que todas las variables de entorno son protectoras: ▪ Existe protección frente a vientos dominantes de lluvia por presencia de accidentes geográficos, edificaciones colindantes ▪ Existe larga distancia (>5 km) a grandes fuentes de humedad (grandes ríos, lagos o mar)	0,8
Media	Las condiciones mesoclimáticas tienen un impacto moderado sobre el comportamiento de los elementos de madera ya que se da al menos **una** de las dos siguientes situaciones: ▪ Existe marcada exposición a vientos dominantes de lluvia por estar la edificación aislada fuera de entorno urbano o carecer de protección por presencia de accidentes del terreno, y/o ▪ Existe una distancia media (3 a 5 km) a grandes fuentes de humedad (grandes ríos, lagos o mar)	1,0
Elevada	Las condiciones mesoclimáticas tienen un impacto elevado sobre el comportamiento de los elementos de madera ya que concurren al menos **dos** de las cuatro situaciones siguientes:	1,1

[19] Fernandez-Golfin *et al.* (2016).

	▪ Existe exposición a vientos dominantes de lluvia por estar la edificación aislada fuera del entorno urbano y sin protección por accidentes del terreno, y/o ▪ La edificación se encuentra situada en el fondo de valles angostos con limitación en el número de horas de soleamiento, y/o ▪ Existe proximidad (1 a 3 km) a grandes fuentes de humedad (grandes ríos, lagos o mar), y/o ▪ Existe en la localidad presencia de nieblas persistentes durante 30 a 60 días/año.	
Severa	Las condiciones mesoclimáticas tienen impacto severo sobre el comportamiento de los elementos de madera, ya que concurren al menos **tres** de las cinco siguientes situaciones: ▪ Existe exposición a vientos dominantes de lluvia por estar la edificación aislada fuera del entorno urbano y sin protección por accidentes del terreno, y/o ▪ La edificación se encuentra situada en el fondo de valles angostos, por el que discurre una corriente de agua y en el que existe una limitación en el número de horas de soleamiento, y/o ▪ Existen en la proximidad accidentes topográficos y/o de situaciones que generan un microclima especialmente húmedo, y/o ▪ Existe cercanía a grandes fuentes de humedad (mar)n inferior a 1 km , y/o ▪ Existe en la localidad presencia de nieblas persistentes durante más de 60 días/año	**1,2**

Cuando las distintas fachadas de la envolvente exterior de las edificaciones estén sometidas a distintos niveles de severidad climática (normalmente por su diferente exposición a vientos dominantes de lluvia), el proyectista podrá optar por adoptar la exposición más desfavorable para el conjunto de las cuatro orientaciones, o bien efectuar un análisis independiente de cada una de ellas.

En el caso de los elementos de madera situados en el interior de espacios carentes de envolvente térmica y sistemas de climatización interior (Ej. Buhardillas), los datos climáticos de la Tabla 3.3 permiten caracterizar suficientemente su exposición básica. Otro tanto puede afirmarse de los elementos situados en el interior de edificios dotados de envolvente térmica y sistemas de climatización (que impidan que la humedad relativa exceda del 80%), en cuyo caso las pautas de valoración contempladas en la Tabla 3.1 permiten caracterizar suficientemente la exposición básica. Por dichos motivos en ambas aplicaciones, con carácter general, se empleará el valor de k_{s1}=1.

Con carácter general puede decirse que en las mesetas del interior de la Península y en la parte interior de Galicia los vientos dominantes de lluvia proceden del suroeste. Por el contrario, en la zona levantina estos vientos proceden del noreste y en la costa cantábrica del oeste o noroeste. La presencia de montañas, valles o accidentes del terreno dignos de mención inducen cambios en la dirección de los vientos dominantes de lluvia que será preciso comprobar mediante información local.

3.B. VARIABLES ASOCIADAS AL DISEÑO

Una vez valorado el efecto del clima local, de acuerdo con las pautas contempladas en el apartado 3.A anterior, es necesario contemplar el efecto modificador del riesgo por las variables inherentes al diseño constructivo adoptado.

En este apartado se valoran las decisiones de diseño que tienen incidencia en el "*clima del material*" y que afectan exclusivamente a los elementos situados al exterior

En la práctica la valoración de las distintas variables de diseño con incidencia en el riesgo de degradación del material se lleva a cabo mediante la determinación de una serie de factores k_s que mayoran o minoran la valoración del clima local efectuada en el apartado 3.A anterior.

Las variables del diseño que se considera que tienen efecto significativo sobre la degradación del material son las siguientes:

- Geometría del elemento (k_{s2});

- Aleros y cornisas, (k_{s3});
- Distancia al suelo, (k_{s4});
- Diseño constructivo,: capacidad de retención de agua y facilidad de secado del elemento (k_{s5});
- Riesgos especiales (k_{s6}).

3.B.1. Geometría del elemento (k_{s2})

Este factor sólo se considera en el análisis de los elementos ubicados al exterior sin protección ante el agua de lluvia.

En función de su posición relativa (horizontal, vertical, inclinado) y de la severidad de la exposición, el "*tiempo de mojado*" de un elemento de madera puede verse notablemente incrementado si, por ejemplo, el elemento estuviera dispuesto horizontalmente y presentase fuerte atejado o altos niveles de fendado.

En la madera aserrada el mejor indicador de este riesgo es la relación entre el espesor y la anchura de la pieza, de forma que las piezas:

- De reducido espesor y elevada anchura (también extrapolable al caso de los tableros de madera, aunque en menor medida por su mayor estabilidad transversal) serán propensas al atejado y, por tanto, al almacenamiento de agua en su superficie especialmente si el elemento está dispuesto horizontalmente (Ej. tablas de pavimento).
- De elevado espesor, especialmente si la anchura toma valores próximos al espesor (sección cuadrada), que serán más propensas a presentar grandes fendas y, por tanto, al almacenamiento de agua en el interior de las piezas si la disposición del elemento es favorable.

Como vemos, este riesgo habrá de ser valorado de forma distinta en función de la posición relativa (horizontal, vertical, inclinado) y de las dimensiones, aunque también se tendrán en cuenta el tipo de material (madera maciza, laminada, etc); de manera que su efecto será muy inferior en el caso de elementos verticales y de fácil drenaje (inexistencia de elementos auxiliares o uniones transversales que puedan frenar el flujo de agua) y acusado en los elementos dispuestos horizontalmente.

Los productos de madera encolada (madera laminada, madera maciza encolada con empalmes longitudinales) fabricados a partir de madera secada industrialmente hasta una humedad inferior al 12%[20] presentan mejores comportamientos en lo que hace referencia a la intensidad de los procesos de hinchazón y merma, que son los precursores de la aparición de las deformaciones por atejado y de las fendas. La cuantía y dimensiones de las deformaciones y fendas en los productos así conformados es mucho menor que en los productos de madera maciza (madera aserrada y madera estructural con empalmes por unión dentada), lo que disminuye la posibilidad de embalsamiento de agua y el tiempo de mojado.

Para facilitar la toma en consideración de esta variable se considerarán las especificaciones y factores considerados en la Tabla 3.7, que tienen un carácter general e informativo.

Tabla 3.7
Valores del factor por geometría del elemento

Elemento	Clasificación en función del espesor (e) en mm		
	Pequeño	Medio	Grande
Madera maciza o con empalmes de testa	e≤28	28<e≤75	e>75

[20] La madera seca industrialmente en secadero hasta valores de humedad reducidos (<10%), sobre todo si lo es a altas temperaturas, presenta una mayor estabilidad dimensional que la madera seca al aire, lo que reduce la cuantía de las fendas y atejado en servicio.

Madera laminada y Madera Maciza encolada (dúos, tríos), con espesor de lámina >35 mm	-	70<e≤150	e>150
Madera laminada con espesor de lámina ≤ 35 mm	e≤28	28<e≤210	e>210
	Coeficiente (k_{s2}) *		
Valoración	0,9	1,0	1,1
(*) Queda excluida la aplicación de este coeficiente a los tableros, cualquiera que sea su naturaleza (LVL, contrachapados, madera maciza, partículas, fibras), ya que se supone que se ha elegido la clase técnica de tablero adecuada para la aplicación final por lo que la incidencia de los efectos de la exposición es menor.			

3.B.2. Aleros y cornisas (k_{s3})

Este factor sólo se considerará en el análisis de los elementos ubicados al exterior protegidos del agua de lluvia mediante aleros y cornisas.

Para que su presencia pueda ser tomada en consideración en términos de protección de los elementos de madera al exterior, deben darse las condiciones de diseño establecidas tanto en el DB-HS como en el DB-SE-M del Código Técnico de la Edificación.

La valoración del efecto protector de estos elementos constructivos se efectuará mediante un coeficiente k_{s3}, que se obtendrá de la Tabla 3.8 considerando como variables de entrada la distancia medida en vertical desde la parte inferior del elemento de madera a analizar (por ejemplo una ventana, un revestimiento exterior de fachada, etc.) respecto al borde inferior del alero o cornisa (h_a), el vuelo del alero/cornisa (D) y el grado de exposición a los vientos dominantes de lluvia, de acuerdo con el esquema de la Fig. 3.2.

La valoración de una fachada al completo deberá ser efectuada (salvo que pueda ser descompuesta en tramos) de forma conservadora, considerando la exposición más desfavorable.

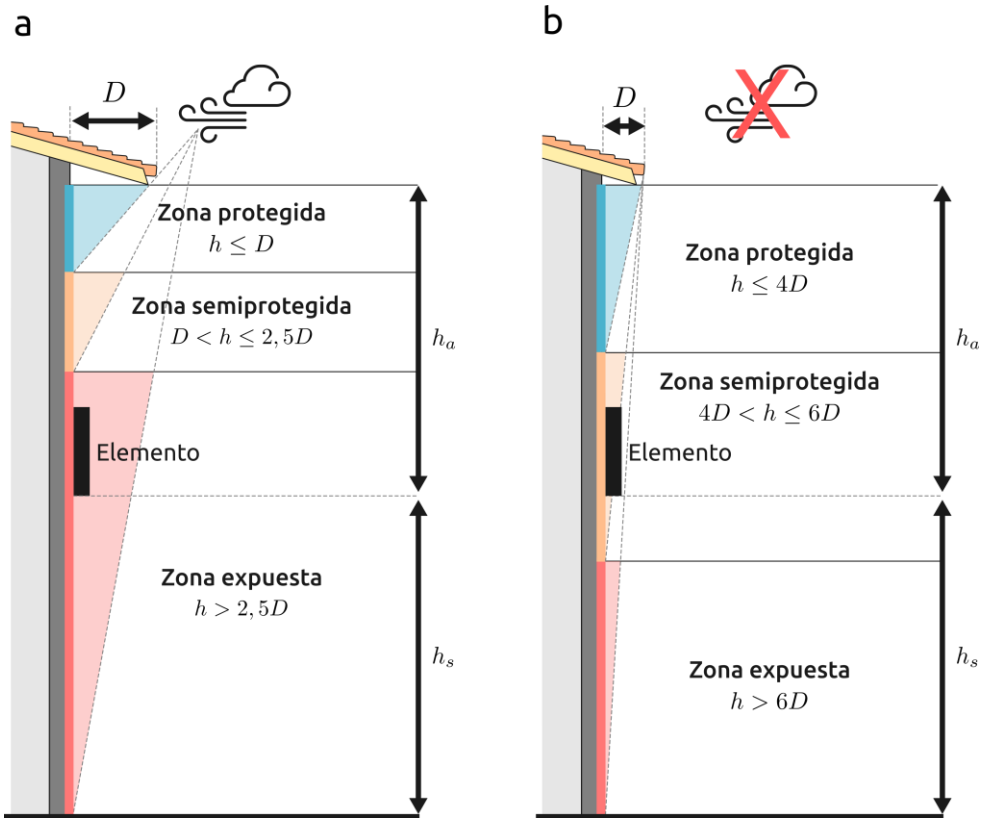


Figura 3.2. Protección por aleros y cornisas (h_a) y separación del suelo (h_s) a. Fachada expuesta a viento dominante de lluvia b. Fachada no expuesta

Tabla 3.8
Valores del factor de protección por aleros y cornisas

Descripción		Factor alero (k_{s3})
Fachada expuesta a vientos dominantes de lluvia	**Fachada NO expuesta a vientos dominantes de lluvia**	
$h_a \leq D$	**$h_a \leq 4D$**	0,7
$D < h_a < 2,5D$	**$4D < h_a < 6D$**	0,85
$h_a > 2,5D$	**$h_a > 6D$**	1,0

3.B.3. Distancia al suelo (k_{s4})

Este factor será tenido en cuenta en el análisis de los elementos ubicados al exterior sin protección ante el agua de lluvia.

La valoración del efecto protector que supone la separación del suelo y, por tanto, la evitación del humedecimiento tanto por salpicado como por capilaridad, se efectuará mediante el empleo de un coeficiente k_{s4}, que se obtendrá de la Tabla 3.9 considerando como variable de entrada la distancia del borde inferior del elemento de madera a analizar (por ejemplo, un pilar, un muro, una puerta exterior, un revestimiento de fachada) respecto del suelo (h_s), de acuerdo con la Fig. 3.2.

Tabla 3.9
Valores del factor de protección por separación al suelo

Condición	Factor suelo (k_{s4})
$h_s \geq 300$ mm	1,0
$100 < h_s \leq 300$ mm	1,5
$h_s < 100$ mm	2,0

Una inspección de la huella de la lluvia presente en los muros, pilares, puertas, etc, de las edificaciones de una zona geográfica concreta permite valorar adecuadamente la distancia de mayor seguridad al suelo a adoptar en dicha zona. De acuerdo con las más recientes recomendaciones Europeas, en la Tabla 3.9 ha sido establecida de forma muy conservadora una distancia mínima de 300 mm para evitar penalizaciones, aunque esta distancia mínima queda establecida en el DB-SE-M del Código Técnico en 200 mm. En edificación en ningún caso se dejarán elementos de madera en contacto directo con el suelo o con un soporte desfavorable (por ejemplo, muro y solera húmedos) sin adoptar medidas de protección por diseño (instalación de barreras de capilaridad) y/o por tratamiento químico.

3.B.4. Diseño constructivo en elementos ubicados al exterior (k_{s5})

Este factor será exclusivamente tenido en cuenta en el análisis de los elementos ubicados al exterior sin protección ante el agua de lluvia.

La durabilidad de los elementos de madera ubicados al exterior, especialmente de las fachadas y carpinterías (puertas y ventanas) depende, en gran medida, de su diseño y de las operaciones de mantenimiento de los sistemas de protección y/o acabado.

El efecto del diseño se tiene en cuenta evaluando su capacidad para retener o dejar fluir y secar rápidamente el agua de lluvia.

Para garantizar la seguridad y salubridad de las construcciones con madera es necesario considerar la acción del agua, bajo todas sus formas. De acuerdo con esto, la geometría de

las uniones y encuentros debe ser proyectada de forma que el agua, incluso bajo la acción del viento, no pueda infiltrarse en su interior o que si se infiltrase saliera al exterior con rapidez permitiendo también un rápido secado.

El diseño, por tanto, debe ser eficaz frente al agua de lluvia, la nieve, los ascensos por capilaridad o la presencia de condensaciones superficiales (y/o rocío) o internas. El diseño también debe permitir el rápido secado de los elementos de madera humidificados.

La valoración se llevará a cabo mediante la aplicación de un coeficiente k_{s5}, que se obtendrá de la Tabla 3.10 tomando en consideración la función que desempeñan, la posición espacial que ocupan, las características de los encuentros con otros elementos así como la mayor o menor exposición al clima circundante.

En esta valoración también se tiene en cuenta la existencia de elementos de protección tipo barrera (albardillas, piezas de sacrificio, etc.), aunque para que su presencia pueda ser tomada en consideración en términos de protección de los elementos de madera al exterior deben darse las condiciones de diseño establecidas al respecto en el DB-SE-M.

Tabla 3.10

Valoración del factor de diseño k_{s5}, exposición al exterior

Nivel de protección	Descripción general	Elementos estructurales		Elementos de carpintería Suelos, terrazas, bancos, escaleras**		Elementos de carpintería Fachadas	
		Detalles (Fig. 3.3)	k_{s5}	**Detalles** (Fig. 3.4)	k_{s5}	**Detalles** (Fig. 3.5)	k_{s5}
Excelente	Diseño con detalles que maximizan la protección frente al agua, evitan acumulaciones de agua y permiten el rápido secado (ventilación en cuatro caras)	Elementos verticales o con inclinación respecto de la horizontal superior a 45º así como elementos horizontales provistos de albardillas. Los elementos se encuentran aislados y no tienen ni uniones ni restricciones para la evacuación del agua. Elementos de forjado que vuelan al exterior con sus testas al abrigo o protegidas por diseño que impide el almacenamiento de agua.	0,9	**Elementos verticales** o dispuestos con un ángulo superior a 45º: a. Separados del suelo más de 300 mm b. Testas protegidas, al abrigo o con pieza de sacrificio/albardilla (A en Fig. 3.4)) c. Separadores con elementos horizontales (D en la Fig. 3.4).	0,9	Entablado con disposición vertical, contracara totalmente ventilada. Testas selladas y protegidas	0,8
Bueno	Diseño que evita acumulaciones de agua y permite el rápido secado por las caras expuestas	Típicamente elemento vertical u horizontal, de cualquier escuadría, con una reducida posibilidad de desarrollar fendas o alabeos en cara superior y que está protegido por pieza de sacrificio en cara superior y que forma parte de una estructura en la que las uniones expuestas entre elementos verticales y horizontales emplean separadores que permiten su drenaje y ventilación (Fig. 3.3.d).	1,0	**Elementos horizontales que no cumplen criterios "Excelente"** 1. Tablas de tarima (todas las condiciones a la vez): a. Dispuestas con pendiente mínima del piso del 4%. b. Aristas redondeadas, separadas 5-8 mm (B en la Fig. 3.4) c. Uniones de testa no apoyadas, separadas 3-6 mm (B). d. Separadores entre tablas y estructura de soporte (B-D). 2. Estructura de apoyo (todas las condiciones): a. Aristas superiores redondeadas (D) b. Separadores con elementos verticales (D-A) y horizontales (C) de la estructura o tarima (D-B). c. Testas protegidas (E-F)	1,0	Entablado con disposición vertical, contracara con cámara parcialmente ventilada. Testas ventiladas. No hay zonas de acumulación de agua.	0,9
Medio	Diseño que presenta un tiempo limitado de acumulación de agua (horas) con buena ventilación	Típicamente elemento vertical u horizontal, de cualquier escuadría, que no presenta fendas ni alabeos en cara superior y/o que está protegido por pieza de sacrificio en cara superior y que forma parte de una estructura en la que el diseño de las uniones expuestas entre elementos verticales y horizontales no emplea	1,2	**Elementos horizontales** 1. Tablas de tarima: Disposición similar a "Bueno" pero con: a. Uniones por testa sobre rastrel con junta de 3-6 mm. 2. Estructura de apoyo Disposición similar a "Bueno" pero:	1,2	Entablado con disposición horizontal, contracara con cámara parcialmente ventilada. Testas ventiladas. No hay zonas de acumulación de agua	1,1

		separadores pero permite drenaje (Fig. 3.3c).		a. Sin separadores entre elementos pero con pendiente mínima del 4% y aristas redondeadas. Fácil drenado. 3. Rastreles sobre solera a. Solera con pendiente mínima del 4%. b. Rastreles que se unen a solera con separadores.			
Bajo	Diseño con tiempo medio (semanas) de acumulación de agua y limitada capacidad de secado	Típicamente elemento vertical u horizontal, de cualquier escuadría, que sea susceptible de presentar fendas o alabeos en cara superior y que carezca de cualquier tipo de protección de barrera en su cara superior y que forma parte de una estructura en la que el diseño de las uniones expuestas entre elementos verticales y horizontales no fomenta el drenaje (Fig. 3.3b). También los elementos de entramado pesado que se apoyan directamente en muros expuestos al exterior en fachadas no sometidas a vientos dominantes de lluvia y que tienen diseños o características compositivas (ej. adobe, ladrillo de tejar, etc.), que no permiten garantizar su impermeabilidad.	1,4	**Elementos horizontales** 1. Tablas de tarima: Disposición similar a "Medio" pero con pendiente inferior a 4%. 2. Estructura de apoyo Disposición similar a "Medio" pero con uniones entre elementos que no aseguran rápido drenado 3. Rastreles sobre solera Disposición similar a "Medio" pero con rastreles que se unen a solera sin separadores	1,4	Entablado con disposición que permite acumulación de agua (ej. inclinado) y/o contracara con cámara no ventilada. Se admiten testas no ventiladas pero con sellado superficial	1,3
Muy bajo	Diseño con elevado tiempo de acumulación de agua (meses) y capacidad muy limitada de ventilación	Elemento (tirante, tornapuntas) que presenta uniones de testa a "cara tocante*" con posibilidad de embalsamiento de agua (Fig. 3.3a). También los elementos de entramado pesado que apoyan directamente en muros expuestos al exterior en fachadas sometidas a vientos dominantes de lluvia y que tienen diseños o materiales (ej. adobe, ladrillo de tejar, etc.), que no permiten garantizar su impermeabilidad.	1,6	**Elementos horizontales** 1. Tablas de tarima: Disposición similar a "Bajo" pero con tablas de piso sin separación transversal (< 3 mm) ni juntas de testa. 2. Estructura de apoyo Disposición similar a "Bajo" pero con uniones entre elementos que pueden embalsar agua. Riesgo de condensaciones varios meses al año. 3. Rastreles sobre solera Disposición similar a "Bajo" pero con rastreles que se unen a solera sin separadores y con pendiente inferior al 4%. En este nivel de protección "Muy bajo" se incluirán las tablas de gran anchura dispuestas al exterior en posición horizontal (por ejemplo en bancos y huellas de escaleras al exterior)	1,6	Entablado con disposición que permite acumulación de agua (ej. inclinado), compuesto con elementos de madera de espesor superior a 28 mm y/o contracara sin cámara de aire. Se admiten testas sin ventilación ni sellado	1,5
(*) En las uniones a *cara tocante* la cara de un elemento puede estar en contacto directo con la cara de otro elemento (Figs. 3.3 b y c) o con su testa (Fig. 3.3a) (**) El diseño habitualmente encontrado en los suelos puede ser considerado como "bajo" en términos de nivel de protección por retención de agua, lo que lleva a que los suelos al exterior sean asignados en muchos lugares a clase de uso 4. Se puede, sin embargo, mejorar esta asignación mediante el empleo de diseños que faciliten la evacuación de agua, pudiendo llegar a asignaciones de nivel de protección "Medio" y en casos muy especiales al nivel "Bueno".							
Nota: Con el objeto de conseguir una mejor comprensión de los detalles, en la tabla se indican una serie de figuras – ejemplos que se corresponden con las soluciones constructivas más habituales pero que pueden existir otras soluciones distintas a las aquí incluidas.							

La Fig. 3.3 recoge los detalles constructivos más habituales en uniones estructurales viga-pilar.

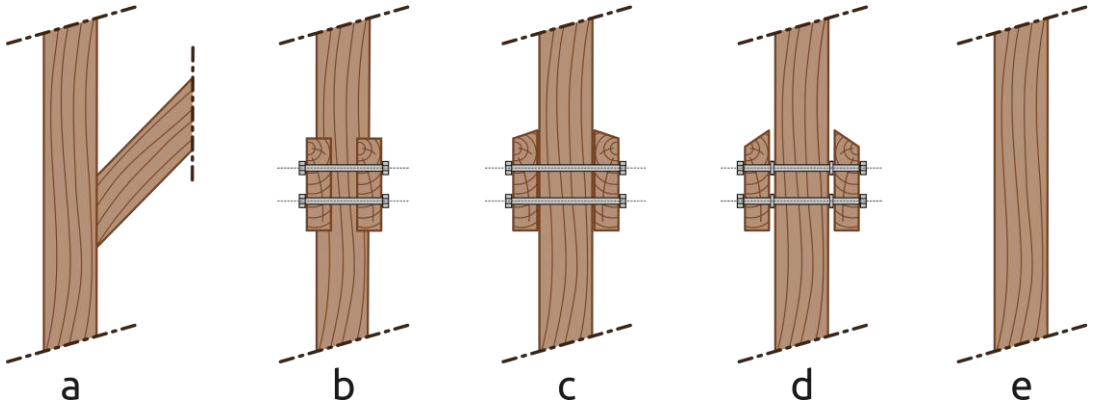


Figura 3.3. Detalles de tipos de uniones viga-pilar

Las Figs. 3.4 y 3.5 recogen los detalles constructivos más habituales en la construcción de suelos y terrazas al exterior (Fig. 3.4) así como en la de las fachadas al exterior (Fig. 3.5).

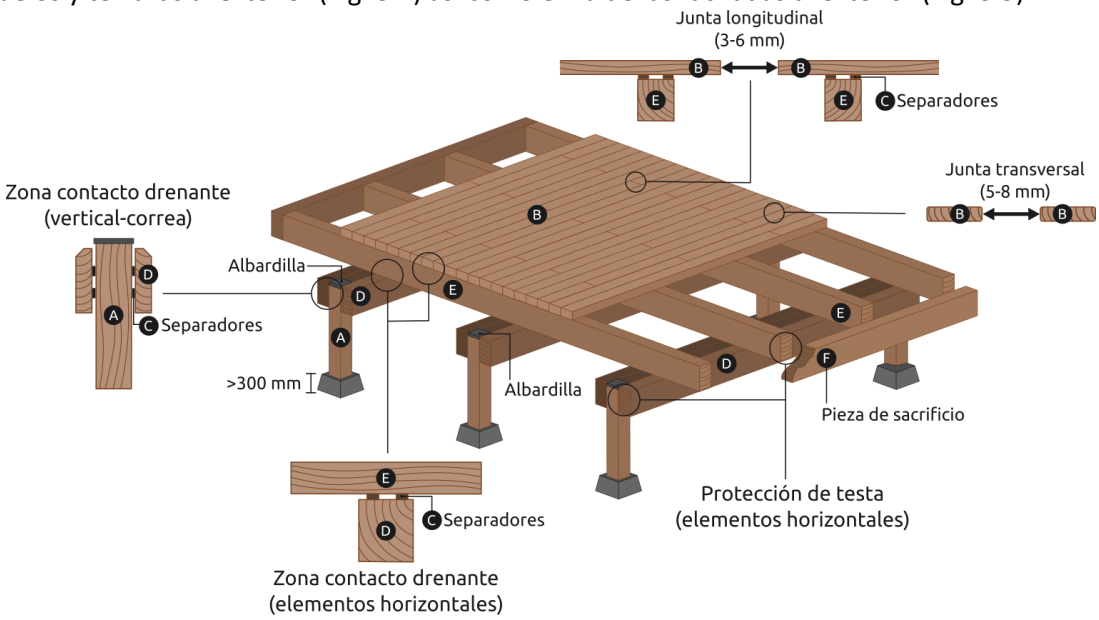


Figura 3.4. Detalles típicos en construcción de suelos al exterior (Timber Decking As. UK, citado en Thelandersson *et a*l.2011b, modificado por los autores)

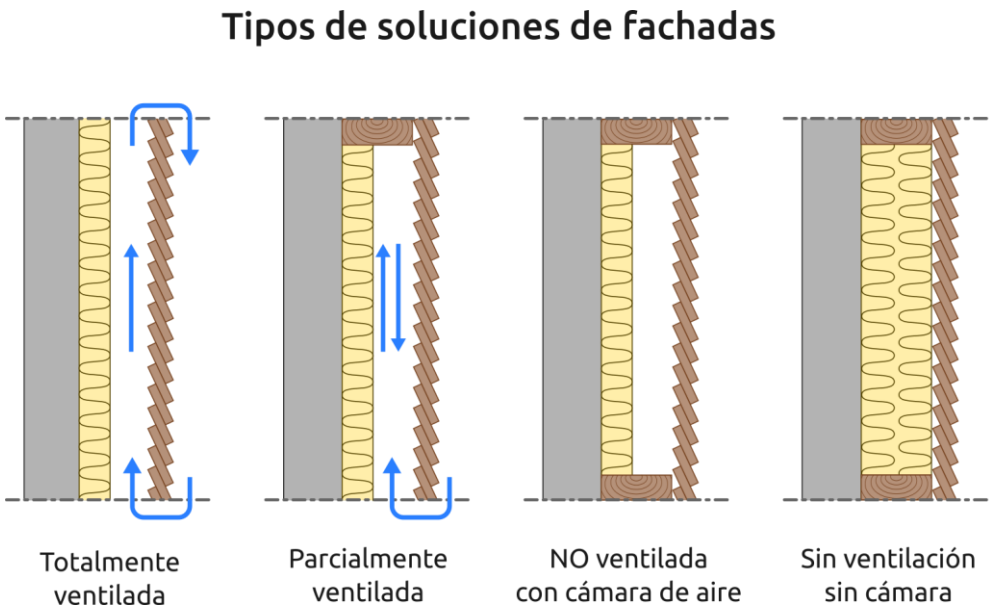


Figura 3.5. Detalles típicos en construcción de fachadas (Thelandersson *et a*l.2011[18])

Las distintas opciones de productos de acabado para madera de exterior están clasificadas en la norma UNE EN 927-1.
La protección aportada por los acabados decorativos de exterior no debe ser tenida en cuenta para modificar la clase de uso, ya que su papel esencial es mantener el aspecto del elemento de la madera frente a la intemperie.
Sin embargo, sí pueden contribuir a prolongar la vida de servicio de algunos elementos y, en particular, de los de pequeña sección.
Las labores de mantenimiento periódico son imprescindibles para mantener la eficacia del acabado de exterior, tanto desde el punto de vista de la estética de la madera como desde el de su protección superficial, siempre y cuando el acabado incorpore productos biocidas.

3.B.5. Riesgos especiales en proyectos de rehabilitación: encuentros y uniones en elementos estructurales dispuestos al interior de los edificios con condiciones especiales (k_{s6})

En este apartado se tendrán especialmente en cuenta ciertos riesgos inherentes a las obras de rehabilitación, así como para aquellos elementos de madera que se ubiquen en espacios interiores de las clases higrométricas 4 y 5 según UNE-EN ISO 13788.

Como norma general, en edificación habrá de evitarse el contacto directo de la madera con el suelo o con cualquier tipo de soporte con posibilidad de transmisión de humedades (por ejemplo, muro de fachada, muro próximo a conducciones de agua, soleras). Esta norma será de aplicación tanto a los elementos estructurales (vigas y pilares) como a las carpinterías (puertas y ventanas) y sus componentes (por ejemplo, precercos). En estos casos habrá de considerarse el empleo de barreras que eviten la capilaridad.

La valoración de estas situaciones especiales, cuando se produzcan, se llevará a cabo mediante la aplicación de un coeficiente k_{s6}, que se obtendrá de la Tabla 3.11 tomando en consideración la naturaleza y estado de los soportes.

Tabla 3.11

Valoración del efecto de encuentros y uniones en elementos de madera dispuestos al interior de los edificios con condiciones especiales (k_{s6})

Descripción	**Factor (k_{s6})**
Elementos estructurales ubicados al interior de locales con clasificación higrométrica 4 que se encuentran o entregan con obras de mampostería secas (Ejemplo vigas, pilares, etc.)	1,0
Elementos estructurales de gruesa escuadría ubicados al interior de locales con clasificación higrométrica 4, que presentan uniones no ventiladas sin posibilidad de embalsamiento de agua (uniones no ventiladas a cara tocante o de testa). Elementos estructurales de gruesa escuadría ubicados al interior de locales con clasificación higrométrica 5, que presentan uniones dotadas de separadores (uniones ventiladas).	1,2
Elementos estructurales de gruesa escuadría ubicados al interior de locales con clasificación higrométrica 4 que se entregan en muros de fachadas no expuestas a vientos dominantes de lluvia pero que tienen materiales (ej. adobe, ladrillo de tejar, etc.), que no permiten garantizar su impermeabilidad durante todo el año. También los elementos estructurales de gruesa escuadría ubicados al interior de locales con clasificación higrométrica 4 que presentan uniones de testa o a "cara tocante*" con posibilidad de embalsamiento de agua (Ej. tirante, tornapuntas).	1,4
Elementos estructurales de gruesa escuadría ubicados al interior de locales con clasificación higrométrica 5, que presentan uniones de testa o a "cara tocante*" con posibilidad de embalsamiento de agua (Ej. tirante, tornapuntas). Elementos de reducida escuadría ubicados al interior de locales de cualquier clase higrométrica que se encuentran con obras de mampostería que permanecen, total o parcialmente, húmedas varios meses al año (Ej. Precercos, elementos de suelos, perfiles de puertas y ventanas, etc.)	2,0
Elementos estructurales de gruesa escuadría que se entregan en o están en contacto directo con obras de mampostería que permanecen húmedas varios meses al año (Ejemplo vigas de forjado empotradas en muros húmedos, ménsulas, frisos, etc.), cualquiera que sea la clasificación higrométrica del local.	2,5

En rehabilitación habrá de valorarse adecuadamente la posible presencia de condensaciones (por ejemplo, en forjados que lindan con cámaras sanitarias o espacios bajo cubierta insuficientemente ventilados), de humedades de capilaridad en muros, así como la existencia de ataques previos por organismos xilófagos.

En las obras de rehabilitación en las que se hubieran detectado ataques previos por organismos xilófagos, se deberán incrementar los niveles de protección correspondientes a las clases de uso normales para garantizar las prestaciones de los nuevos elementos que se integren en la obra y que no posean una durabilidad natural adecuada[21] frente a los organismos xilófagos existentes.

Los tratamientos preventivos y curativos de la madera frente a los ataques de termitas subterráneas han de ser integrales, considerando no sólo el tratamiento de la propia madera sino, también, la ejecución de una serie de medidas sanitarias, tendentes a eliminar humedades de muros y suelos.

Dado que el nido principal de las termitas subterráneas se localiza en el suelo, los tratamientos de determinados elementos no garantizan nunca la eliminación de la colonia, que puede proseguir su actividad en las inmediaciones de los elementos tratados. Por ello, en el caso de un ataque de termitas subterráneas debe valorarse la conveniencia del empleo adicional de tratamientos de barrera (físicas y/o químicas), destinadas a proteger el conjunto del edificio, o de la aplicación de tratamientos mediante el sistema de cebos destinados a

[21] La norma UNE-EN 350 aporta la información sobre el grado de sensibilidad de cada madera a los diversos organismos xilófagos.

erradicar la colonia (Touza, 2013). En todo caso se atenderá a lo establecido en el DB-SE-M y en la norma UNE 56418[22].

CÁLCULO DE LA CLASE DE USO

Una vez conocidos los valores del índice de exposición básica y de los diversos factores correctores que sea necesario tomar en cuenta, se habrá de calcular el valor del índice de exposición característica (I_{sk}), de acuerdo con la expresión [3] siguiente:

$$I_{sk} = [I_{s0} * k_{s1}] * k_{s2} * k_{s3} * k_{s4} * k_{s5} * k_{s6} \quad [3]$$

donde:

I_{s0} Índice de exposición básica (Tablas 3.1, 3.3 o 3.4, según sea el tipo de exposición)

I_{sk} Índice de exposición característica

k_{s1} Factor de severidad climática (Tabla 3.6)

k_{s2} Factor por geometría del elemento (Tabla 3.7)

k_{s3} Factor por presencia de aleros y cornisas (Tabla 3.8)

k_{s4} Factor por distancia al suelo del elemento (Tabla 3.9)

k_{s5} Factor por diseño constructivo en elementos ubicados al exterior (Tabla 3.10)

k_{s6} Factor por presencia de riesgos especiales: encuentros y uniones en elementos estructurales dispuestos al interior de los edificios con condiciones especiales (Tabla 3.11)

Obtenido el valor del índice de exposición característica (I_{sk}), la asignación propuesta a clase de uso se especifica en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12

Criterios de asignación de clases de uso en función del valor calculado del índice de exposición característica

Asignación de clases de uso	
Índice de exposición característica (I_{sk})	**Clase de uso (UNE-EN 335)**
0-1,5	1
>1,5 hasta 2,5	2
>2,5 hasta 3,5	3.1
>3,5 hasta 4,5	3.2
>4,5	4*

(*) En el caso de medio marino sería CU5

Al final de todo el proceso de cálculo debe producirse una asignación que, en esencia, será coherente con el contenido de la Fig. 3.6.

[22] La norma UNE 56418 aporta un *Protocolo de actuación en cascos urbanos afectados por ataques de termitas subterráneas.*

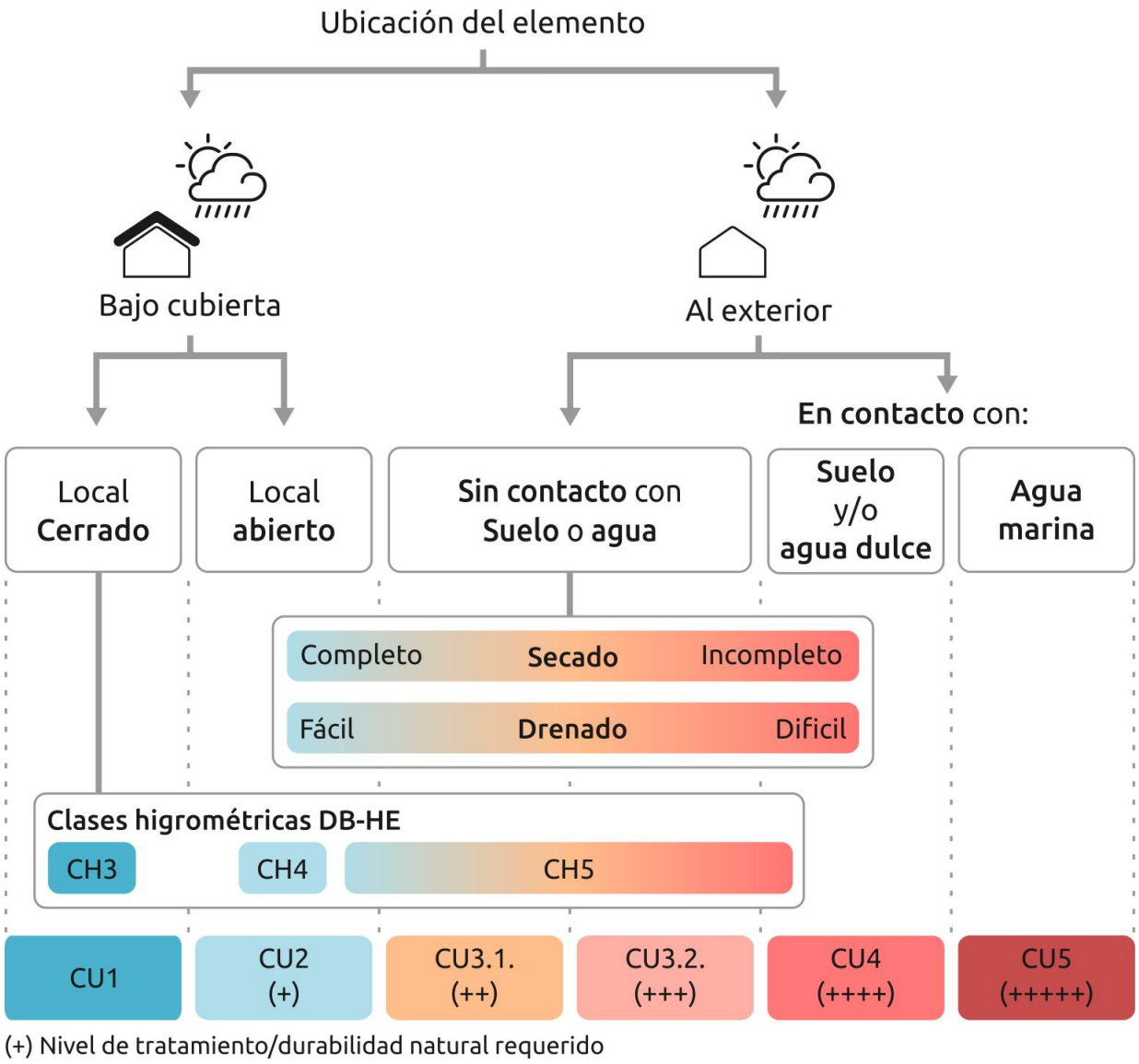


Figura 3.6. Esquema genérico de asignación de clases de uso

En el Anexo 1 se incluyen ejemplos de aplicación de la presente propuesta de asignación paramétrica de clases de uso.

4.- PRESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS POR CLASES DE SERVICIO Y USO

Como se puso de manifiesto anteriormente, la utilidad del concepto de clase de servicio va más allá del cálculo estructural y ha de ser también empleado para la correcta prescripción de las diversas *clases técnicas* de producto.

La normativa europea para cada tipo de producto de madera para la construcción establece diferentes clases técnicas de producto en función del tipo de encolado empleado, tomando para ello en consideración su mayor o menor resistencia a la degradación y reducción de propiedades por efecto de las condiciones ambientales implicadas en cada clase de servicio.

A los proyectistas y usuarios en general les resulta a veces difícil de entender que un producto que ha sido diseñado para trabajar en unas condiciones climáticas propias de una clase de servicio, por ejemplo la 3, no incorpore los tratamientos fitosanitarios necesarios para hacer frente a la degradación biológica motivada por los agentes que habitualmente actúan en dichas condiciones. Esto es así porque los agentes biológicos imperantes en cada región europea pueden ser distintos, lo que obliga a que el tratamiento/medidas de protección deban ser, en cierta medida, personalizados en cada proyecto o, como mucho, país.

Por todo lo anterior y respecto de la correcta prescripción de los productos de madera para la construcción habrá que tener en cuenta algunas consideraciones:

1. La clase de servicio sólo afecta a la prescripción de la clase técnica del elemento estructural de madera a emplear, no a su tratamiento.
2. La clase de uso afecta a todos los elementos de madera, estructurales y de carpintería, en función de las condiciones de uso.
3. Los elementos de madera, tanto los estructurales como los de carpintería, han de ser suministrados incluyendo su Marcado CE e información técnica (Declaración de Prestaciones) definidas tanto en sus correspondientes normas armonizadas como en el Reglamento Europeo de Productos de Construcción (RPC), que permitirán la comprobación de que el producto es adecuado para el uso previsto así como, en su caso, la clase de uso cubierta y la naturaleza del tratamiento químico preventivo efectuado.

   En Europa, las normas europeas (EN) indican que cada país debe definir el tipo de protección asociado a cada clase de uso en función de los agentes bióticos presentes, lo que normalmente requiere especificar la penetración que debe alcanzar el protector de la madera y la cantidad de protector de la madera a introducir (retención) en la zona impregnable o de análisis.

   En el caso de España, la situación actual es la siguiente:

   - Elementos estructurales: El Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico - DB SE M, recoge en su punto 3 “Durabilidad” el nivel de penetración (NP) que debe alcanzar el protector de la madera para cada clase de uso.
   - Elementos de carpintería: No existe ningún documento español de referencia. Por proximidad geográfica y similitud de presencia de agentes degradadores de la madera y en tanto esta situación de falta de normativa nacional se mantenga se podrían tomar como referencia los documentos técnicos y normativos de Francia[23].
4. En cuanto a la información a suministrar relativa al tipo de protección realizado, se pueden tomar las siguientes referencias
   - Elementos estructurales:

[23] NF DTU 31.2 *Construction des maisons et bâtiments à ossature en bois*.
NF DTU 36.5 *Mise en œuvre des fenêtres et portes extérieures*.
NF DTU 41.2 *Revêtements extérieurs en bois*.
NF DTU 43.4 *Toitures en éléments porteurs en bois et panneaux dérivés du bois avec revêtement d’étanchéité*.
NF DTU 51.4 *Platelages extérieurs en bois*.

- Certificado del suministrador indicando que cumple lo indicado en el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico - DB SE M - punto 3 “Durabilidad”.
- Declaración de prestaciones del producto, de acuerdo con lo indicado en la norma armonizada que le corresponda (Marcado CE - RCP).
- Certificado del suministrador aportando la información indicada en el punto 8 de la norma EN 351-1.

- Elementos de carpintería:
  - Certificado del suministrador indicando que cumple el tipo de protección indicado por la Dirección Facultativa / Cliente.
  - Declaración de prestaciones del producto, de acuerdo con lo indicado en la norma armonizada que le corresponda (Marcado CE - RCP).
  - Certificado del suministrador aportando la información indicada en el punto 8 de la norma EN 351-1.

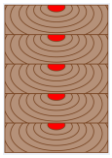
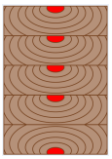
5. En algunos casos los tratamientos incorporados a un suministro de madera o de productos derivados (por ejemplo tableros) para cumplir con una clase de uso determinada pueden no cumplir con las exigencias establecidas a nivel nacional o en el proyecto. Un ejemplo sería la madera tratada para clase de uso 4 en el norte de Europa, que no suele incorporar tratamientos antitermitas (por no estar presentes en dichos países) pero que en el caso de España son necesarios. También se da esta contradicción con el caso de la pícea/abeto para su uso tratada en clase de uso 3.1 y superiores, ya que al ser una madera refractaria, su tratamiento con los medios habituales no alcanza el nivel de penetración exigido a nivel nacional (que viene impuesto por el tamaño de fendas derivado de nuestra climatología). Este hecho impone la necesidad de que la dirección facultativa efectúe cierto control (documental o analítico) sobre los productos tratados a su recepción en obra, especialmente de los procedentes de otras regiones europeas. Es por ello por lo que, como veremos, tanto el Código Técnico de la Edificación como el Marcado CE del RPC establecen la documentación y marcas que deben acompañar a los suministros. De productos de la construcción tratados

En la Tabla 4.1 se resume la normativa europea, reflejando la clase de servicio en la que se debería emplear cada clase técnica de productos de madera estructurales. Para emplear adecuadamente la Tabla es preciso considerar que un producto previsto para una clase de servicio 3 puede emplearse en las clases de servicio 1 y 2, pero no al revés. También se indican las clases de uso en las que el producto podría ser empleado si incorporase la durabilidad natural o el tratamiento químico adecuados.

Tabla 4.1

Aptitud de cada clase técnica de producto para su aplicación en clases de servicio y de uso

Producto Norma	**Clase Técnica** **Siglas**	**Clase de** **Servicio**	**Clase de** **uso*** **
Madera contralaminada (CLT) UNE-EN 16351	Concepto no aplicable en este material	1 2	1 2 3.1**
Tableros de Madera maciza (SWP) UNE-EN 12775	SWP1 SWP2 SWP3	1 2 3	1 1/2 1/2/3/4/5
Tableros Contrachapados UNE-EN 636	1 (seco) 2 (húmedo) 3 (exterior)	1 2 3	1 1/2 1/2/3/4/5
Madera microlaminada (Tableros LVL)/ **Madera microlaminada (Perfiles LVL)** UNE-EN 14279	1 (seco) 2 (húmedo) 3 (exterior)	1 2 3	1 1/2 1/2/3/4/5

Producto Norma	**Clase Técnica Siglas**	**Clase de Servicio**	**Clase de uso*****
Tableros de Virutas orientadas (OSB) UNE-EN 300	OSB 2 OSB 3 OSB 4	1 2 2	1 1/2 1/2
Tableros de Partículas UNE-EN 312	P4 P5 P6 P7	1 2 1 2	1 1/2 1 1/2
Tableros de Fibras duros UNE-EN 622-2	HB. LA HB.HLA1 y 2	1 2	1 1/2
Tableros de Fibras Media Densidad (MDF) UNE-EN 622-5	MDF.LA MDF.HLS	1 2	1 1/2
Tableros de Fibras semiduros UNE-EN 622-3	MBH.LA1 y 2 MBH.HLS1 y 2	1 2	1 1/2
Tableros de Madera cemento UNE-EN 634-2	CPO	1/2	1/2/3
Madera Laminada Encolada (MLE)* UNE-EN 14080 Nota: La fabricación "*especial*" incorpora no sólo un tipo diferente de adhesivo sino, además, una disposición distinta de las láminas más externas, con una orientación destinada a limitar la aparición de fendas.	 **Estándar**	1/2	1/2
	 **Especial**	3	1/2/3/4/5
Madera maciza encolada (Dúos y Tríos - perfiles) * UNE-EN 14080	Concepto no aplicable en este material	1/2	1/2/3
Madera aserrada estructural (MAE)* UNE-EN 14081-1	Concepto no aplicable en este material	1/2/3	1/2/3/4/5
Madera estructural con empalmes por unión dentada (KVH)* UNE-EN 15497	Concepto no aplicable en este material	1/2	1/2/3/4/5
Postes para líneas aéreas UNE-EN 14279	-	3	4
Cerchas prefabricadas con conectores de placas dentadas UNE-EN 14250	-	1 2	1 2
Paneles sándwich estructurales Guía EOTA 19		1 2	1 2
(*) Los productos tratados deben incorporar las siglas PT y declaraciones específicas (UNE-EN 15228) (**) Asignación bajo estudio en el momento de redactar el presente trabajo			

Producto Norma	**Clase Técnica** **Siglas**	**Clase de Servicio**	**Clase de uso*** **
(***) En aplicaciones de exterior (CU3 y siguientes), además de la calidad de encolado exterior (CS3), la madera utilizada debe tener la durabilidad (natural o adquirida de forma artificial mediante tratamiento) requerida para esa clase de uso. Por ejemplo la madera laminada de picea/abeto, aunque sea de la clase técnica "*Especial*", no podría ser empleada en la clase de uso 3, ya que esta madera no tiene durabilidad natural suficiente y su tratamiento no alcanza la penetración exigida para dicha clase de uso por ser una madera refractaria. Nota 1: Los coleópteros, insectos xilófagos de ciclo larvario, no atacan a los tableros de partículas, de fibras de densidad media y de virutas, aunque sí las termitas subterráneas. Nota 2: Los insectos xilófagos -tanto las termitas como los de ciclo larvario- pueden atacar a la madera maciza y a los tableros contrachapados en cualquier clase de uso dependiendo de la zona geográfica. En España las termitas pueden estar presentes en todo el territorio. Actualmente se está elaborando un mapa de riesgo. Nota 3: Los hongos cromógenos y los hongos de pudrición -basidiomicetos- pueden empezar a actuar a partir de la clase de uso 2, teniendo una incidencia importante a partir de la clase 3.			

En la Tabla 4.2 se recoge un resumen actualizado de la normativa (normas armonizadas y en su ausencia normas UNE), indicándose la clase de uso en las que se utilizan habitualmente los elementos de madera de carpintería más importantes o significativos.

Tabla 4.2

Clases de uso en las que se emplean habitualmente los elementos de carpintería

Productos : Elementos de madera de carpintería Norma	**Clase de uso*** **
Suelos de madera interior UNE EN 143442	1/2
Suelos de madera exterior (UNE 56823)	1/2/3/4
Revestimientos y entablados interiores y exteriores de madera maciza UNE EN 14915	1/2/3
Tableros derivados de la madera - Revestimientos interiores UNE EN 13986	1/2
Ventanas de madera UNE EN 14351	1/2/3
Unidad de Hueco de Puertas de madera maciza de exterior UNE EN 14351	1/2/3
Persianas de madera UNE EN 13659	1/2/3
Paneles sándwich de cerramiento Guías EOTA 16	1/2
(***) En aplicaciones de exterior (CU3 y siguientes), además de la calidad de encolado exterior (CS3) de los elementos que lo incorporen, la madera utilizada debe tener la durabilidad (natural o adquirida de forma artificial mediante tratamiento) requerida para esa clase de uso. Por ejemplo, los perfiles laminados de ventana fabricados con madera maciza de picea/abeto, con calidad de encolado apta para clase de servicio 3, no podrían utilizarse en condiciones de clase de uso 3, ya que esta madera no tiene durabilidad natural suficiente y su tratamiento no alcanza la penetración exigida para dicha clase de uso por ser una madera refractaria.	

ANEXO 1
EJEMPLOS DE ASIGNACIÓN DE CLASES DE USO

Ejemplo 1: Vivienda unifamiliar de nueva construcción

Supongamos que se quiere construir el mismo modelo de vivienda unifamiliar en Madrid, Barcelona, Oviedo y Valencia con el diseño establecido en la Fig. A1.1.

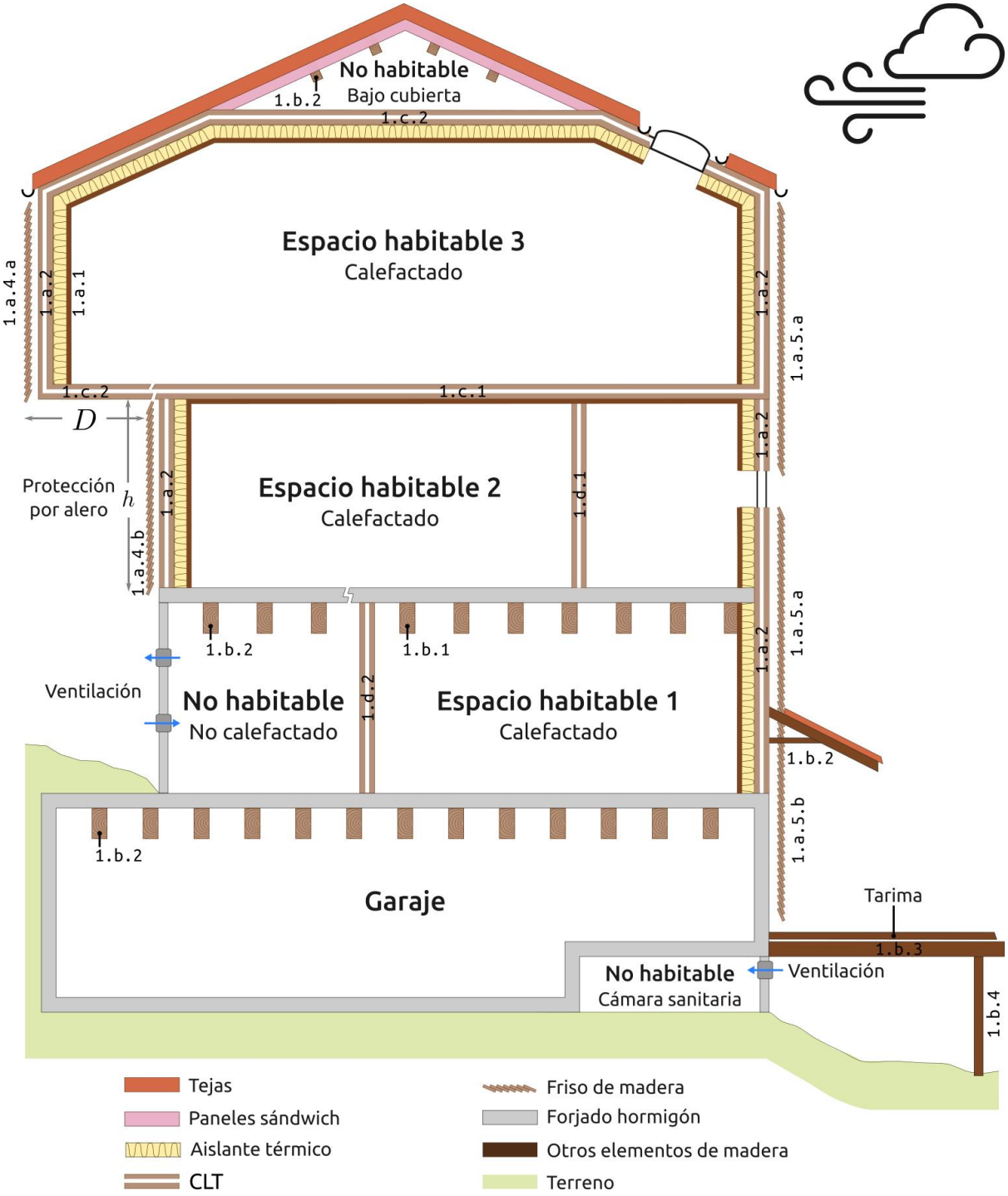


Figura A1.1. Ejemplo de vivienda unifamiliar de nueva construcción

Tabla A1.1
Descripción de los elementos de la Figura A1.1

Siglas	Descripción	Variante
1.a	**Elementos de cerramiento exterior**	
1.a.1	Elementos de acabado interior (ej. Frisos), de cubierta o fachada.	
1.a.2	Elementos de fachada o cubierta situados al exterior del aislamiento térmico con barrera impermeable y fuera de contacto con el suelo	
1.a.3	Productos derivados de madera empleados como aislante térmico	
1.a.4	Elementos de acabado totalmente exterior en fachada NO expuesta a vientos dominantes de lluvia	a. Directamente expuesta b. Protección con alero
1.a.5	Elementos de acabado totalmente exterior en fachada expuesta a vientos dominantes de lluvia	a. Directamente expuesta b. Protección con alero
1.a.6	Panel sándwich de cerramiento	
1.b.	**Elementos estructurales**	
1.b.1	Elementos estructurales situados el interior de locales CH3	
1.b.2	Elementos estructurales situados al interior de locales CH4 o superior	
1.b.3	Elementos estructurales que trabajan el exterior dispuestos horizontalmente (también tarimas al exterior)	
1.b.4	Elementos estructurales que trabajan el exterior dispuestos verticalmente	
1.c.	**Forjados**	
1.c.1	Elementos de madera en forjados que delimitan dos locales CH3	
1.c.2	Elementos de madera en forjados que delimitan dos locales de CH distintas o con el exterior	
1.d	**Muros**	
1.d.1	Que delimitan dos locales CH3	
1.d.2	Que delimita dos locales con CH distintas o exterior	

Como variables constructivas consideraremos las siguientes:

- La construcción es acorde con el Documento Básico de Salubridad (DB-HS) y de Eficiencia energética (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE) en lo que hace referencia a ventilación.
- La edificación se encuentra fuera de casco urbano sometida a la acción de los vientos sin protección natural de ningún tipo. En Barcelona y Valencia se considera que la construcción se sitúa en las cercanías a la costa. En Madrid y Oviedo no se contempla la presencia de grandes reservorios de agua (ríos, lagos, embalses) en las inmediaciones.
- Los vientos dominantes de lluvia vienen del oeste.
- Las fachadas al exterior están compuestas por entablado de madera de 22 mm de espesor y 50 mm de anchura. La contracara está totalmente ventilada y el entablado tiene disposición horizontal.
- En la fachada oeste hay un pequeño alero de 100 cm de vuelo.
- En la fachada este existe un vuelo del forjado del piso del Espacio habitable 3, de 1 metro.

La información básica necesaria para llevar a cabo la asignación paramétrica de los distintos elementos a las clases de uso la tomaremos de las siguientes Tablas:

- Tabla 3.1: *Valores del índice de exposición básica a emplear en locales cerrados en función de la Clase de Higrometría interior.*
- Tabla 3.3: *Valores del índice de exposición básica y del Riesgo de Deformación y Agrietamiento de la madera ubicada en exposiciones de interior en local abierto. Capitales de provincia*.
- Tabla 3.4: *Valores del índice de exposición básica de la madera ubicada al exterior sin protección frente a la lluvia. Capitales de provincia.*

- Tabla 3.6: *Valores del factor de severidad climática (k_{s1}), en función de las condiciones mesoclimáticas a las que queda sometido el elemento de madera.*
- Tabla 3.7: *Valores del factor por geometría del elemento* (k_{s2}).
- Tabla 3.8: *Valores del factor de protección por aleros y/o cornisas* (k_{s3}).
- Tabla 3.9: *Valores del factor de protección por separación al suelo* (k_{s4}).
- Tabla 3.10: *Tabla de valoración del factor de diseño, exposición al exterior* (k_{s5}).
- Tabla 3.12: *Criterios de asignación de clases de uso en función del valor calculado del índice de exposición característica.*

Analicemos paso a paso cada elemento de la construcción de arriba hacia abajo:

1. Bajo cubierta no habitable y ventilado: Se trata de un local cerrado accesible para mantenimiento y carente de calefacción, clasificable de forma genérica en la clase higrométrica 4 de la norma UNE-EN ISO 13788:2016 (Tabla 3.1).

La cubierta está conformada por paneles sándwich (aislamiento intermedio constituido por poliestireno expandido) que descansan sobre elementos estructurales de madera maciza (1.b.2). Tal y como se refleja en la definición de la clase higrométrica 4 (Tabla anterior) todos los elementos de fachada y cubierta situados al exterior del aislante térmico han de ser considerados como trabajando en dicha clase.
De acuerdo con los contenidos de la Tabla 3.1, y para la CH4, el valor del índice de exposición básica **(I_{s0})** para las cuatro localidades será como sigue:

Elemento en análisis	**Índice de exposición (I_{s0}) Emplear Tabla 3.1**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Estructura de MLE (1.b.2) al interior de local clasificado como CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Elementos de cubierta situados al interior de la estancia (cara inferior del panel sándwich) clasificada como CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Elementos de soporte de cubierta situados al exterior del aislante térmico pero por debajo del material de impermeabilización, situación clasificada como CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Forjado inferior de CLT (1.c.2) en local clasificado como CH4	2,0	2,0	2,0	2,0

Conocido el valor del I_{s0} procede la determinación del factor de severidad climática k_{s1} para calcular el valor del l índice de exposición mesoclimática mediante la siguiente expresión:

$$I_s = [I_{s0} \cdot k_{s1}]$$

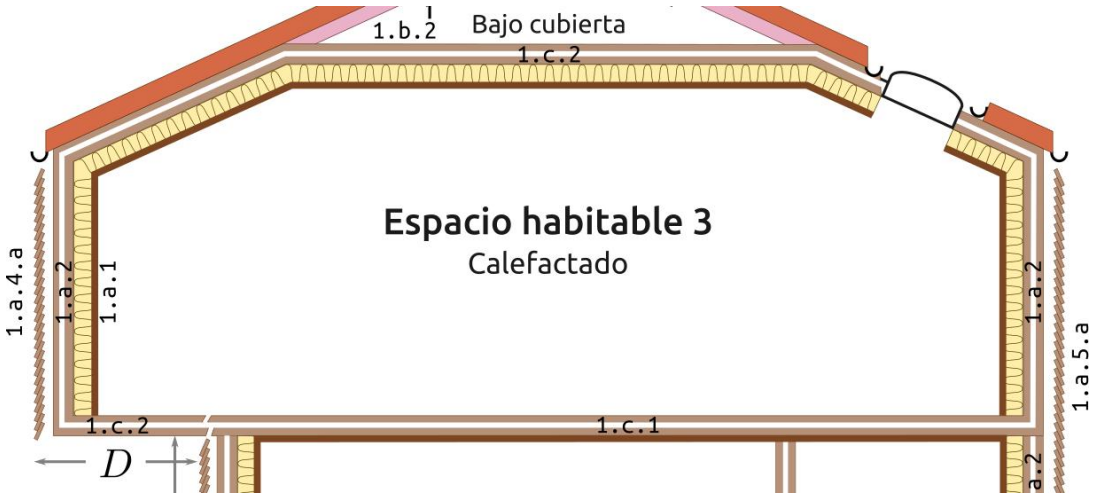
En todos los casos como factor de severidad climática (k_{s1}) habrá de tomarse el valor de 1,0 (ver llamada en recuadro bajo la Tabla 3.6), por lo que en el presente caso $I_s=I_{s0}$

Dado que los elementos de madera se sitúan en condiciones asimilables a las de interior de edificios carentes de envolvente térmica (ver llamada en recuadro bajo la Tabla 3.3) nos son aplicables el resto de factores de modificación del riesgo.

De acuerdo con todo lo anterior y considerando los criterios de asignación de la Tabla 3.12, los elementos anteriores quedarán asignados a clases de uso como sigue:

Elemento en análisis	**Asignación a clases de uso**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Estructura de MLE (1.b.2) al interior de local clasificado como CH4	CU2	CU2	CU2	CU2
Elementos de cubierta situados al interior de la estancia (cara inferior del panel sándwich) clasificada como CH4	CU2	CU2	CU2	CU2
Elementos de cubierta situados al exterior del aislante térmico (tablero exterior del panel sandwich)	CU2	CU2	CU2	CU2
Forjado inferior de CLT (1.c.2) en local clasificado como CH4	CU2	CU2	CU2	CU2

2. Espacio habitable y calefactado número 3 (piso 3)



Espacio inmediatamente inferior al anterior, que está ubicado entre dos locales de clasificación higrométrica distinta (bajo cubierta CH4 y espacio habitable 2 CH3, según la norma UNE-EN ISO 13788:2016, Tabla 3.1).

- Se trata de un local habitable, cerrado y calefactado, clasificable de forma genérica en la clase higrométrica 3 (Tabla 3.1).
- Los elementos de cubierta y fachada (1.a.2) situados al exterior del aislamiento, pero al interior de la barrera impermeable están conformados por tablero CLT y son asignables a la clase higrométrica 4 (Tabla 3.1).
- Suponemos que como aislamiento térmico (1.a.3) empleamos tableros de fibras de madera, que al ubicarse al interior de un local habitable y calefactado son asignables a la clase higrométrica 3.
- Suponemos que al interior del local, tanto en fachada como en techo, empleamos un friso de madera, que al ubicarse al interior de un local habitable y calefactado son asignables a la clase higrométrica 3.

- El forjado superior de tablero CLT (1.c.2) ya fue asignado en el punto anterior.
- El forjado inferior, a los efectos de la evaluación del riesgo, debe considerarse subdividido en dos partes:
  - La que delimita dos locales habitables, cerrados y calefactados (locales 2 y 3), ambos clasificables como clase higrométrica 3, denominado en la Fig. A.1.1 como 1.c.1
  - La que delimita un local cerrado y calefactado (local 3) y el exterior pero que al estar fuera de todo posible contacto con la lluvia es asignable a interior en local abierto, denominado en la Fig. A.1.1 como 1.c.2
- La fachada exterior la suponemos compuesta por un entablado de madera dispuesto horizontalmente y con cámara ventilada y efectuaremos un análisis separado en función de la exposición:
  - Al este, en fachada totalmente al exterior pero no expuesta a vientos dominantes de lluvia (1.a.4.a)
  - Al oeste, en fachada totalmente al exterior y expuesta a vientos dominantes de lluvia (1.a.5.a)

De acuerdo con los contenidos de las Tablas 3.1, 3.3 y 3.4, aplicados de acuerdo con los criterios anteriormente mencionados, el valor de los índices de exposición básica **(I_{s0})** para los diferentes elementos en las cuatro localidades será como sigue:

Elemento en análisis	**Índice de exposición (I_{s0}) Emplear Tablas 3.1, 3.3 y 3.4**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Tableros CLT de cubierta y fachada situados al exterior del aislamiento térmico totalmente protegidos de agua de lluvia (1.a.2) (Tabla 3.1, CH4)	2,0	2,0	2,0	2,0
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico al interior de local clasificado CH3 (Tabla 3.1)	1,0	1,0	1,0	1,0
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada y del techo (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3 (Tabla 3.1)	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye el forjado inferior en zona que delimita dos locales habitables CH3 (1.c.1) (Tabla 3.1)	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye el forjado inferior en zona que delimita un local habitable CH3 y exposición exterior fuera de agua de lluvia (1.c.2) (Tabla 3.3)*	0,4	2,0	2,0	2,0
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia (1.a.4.a) (Tabla 3.4)	3,3	3,0	3,7	3,3
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a) (Tabla 3.4)	3,3	3,0	3,7	3,3
(*) Este elemento puede ser también evaluado como un elemento de fachada al exterior protegido del agua de lluvia (1.a.2)				

Conocido el valor del I_{s0} procede la determinación del factor de severidad climática K_{s1} para calcular el valor del l índice de exposición mesoclimática mediante la siguiente expresión:

$$I_s = [I_{s0} \cdot k_{s1}]$$

En la Tabla siguiente se aportan los datos del factor de severidad climática para cada uno de los elementos anteriores:

Elemento en análisis	**Factor de severidad climática (k_{s1})**

	Emplear Tabla 3.6			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Tableros CLT de cubierta y fachada situados al exterior del aislamiento térmico totalmente protegidos de agua de lluvia (1.a.2), clasificado como CH4	1,0	1,0	1,0	1,0
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico al interior de local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada y del techo (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye el forjado inferior en zona que delimita dos locales habitables CH3 (1.c.1)	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye el forjado inferior en zona que delimita un local habitable CH3 y exposición exterior fuera de agua de lluvia (1.c.2)	1,0	1,0	1,0	1,0
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia (1.a.4.a)	0,8	1,1	0,8	1,1
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	1,0	1,1	1,0	1,1

Todo lo anterior nos lleva a concluir el valor del índice de exposición mesoclimática como sigue:

Elemento en análisis	**Índice de exposición mesoclimática (I_s)** $I_s = I_{s0} \cdot k_{s1}$			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Tableros CLT de cubierta y fachada situados al exterior del aislamiento térmico totalmente protegidos de agua de lluvia (1.a.2), clasificado como CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico al interior de local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada y del techo (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye el forjado inferior en zona que delimita dos locales habitables CH3 (1.c.1)	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye el forjado inferior en zona que delimita un local habitable CH3 y exposición exterior fuera de agua de lluvia (1.c.2)	0,4	2,0	2,0	2,0
Elementos de entablado de 22 mm en fachada al exterior ventilada y orientada al este (1.a.4.a)	2,6	3,3	3,0	3,6
Elementos de entablado de 22 mm en fachada al exterior ventilada y orientada al oeste (1.a.5.a)	3,3	3,3	3,7	3,6

Seguidamente procede evaluar la aplicación de los restantes coeficientes asociados al diseño pero exclusivamente en los elementos ubicados al exterior (entablado de fachada).

a) Por geometría (k_{s2})

Elemento en análisis	**Factor por geometría (k_{s2})** Emplear Tabla 3.7			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos de entablado de 22 mm en fachada al exterior ventilada y orientada al este (1.a.4.a)	0,9	0,9	0,9	0,9

Elementos de entablado de 22 mm en fachada al exterior ventilada y orientada al oeste (1.a.5.a)	0,9	0,9	0,9	0,9

b) Por aleros y cornisas (k_{s3})

Elemento en análisis	**Factor por alero y cornisas (k_{s3}) Emplear Tabla 3.8**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia (1.a.4.a)	1,0	1,0	1,0	1,0
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	1,0	1,0	1,0	1,0

c) Por distancia al suelo (k_{s4})
Todos los elementos se encuentran separados del suelo más de 300 mm, por lo que en todos los casos k_{s4}=1 (Tabla 3.9).

d) Por diseño constructivo (k_{s5})
El diseño de la fachada, de acuerdo con las indicaciones de la Tabla 3.10 puede ser calificado de "Medio" ya que el entablado se dispone horizontalmente aunque exista una cámara de aire ventilada trasera. De acuerdo con esto los coeficientes k_{s5} a emplear por elemento serán los siguientes:

Elemento en análisis	**Factor por diseño constructivo (k_{s5}) Emplear Tabla 3.10**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia (1.a.4.a)	1,1	1,1	1,1	1,1
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	1,1	1,1	1,1	1,1

Considerando el conjunto de coeficientes y los valores de la exposición mesoclimática, los valores de la exposición característica por elementos quedarán como sigue:

Elemento en análisis	**Índice de exposición característica (I_{sk}) $I_s = I_{s0}.\ k_{s1}.k_{s2}.....k_{si}$**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Tableros CLT de cubierta y fachada situados al exterior del aislamiento térmico totalmente protegidos de agua de lluvia (1.a.2), clasificado como CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico al interior de local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada y del techo (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye el forjado inferior en zona que delimita dos locales habitables CH3 (1.c.1)	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye el forjado inferior en zona que delimita un local habitable CH3 y exposición exterior fuera de agua de lluvia (1.c.2)	0,4	2,0	2,0	2,0

Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia (1.a.4.a)	2,6	3,3	3,0	3,6
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	3,3	3,3	3,7	3,6

Y la asignación a clases de uso (criterios de la Tabla 3.12) quedará como sigue:

Elemento en análisis	**Asignación a clases de uso**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Tableros CLT de cubierta y fachada situados al exterior del aislamiento térmico totalmente protegidos de agua de lluvia (1.a.2), clasificado como CH4	CU2	CU2	CU2	CU2
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico al interior de local clasificado CH3	CU1	CU1	CU1	CU1
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada y del techo (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3	CU1	CU1	CU1	CU1
Tablero CLT que constituye el forjado inferior en zona que delimita dos locales habitables CH3 (1.c.1)	CU1	CU1	CU1	CU1
Tablero CLT que constituye el forjado inferior en zona que delimita un local habitable CH3 y exposición exterior fuera de agua de lluvia (1.c.2)	CU1	CU2	CU2	CU2
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia (1.a.4.a)	CU3.1	CU3.1	CU3.1	CU3.2
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	CU3.1	CU3.1	CU3.2	CU3.2
(*) Actualmente está bajo discusión la posibilidad de que el tablero CLT pueda trabajar en esta condición, lo cual obligaría a no dejarlo visto				

3. <u>Espacio habitable y calefactado número 2 (segundo piso)</u>

Espacio inmediatamente inferior al anterior, que está ubicado entre dos locales de clasificación higrométrica idéntica (CH3) salvo en algunas zonas que es preciso analizar.

- El segundo piso es un local habitable, cerrado y calefactado, clasificable de forma genérica en la clase higrométrica 3 de la norma UNE-EN ISO 13788:2016 (Tabla 3.1).
- El forjado superior, de tablero CLT, ya fue analizado en el punto 2 anterior. No obstante, este forjado incorpora por su cara inferior un aislante de tablero de fibra de madera y un acabado en friso de madera (1.a.1), que no serán analizados en el presente caso. Si el acabado hubiese sido de friso de madera al estar situado por delante del aislamiento

térmico y en un local habitable, cerrado y calefactado claramente le correspondería una clase de uso 1.

- El forjado inferior es una solera de hormigón que descansa sobre vigas de madera, que serán analizadas en el apartado 4. Si la solera incorporara un suelo de madera al estar ubicado al interior de un local habitable, cerrado y calefactado claramente le correspondería una clase de uso 1. El forjado debe considerarse subdividido en dos partes:
  - La que delimita dos locales habitables, cerrados y calefactados (espacios habitables2 y 1), ambos clasificables como clase higrométrica 3, denominado en la Fig. A.1.1 como 1.c.1
  - La que delimita un local cerrado y acondicionado (espacio habitable 2) y el tendedero que al ser local cerrado pero no calefactado debería ser clasificado como CH4, denominado en la Fig. A.1.1 como 1.c.2

  No obstante, al ser un forjado de hormigón esta distinción zonal no tiene efectos en la evaluación.
- Los tabiques del cerramiento exterior (1.a.2) están compuestos por un acabado interior de friso de madera, tablero estructural CLT, membrana impermeabilizante, cámara de aire ventilada y entablado de madera de 22 mm de espesor dispuesto horizontalmente con solapes. En la fachada exterior efectuaremos un análisis separado en función de la exposición:
  - Al este, en fachada totalmente al exterior pero no expuesta a vientos dominantes de lluvia (1.a.4.b) y con protección por alero (este análisis podría haber sido efectuado considerando que en esta posición la madera trabaja en entorno exterior protegido y aplicando por ello los valores de la Tabla 3.3 pero no se ha optado por esta solución, ya que no se puede asegurar completamente la humectación accidental por efecto de vientos de lluvia que soplen en dirección este).
  - Al oeste, en fachada totalmente al exterior y expuesta a vientos dominantes de lluvia (1.a.5.a)

De acuerdo con los contenidos de las Tablas 3.1 y 3.4, aplicados de acuerdo con los criterios anteriormente mencionados, el valor de los índices de exposición básica **(I_{s0})** para los diferentes elementos en las cuatro localidades será como sigue:

Elemento en análisis	**Índice de exposición (I_{s0}) Emplear Tablas 3.1 y 3.4**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Tablero CLT estructural que forma parte del cerramiento exterior situado al exterior del aislamiento térmico totalmente protegido del agua de lluvia (1.a.2) por lámina impermeabilizante y acabado exterior. Asignado a CH4 (Tabla 3.1)	2,0	2,0	2,0	2,0
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico en el interior de local clasificado CH3 (Tabla 3.1, CH3)	1,0	1,0	1,0	1,0
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada y del techo (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3 (Tabla 3.1, CH3)	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye tabique interior (1.c.1) que delimita dos locales habitables clasificados CH3 (Tabla 3.1, CH3)	1,0	1,0	1,0	1,0
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia así como con protección de alero (1.a.4.b) (Tabla 3.4)	3,3	3,0	3,7	3,3
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a) (Tabla 3.4)	3,3	3,0	3,7	3,3

Conocido el valor del I_{s0} procede la determinación del factor de severidad climática K_{s1} para calcular el valor del l índice de exposición mesoclimática mediante la siguiente expresión:

$$I_s = [I_{s0} \cdot k_{s1}]$$

En la Tabla siguiente se aportan los datos del factor de severidad climática para cada uno de los elementos anteriores:

Elemento en análisis	**Factor de severidad climática (k_{s1}) Emplear Tabla 3.6**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Tablero CLT estructural que forma parte del cerramiento exterior situado al exterior del aislamiento térmico totalmente protegido del agua de lluvia (1.a.2) por lámina impermeabilizante y acabado exterior. Asignado a CH4	1,0	1,0	1,0	1,0
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico en el interior de local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada y del techo (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye tabique interior (1.c.1) que delimita dos locales habitables clasificados CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia así como con protección de alero (1.a.4.b)	0,8	1,1	0,8	1,1
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	1	1,1	1	1,1

Todo lo anterior nos lleva a concluir el valor del índice de exposición mesoclimática como sigue:

Elemento en análisis	**Índice de exposición mesoclimática (I_s) $I_s = I_{s0} . k_{s1}$**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Tablero CLT estructural que forma parte del cerramiento exterior situado al exterior del aislamiento térmico totalmente protegido del agua de lluvia (1.a.2) por lámina impermeabilizante y acabado exterior. Asignado a CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico en el interior de local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada y del techo (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye tabique interior (1.c.1) que delimita dos locales habitables clasificados CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia así como con protección de alero (1.a.4.b)	3,3	3,3	3,7	3,6
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	3,3	3,3	3,7	3,6

Seguidamente procede evaluar la aplicación de los restantes coeficientes asociados al diseño pero exclusivamente en los elementos ubicados al exterior (entablado de fachada).

a) Por geometría (k_{s2})

Elemento en análisis	**Factor por geometría (k_{s2}) Emplear Tabla 3.7**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia así como con protección de alero (1.a.4.b)	0,9	0,9	0,9	0,9
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	0,9	0,9	0,9	0,9

b) Por aleros y cornisas (k_{s3})

Elemento en análisis	**Factor por alero y cornisas (k_{s3}) Emplear Tabla 3.8**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia así como **con protección de alero** (1.a.4.b)	0,7	0,7	0,7	0,7
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	1,0	1,0	1,0	1,0

c) Por distancia al suelo (k_{s4})
Todos los elementos se encuentran separados del suelo más de 300 mm, por lo que en todos los casos k_{s4}=1 (Tabla 3.9).

d) Por diseño constructivo (k_{s5})
El diseño de la fachada, de acuerdo con las indicaciones de la Tabla 3.10 puede ser calificado de "Medio" ya que el entablado se dispone horizontalmente aunque exista una cámara de aire ventilada trasera. De acuerdo con esto los coeficientes k_{s5} a emplear por elemento serán los siguientes:

Elemento en análisis	**Factor por diseño constructivo (k_{s5}) Emplear Tabla 3.10**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia así como con protección de alero (1.a.4.b)	1,1	1,1	1,1	1,1
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	1,1	1,1	1,1	1,1

Considerando el conjunto de coeficientes y los valores de la exposición mesoclimática, los valores de la exposición característica por elementos quedarán como sigue:

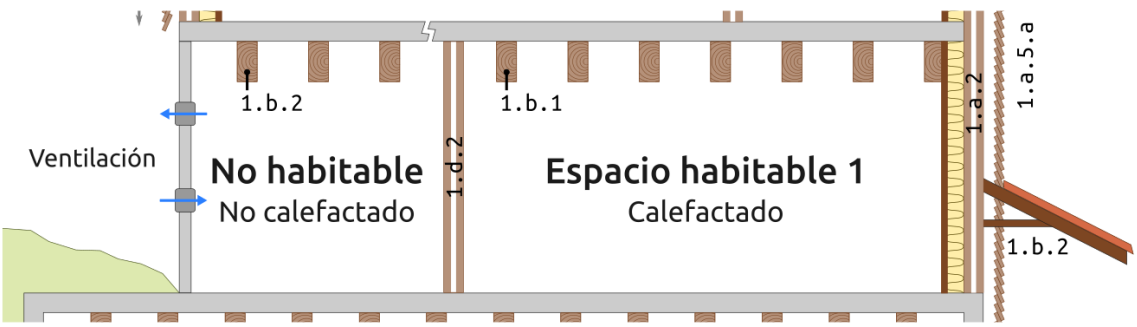
Elemento en análisis	**Índice de exposición característica (I_{sk})**

	$I_s = I_{s0}. k_{s1}.k_{s2}.....k_{si}$			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Tablero CLT estructural que forma parte del cerramiento exterior situado al exterior del aislamiento térmico totalmente protegido del agua de lluvia (1.a.2) por lámina impermeabilizante y acabado exterior. Asignado a CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico en el interior de local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada y del techo (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye tabique interior (1.c.1) que delimita dos locales habitables clasificados CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia así como con protección de alero (1.a.4.b)	1,8	2,3	2,1	2,5
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	3,3	3,3	3,7	3,6

Y la asignación a clases de uso (criterios de la Tabla 3.12) quedará como sigue:

Elemento en análisis	**Asignación a clases de uso**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Tablero CLT estructural que forma parte del cerramiento exterior situado al exterior del aislamiento térmico totalmente protegido del agua de lluvia (1.a.2) por lámina impermeabilizante y acabado exterior. Asignado a CH4	CU2	CU2	CU2	CU2
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico en el interior de local clasificado CH3	CU1	CU1	CU1	CU1
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada y del techo (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3	CU1	CU1	CU1	CU1
Tablero CLT que constituye tabique interior (1.c.1) que delimita dos locales habitables clasificados CH3	CU1	CU1	CU1	CU1
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada al este, con protección a los vientos dominantes de lluvia así como con protección de alero (1.a.4.b)	CU2	CU2	CU2	CU 3.1
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	CU3.1	CU3.1	CU3.2	CU3.2

4. <u>Espacio habitable y calefactado número 1 (primer piso)</u>



Espacio inmediatamente inferior al anterior, que está ubicado entre un espacio habitable (piso 2) clasificado como CH3 y el garaje clasificado como CH4 de la norma UNE-EN ISO 13788:2016 (Tabla 3.1).

- El primer piso contiene dos locales diferenciados:
  - El espacio habitable 1, que es un local habitable, cerrado y calefactado clasificable como clase higrométrica 3 de la Tabla 3.1.
  - El Tendedero, que es un local no habitable, cerrado y sin calefacción clasificable como clase higrométrica 4 de la Tabla 3.1.
- El forjado superior, de losa de hormigón, incorpora como estructura de apoyo vigas de madera laminada, debiéndose considerar para el análisis dos zonas diferenciadas:
  - La del espacio habitable 1 (1.b.1), que trabajan en clase higrométrica 3.
  - La del tendedero (1.b.2), que trabajan en clase higrométrica 4.
- El forjado inferior (1.c.2) se diseña como una solera de hormigón que descansa sobre vigas de madera laminada (1.b.2), que serán analizadas en el apartado 5 siguiente. Si en vez de este diseño el forjado fuera diseñado como un tablero CLT, al constituir este la separación entre dos locales diferentes, uno (el superior, piso primero) habitable, cerrado y calefactado (asignable a una clase higrométrica 3) y otro, el inferior (el garaje), no habitable y no acondicionado (y, por tanto, asignable a una clase higrométrica 4), habría que considerarlo trabajando en una clase de uso 2 (ver análisis de asignación de las vigas de madera del forjado superior 1.b.2 en el apartado siguiente correspondiente al sótano).
- Los tabiques del cerramiento exterior (1.a.2) están compuestos por un acabado interior de friso de madera, muro de CLT (1.a.2), membrana impermeabilizante, cámara de aire ventilada y entablado de madera de 22 mm de espesor (1.a.5) dispuesto horizontalmente con solapes. En la fachada exterior efectuaremos un análisis separado en función de la exposición:
  - Al este, en fachada no expuesta a vientos dominantes de lluvia no existen elementos de madera ya que se consideran ventanales.
  - Al oeste, en fachada expuesta a vientos dominantes de lluvia, existiendo dos zonas perfectamente diferenciadas:
    - Zona sin protección por alero (1.a.5.a).
    - Zona con protección con alero (1.a.5.b).
- Estructura de madera (1.b.2) y tablero bajo teja que conforma el tejadillo de 1 metro de vuelo ubicado en la cara oeste (se opta por aplicar a todo este material la condición de exterior protegido correspondiente a la Tabla 3.3).

De acuerdo con los contenidos de las Tablas 3.1, 3.3 y 3.4, aplicados de acuerdo con los criterios anteriormente mencionados, el valor de los índices de exposición básica **(I_{s0})** para los diferentes elementos en las cuatro localidades será como sigue:

Elemento en análisis	**Índice de exposición (I_{s0}) Emplear Tablas 3.1, 3.3 y 3.4**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos estructurales de MLE ubicados en Espacio habitable 1 (1.b.1) clasificado como CH3 (Tabla 3.1)	1,0	1,0	1,0	1,0
Elementos estructurales de MLE ubicados en Tendedero (1.b.2) clasificado como CH4 (Tabla 3.1)	2,0	2,0	2,0	2,0
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico en el interior de local clasificado CH3 (Tabla 3.1)	1,0	1,0	1,0	1,0

Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3 (Tabla 3.1)	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que forma parte del cerramiento exterior de la fachada oeste, situado al exterior del aislamiento térmico (1.a.1), encontrándose totalmente protegido del agua de lluvia por la existencia de una lámina impermeabilizante al exterior y entablado de acabado (1.a.5). Asignado a CH4 (Tabla 3.1)	2,0	2,0	2,0	2,0
Tablero CLT que constituye tabique interior que separa un local habitable CH3 (1.d.2) y otro (Tendedero) clasificado como CH4 (Tabla 3.1)	2,0	2,0	2,0	2,0
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a) (Tabla 3.4)	3,3	3,0	3,7	3,3
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste pero con protección de alero (1.a.5.b) (Tabla 3.4)	3,3	3,0	3,7	3,3
Elementos de madera que componen la estructura (1.b.2) y el tablero bajo teja del voladizo ubicado en fachada oeste en condiciones de exterior protegido (Tabla 3.3)	0,4	2,0	2,0	2,0

Conocido el valor del I_{s0} procede la determinación del factor de severidad climática K_{s1} para calcular el valor del l índice de exposición mesoclimática mediante la siguiente expresión:

$$I_s = [I_{s0} \cdot k_{s1}]$$

En la Tabla siguiente se aportan los datos del factor de severidad climática para cada uno de los elementos anteriores:

Elemento en análisis	**Factor de severidad climática (k_{s1}) Emplear Tabla 3.6**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos estructurales de MLE ubicados en Espacio habitable 1 (1.b.1) clasificado como CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Elementos estructurales de MLE ubicados en Tendedero (1.b.2) clasificado como CH4	1,0	1,0	1,0	1,0
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico en el interior de local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que forma parte del cerramiento exterior de la fachada oeste, situado al exterior del aislamiento térmico (1.a.1), encontrándose totalmente protegido del agua de lluvia por la existencia de una lámina impermeabilizante al exterior y entablado de acabado (1.a.5). Asignado a CH4	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que constituye tabique interior que separa un local habitable CH3 (1.d.2) y otro (Tendedero) clasificado como CH4	1,0	1,0	1,0	1,0

Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	1,0	1,1	1,0	1,1
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste pero con protección de alero (1.a.5.b)	1,0	1,1	1,0	1,1
Elementos de madera que componen la estructura (1.b.2) y el tablero bajo teja del voladizo ubicado en fachada oeste en condiciones de exterior protegido	1,0	1,0	1,0	1,0

Todo lo anterior nos lleva a concluir el valor del índice de exposición mesoclimática como sigue:

Elemento en análisis	**Índice de exposición mesoclimática (I_s)** $I_s = I_{s0}. k_{s1}$			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos estructurales de MLE ubicados en Espacio habitable 1 (1.b.1) clasificado como CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Elementos estructurales de MLE ubicados en Tendedero (1.b.2) clasificado como CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico en el interior de local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que forma parte del cerramiento exterior de la fachada oeste, situado al exterior del aislamiento térmico (1.a.1), encontrándose totalmente protegido del agua de lluvia por la existencia de una lámina impermeabilizante al exterior y entablado de acabado (1.a.5). Asignado a CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Tablero CLT que constituye tabique interior que separa un local habitable CH3 (1.d.2) y otro (Tendedero) clasificado como CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	3,3	3,3	3,7	3,6
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste pero con protección de alero (1.a.5.b). Zona superior perteneciente a piso 1	3,3	3,3	3,7	3,6
Elementos de madera que componen la estructura (1.b.2) y el tablero bajo teja del voladizo ubicado en fachada oeste en condiciones de exterior protegido	0,4	2,0	2,0	2,0

Seguidamente procede evaluar la aplicación de los restantes coeficientes asociados al diseño pero exclusivamente en los elementos ubicados al exterior (entablado de fachada).

a) Por geometría (k_{s2})

Elemento en análisis	**Factor por geometría (k_{s2}) Emplear Tabla 3.7**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**

Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	0,9	0,9	0,9	0,9
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste pero con protección de alero (1.a.5.b). Zona superior perteneciente a piso 1	0,9	0,9	0,9	0,9

b) Por aleros y cornisas (k_{s3})

Elemento en análisis	**Factor por alero y cornisas (k_{s3}) Emplear Tabla 3.8**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	1,0	1,0	1,0	1,0
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste pero con protección de alero (1.a.5.b). Zona superior perteneciente a piso 1	0,7	0,7	0,7	0,7

c) Por distancia al suelo (k_{s4})

Todos los elementos se encuentran separados del suelo más de 300 mm, por lo que en todos los casos k_{s4}=1 (Tabla 3.9). Esto se decide así porque el entablado de la fachada oeste acaba a 30 cm de distancia respecto del suelo de la terraza.

d) Por diseño constructivo (k_{s5})

El diseño de la fachada, de acuerdo con las indicaciones de la Tabla 3.10 puede ser calificado de "Medio" ya que el entablado se dispone horizontalmente aunque exista cámara de aire trasera. De acuerdo con esto los coeficientes k_{s5} a emplear por elemento serán los siguientes:

Elemento en análisis	**Factor por diseño constructivo (k_{s5}) Emplear Tabla 3.10**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	1,1	1,1	1,1	1,1
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste pero con protección de alero (1.a.5.b). Zona superior perteneciente a piso 1	1,1	1,1	1,1	1,1

Considerando el conjunto de coeficientes y los valores de la exposición mesoclimática, los valores de la exposición característica por elementos quedarán como sigue:

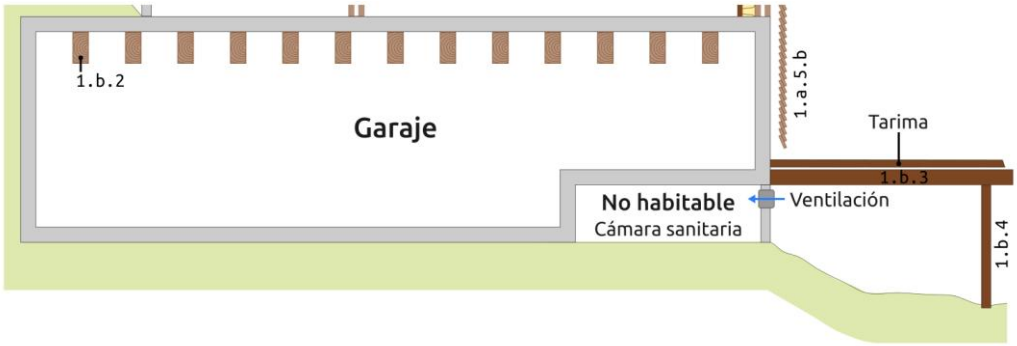
Elemento en análisis	**Índice de exposición característica (I_{sk}) $I_s = I_{s0}.\ k_{s1}.k_{s2}.....k_{si}$**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos estructurales de MLE ubicados en Espacio habitable 1 (1.b.1) clasificado como CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Elementos estructurales de MLE ubicados en Tendedero (1.b.2) clasificado como CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico en el interior de local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0

Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3	1,0	1,0	1,0	1,0
Tablero CLT que forma parte del cerramiento exterior de la fachada oeste, situado al exterior del aislamiento térmico (1.a.1), encontrándose totalmente protegido del agua de lluvia por la existencia de una lámina impermeabilizante al exterior y entablado de acabado (1.a.5). Asignado a CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Tablero CLT que constituye tabique interior que separa un local habitable CH3 y otro (Tendedero) clasificado como CH4	2,0	2,0	2,0	2,0
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	3,3	3,3	3,7	3,6
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste pero con protección de alero (1.a.5.b)	2,3	2,3	2,6	2,5
Elementos de madera que componen la estructura (1.b.2) y el tablero bajo teja del voladizo ubicado en fachada oeste en condiciones de exterior protegido	0,4	2,0	2,0	2,0

Y la asignación a clases de uso (criterios de la Tabla 3.12) quedará como sigue:

Elemento en análisis	**Asignación a clases de uso**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Elementos estructurales de MLE ubicados en Espacio habitable 1 (1.b.1) clasificado como CH3	CU1	CU1	CU1	CU1
Elementos estructurales de MLE ubicados en Tendedero (1.b.2) clasificado como CH4	CU2	CU2	CU2	CU2
Tableros de fibras empleados como aislamiento térmico en el interior de local clasificado CH3	CU1	CU1	CU1	CU1
Friso de madera que compone el revestimiento interior de los muros de fachada (1.a.1), ubicado al interior del local en local clasificado CH3	CU1	CU1	CU1	CU1
Tablero CLT que forma parte del cerramiento exterior de la fachada oeste, situado al exterior del aislamiento térmico (1.a.1), encontrándose totalmente protegido del agua de lluvia por la existencia de una lámina impermeabilizante al exterior y entablado de acabado (1.a.5). Asignado a CH4	CU2	CU2	CU2	CU2
Tablero CLT que constituye tabique interior que separa un local habitable CH3 y otro (Tendedero) clasificado como CH4	CU2	CU2	CU2	CU2
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste (1.a.5.a)	CU3.1	CU3.1	CU3.2	CU3.2
Elementos de entablado de 22 mm en fachada totalmente al exterior y orientada a vientos dominantes de lluvia del oeste pero con protección de alero (1.a.5.b)	CU2	CU2	CU3.1	CU3.1
Elementos de madera que componen la estructura (1.b.2) y el tablero bajo teja del voladizo ubicado en fachada oeste en condiciones de exterior protegido	CU1	CU2	CU2	CU2

5. Sótano (Garaje y anexos)



El sótano está compuesto por dos elementos diferenciados: el garaje y la cámara sanitaria.

- Los muros son de hormigón armado, motivo por lo cual no son analizados pero el forjado superior, que le separa del primer piso tiene una estructura de madera laminada (1.b.2), que procederemos a analizar considerando para el análisis tres zonas diferenciadas:
  - La que linda con el espacio habitable 1, que está clasificado como clase higrométrica 3.
  - La del Tendedero, que está clasificado en clase higrométrica 4.
  - La que linda con el terreno circundante, que al disponer de una barrera impermeabilizante puede ser clasificada también como clase higrométrica 4,

  El Garaje, local en el que se encuentran las estructuras de madera, se clasifica como clase higrométrica 4.

  Por todo lo anterior y considerando que las estructuras de madera trabajan en condiciones de clase higrométrica 4 seleccionamos un valor de Índice de exposición básica **(I_{s0})** de 2,0.
  - Índice de exposición básica **(I_{s0}):** 2,0
  - Factor de severidad climática (***ks1***): 1,0
  - Índice de exposición mesoclimática (***Is***): I_{s0}* ***ks1***=2,0
  - Resto de factores asociados al diseño: no son de aplicación por estar ubicados los elementos de madera en el interior de los edificios
  - Índice de exposición característica (I_{sk}): 2,0
  - Clase de uso 2

6. Terraza exterior

Aun cuando se puede efectuar un análisis riguroso elemento por elemento considerando las indicaciones de la Tabla 3.10 y la Fig. 3.4, analizando el riesgo de cada uno en función de los factores de diseño involucrados (fundamentalmente por el carácter drenante o no de las uniones efectuadas), vamos a considerar exclusivamente tres tipos de elementos:

- Entablado superficial (1.b.3) compuesto por lamas de madera de pino de 10 cm de anchura y 3 cm de grosor con sus aristas mecanizadas y con una separación entre tablas de 1 cm (suelo drenante), que se disponen directamente sobre una estructura horizontal de apoyo.
- Estructura horizontal de apoyo (1.b.3), integrada por varias vigas de madera aserrada de 150x50 mm que se anclan, por un lado, en la fachada oeste del edificio (1.a.2) y que se apoyan, por el otro, en pilares (1.b.4) con los que se une mediante junta que permite el drenado.
- Estructura vertical de apoyo (1.b.4), compuesta por dos piezas de 150x50 mm que abrazan lateralmente los elementos horizontales con los que se unen, para la que consideraremos dos opciones:
  - ⇨ Que se apoye sobre una basa de piedra u hormigón de 30 cm de altura
  - ⇨ Que se clave en el terreno hasta una profundidad de 30 cm (solución no recomendable)

En todos los elementos consideraremos que el tejadillo ubicado en la fachada oeste no introduce ningún tipo de protección o agravamiento del riesgo.

Elemento en análisis	**Índice de exposición (I_{s0}) Emplear Tabla 3.4**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Entablado superficial (1.b.3)	3,3	3,0	3,7	3,3
Estructura horizontal de apoyo (1.b.3)	3,3	3,0	3,7	3,3
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) sobre basa	3,3	3,0	3,7	3,3
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) que se introduce en el terreno	-	-	-	-

Elemento en análisis	**Factor de severidad climática (k_{s1}) Emplear Tabla 3.6**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Entablado superficial (1.b.3)	1,0	1,1	1,0	1,1
Estructura horizontal de apoyo (1.b.3)	1,0	1,1	1,0	1,1
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) sobre basa	1,0	1,1	1,0	1,1
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) que se introduce en el terreno	1,0	1,1	1,0	1,1

Elemento en análisis	**Índice de exposición mesoclimática (I_s) $I_s = I_{s0}. k_{s1}$**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Entablado superficial (1.b.3)	3,3	3,3	3,7	3,6
Estructura horizontal de apoyo (1.b.3)	3,3	3,3	3,7	3,6
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) sobre basa	3,3	3,3	3,7	3,6
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) que se introduce en el terreno	-	-	-	-

Elemento en análisis	**Factor por geometría (k_{s2}) Emplear Tabla 3.7**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Entablado superficial (1.b.3)	1,0	1,0	1,0	1,0
Estructura horizontal de apoyo (1.b.3)	1,0	1,0	1,0	1,0
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) sobre basa	1,0	1,0	1,0	1,0
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) que se introduce en el terreno	1,0	1,0	1,0	1,0

Elemento en análisis	**Factor por alero y cornisas (k_{s3}) Emplear Tabla 3.8**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Entablado superficial (1.b.3)	1,0	1,0	1,0	1,0
Estructura horizontal de apoyo (1.b.3)	1,0	1,0	1,0	1,0
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) sobre basa	1,0	1,0	1,0	1,0
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) que se introduce en el terreno	1,0	1,0	1,0	1,0

Elemento en análisis	**Factor por distancia al suelo (k_{s4}) Emplear Tabla 3.9**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Entablado superficial (1.b.3)	1,0	1,0	1,0	1,0

Estructura horizontal de apoyo (1.b.3)	1,0	1,0	1,0	1,0
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) sobre basa	1,0	1,0	1,0	1,0
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) que se introduce en el terreno	2,0	2,0	2,0	2,0

Elemento en análisis	**Factor por diseño constructivo (k_{s5}) Emplear Tabla 3.10**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Entablado superficial (1.b.3), nivel "Bueno"	1,0	1,0	1,0	1,0
Estructura horizontal de apoyo (1.b.3), nivel "Medio"	1,2	1,2	1,2	1,2
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) sobre basa	0,9	0,9	0,9	0,9
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) que se introduce en el terreno, nivel "Muy bajo"	1,6	1,6	1,6	1,6

Considerando el conjunto de coeficientes y los valores de la exposición mesoclimática, los valores de la exposición característica por elementos quedarán como sigue:

Elemento en análisis	**Índice de exposición característica (I_{sk}) $I_s = I_{s0}. k_{s1}.k_{s2}.....k_{si}$**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Entablado superficial (1.b.3)	3,3	3,3	3,7	3,6
Estructura horizontal de apoyo (1.b.3)	4,0	4,0	4,4	4,4
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) sobre basa	3,0	3,0	3,3	3,3
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) que se introduce en el terreno	-	-	-	-

Y la asignación a clases de uso:

Elemento en análisis	**Asignación a clases de uso**			
	Madrid	**Barcelona**	**Oviedo**	**Valencia**
Entablado superficial (1.b.3)	CU3.1	CU 3.1	CU3.2	CU3.2
Estructura horizontal de apoyo (1.b.3)	CU3.2	CU3.2	CU3.2	CU3.2
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) sobre basa	CU3.1	CU3.1	CU3.1	CU3.1
Estructura vertical de apoyo (1.b.4) que se introduce en el terreno	CU4*	CU4*	CU4*	CU4*
(*) en el caso de que los pilares se enterraran en arena de playa o en zona de ría sería CU5				

Ejemplo 2: Banco expuesto al exterior

Supongamos que se quiere diseñar un banco expuesto al exterior formado por un tablero alistonado, en disposición horizontal, con unan anchura de 30 cm y 25 mm de espesor, ubicado al exterior en Ourense (Galicia) con el diseño establecido en la Fig. A.1.2.

Figura A.1.2 Banco al exterior ubicado en Ourense

Analicemos cual debería ser la asignación de la clase de uso correspondiente al tablero alistonado que forma el banco:

Variable	**Localidad Ourense**	**Observaciones**
Índice de exposición básica I_{so}	3,7	
Factor de severidad climática k_{s1}	1,0	Factor medio por estar totalmente expuesto pero alejado del mar, Tabla 3.6
Factor de geometría k_{s2}	0,9	Espesor menor de 28 mm, Tabla 3.7
Factor alero k_{s3}	1,0	No hay aleros, se aplica valor 1,0
Factor distancia al suelo k_{s4}	1,0	Distancia mayor de 300 mm, Tabla 3.9
Factor diseño k_{s5}	1,6	Nivel *Muy Bajo* de Tabla 3.10
Índice de exposición característica I_{sk}	5,3	
Clase de uso	**4**	I_{sk}**=5,3 > 4,5** en Tabla 3.12

En este caso, le correspondería una clase de uso 4.

ANEXO 2
ESTIMACIÓN DE LA DURABILIDAD DEL DURAMEN DE ESPECIES COMERCIALES EN LAS DISTINTAS CLASES DE USO

Introducción

La norma UNE-EN 350: 2016 clasifica las distintas especies de madera por la durabilidad natural (sin haber recibido ningún tratamiento) del duramen frente a hongos xilófagos, insectos de ciclo larvario y termitas. La norma también clasifica la impregnabilidad de la albura y del duramen, así como el tamaño de la albura, lo que resulta de gran utilidad para aportar indicaciones referidas a su aptitud en las distintas condiciones de uso.

CLASIFICACIONES SEGÚN LA NORMA UNE-EN 350:2016

Clases de durabilidad frente a hongos

DC1	Muy durable
DC2	Durable
DC3	Moderadamente durable
DC4	Ligeramente durable
DC5	No durable

Clases de durabilidad frente a insectos de ciclo larvario

D	Durable
S	No Durable
n/a	Insuficientes datos disponibles

Clases de durabilidad frente a las termitas subterráneas

D	Durable
M	Moderadamente durable
S	No Durable

Clases de impregnabilidad

1	Fácil de tratar
2	Moderadamente fácil de tratar
3	Difícil de tratar
4	Extremadamente difícil de tratar
n/s	Insuficientes datos disponibles
v	La especie muestra un elevado nivel de variabilidad

Clasificación por el tamaño de la albura

vs	Muy reducido (<2 cm)
s	Reducido (2 cm a 5 cm)
m	Medio (> 5 cm a 10 cm)
b	Elevado (>10 cm).
x	No existe diferencia de aspecto entre albura y duramen, lo que imposibilita su distinción

Además de lo anterior y tomando como base la clasificación establecida en la norma francesa FD P20-651[24] es posible estimar, de manera aproximada, la vida de servicio del duramen de las diferentes especies de madera en función de su durabilidad natural y de la clase de uso en que queden expuestas.

DATOS DE LA NORMA FRANCESA FD P20-651[24]

Clases de longevidad

L3: superior a 100 años
L2: entre 50 y 100 años en el uso inicialmente previsto
L1: entre 10 y 50 años en el uso inicialmente previsto
N: inferior a 10 años o incierta. No se recomienda su empleo.

En la Tabla A2.1 se considera la longevidad del duramen de algunas especies de madera habituales en el mercado español en función de las distintas clases de empleo en que queden expuestas.

Tabla A2.1

Soluciones basadas en el empleo directo de madera de duramen sin tratar

Especie de madera			Durabilidad[24] frente a hongos según clases de uso[25]					Durabilidad frente a insectos larvarios	Durabilidad frente a termitas
Nombre comercial	Denominación botánica	Código	1	2	3.1	3.2	4		
FRONDOSAS BOREALES									
Arce europeo	*Acer pseudoplatanus*	ACPS	L3	L2	N	N	N	D	S
Castaño europeo	*Castanea sativa*	CTST	L3	L3	L3	L2	L1*	D	S
Fresno común	*Fraxinus excelsior*	FXEX	L3	L2	N	N	N	S	S
Haya	*Fagus sylvatica*	FASY	L3	L2	N	N	N	S	S
Robinia	*Robinia pseudoacacia*	ROPS	L3	L3	L3	L2	L1	D	D
Roble europeo	*Quercus* spp.	QCXE	L3	L3	L3	L2	L1*	D	M
Roble rojo americano	*Quercus* spp.	QCXR	L3	L2	L1	N	N	D	S
CONÍFERAS									
Abeto	*Abies alba*	ABAL	L3	L2	L1	N	N	S	S
Alerce	*Larix decidua*	LADC	L3	L3	L2	L1	N	D	S
Picea	*Picea abies*	PCAB	L3	L2	L1	N	N	S	S
Pinos amarillos del sur de los EE.UU	*Pinus elliotti* y *Pinus taeda* (0,66 ≤ densidad ≤ 0,69)	PNPL	L3	L3	L1	L1	N	D	S
Pino laricio	*Pinus nigra*	PNNN	L3	L2	L1	N	N	D	S
Pino marítimo	*Pinus pinaster*	PNPN	L3	L3	L2	L1	N	D	S
Pino radiata	*Pinus radiata* (densidad≥ 0,48)	PNRD	L3	L2	L1	N	N	S	S
Pino silvestre	*Pinus sylvestris*	PNSY	L3	L3	L1	L1	N	D	S
FRONDOSAS TROPICALES									
Bilinga	*Nauclea diderrichii*	NADD	L3	L3	L3	L2	L1	n/a	D
Cumarú	*Dypterix* spp.	DXXX	L3	L3	L3	L2	L1	D	D
Ipe	*Handroanthus spp.*	TBXX	L3	L3	L3	L2	L1	D	D
Iroko	*Milicia excelsa&regia*	MIXX	L3	L3	L3	L2	L1	D	D
Mansonia/Beté	*Mansonia altissima*	MAAL	L3	L3	L3	L2	L1	D	M
Okoumé	*Aucoumea klaineana*	AUKL	L3	L2	L1	N	N	D	S
Sapelli	*Entandrophragma cylindricum*	ENCY	L3	L3	L2	L1	N	D	M
Tali/Elondo	*Erytrophleum* spp.	EYXX	L3	L3	L3	L2	L1	D	D

Nota: Se asume que los insectos xilófagos de ciclo larvario y los sociales (termitas) pueden actuar en cualquier clase de uso.
(*) En estas especies, sólo se podrá alcanzar una longevidad equivalente a L1 en una clase de empleo 4, si los elementos no se encuentran en contacto directo con el terreno.

En el caso de que la partida de madera a emplear contenga albura, está deberá recibir un tratamiento que permita garantizar la vida de servicio deseada.

En España, los tratamientos recomendables para cada clase de uso se definirán en la norma UNE 56419 que está siendo elaborada en el momento de redactar este documento. Mientras tanto puede consultarse lo indicado en el Código Técnico (DB-SE-M) para productos estructurales o la norma francesa NF B 50-105-3[26], para el resto de los productos.

[24] Clases de longevidad conforme con la norma francesa FD P20-651 *durabilité des éléments et ouvrages en bois*

[25] Clases de uso conforme a la norma europea UNE-EN 335

[26] NF B 50-105-3: *Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois* - Bois massif traité avec produit de préservation Performances de prévention des bois et attestation de traitement - Adaptation à la France métropolitaine.

ANEXO 3
CONSIDERACIONES SOBRE LA DURABILIDAD DE LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Pese a la abundante información disponible, todavía existen afirmaciones de tipo global, como que los edificios construidos con hormigón o acero duran más que los construidos con madera.

La vida útil de cualquier edificio, independientemente del material utilizado para su construcción, depende de la sabia prescripción de los materiales y productos más adecuados en cada condición de uso, del inteligente diseño de las soluciones constructivas, de la cuidadosa instalación y montaje, así como del mantenimiento correcto de los acabados y sistemas de protección.

Las descalificaciones de tipo general sobre cualquier material y/o producto hay que contrastarlas con las experiencias reales. En el caso de la madera, por ejemplo, nos encontramos con que la nave original de almacenamiento de sal de las minas de Cardona, que data de comienzos del siglo XX está en perfecto estado y uso mientras que la ampliación efectuada a finales de los 90 con hormigón armado está en estado de ruina. Por otra parte, el edificio de madera más antiguo del mundo, el templo Horyu-ji en Japón, fue construido en el año 607 y todavía sigue en uso pese a haber sufrido varios terremotos. Así mismo existen en Noruega iglesias de madera del siglo XII y numerosas medievales de entramado pesado repartidas por toda Europa, que siguen desempeñando sus funciones. Es necesario poner de manifiesto que todos estos edificios se mantienen en perfecto estado de uso tanto por la adecuación del diseño a los materiales empleados así como por el correcto mantenimiento efectuado a lo largo del tiempo.

En un momento de la historia en el que los valores ambientales van ganando prioridad en todos los ámbitos de la tecnología, la construcción ha de basarse en el empleo de productos y diseños que aseguren la funcionalidad de los materiales y sistemas constructivos, que minimicen los impactos ambientales durante toda la vida útil prevista y que permitan su fácil reutilización o reciclado cuando la vida útil de los edificios se haya agotado.

La vida útil del edificio es uno de los principales datos a tener en cuenta en la construcción sostenible. Esto se debe a que el análisis de ciclo de vida (ACV) del edificio debe incluir también los impactos relacionados con el mantenimiento, la sustitución de componentes y las renovaciones que deban realizarse. Es por ello por lo que la durabilidad es un factor esencial para asegurar la sostenibilidad en el proceso constructivo. A este respecto no hay que olvidar que lo más importante es asegurar que la vida útil del edificio coincide con la programada, ya que si es menor se originarían nuevos costes e impactos medio ambientales correspondientes a la reparación o reconstrucción del edificio.

Por otro lado, cuando la vida útil del edificio es inferior a la de los materiales y elementos que lo componen, el edificio debería ser diseñado de forma que pudiera o ser fácilmente adaptado a nuevos usos o ser desmontado para poder reutilizar o reciclar los materiales utilizados.

Por ello es necesario adoptar un enfoque realista respecto de la durabilidad. Por ejemplo, numerosos documentos señalan que el hormigón utilizado en edificios debe durar por lo menos 100 años, pero en un estudio realizado en Estados Unidos (O'Connor, 2004a) sobre la vida útil de los edificios se indican y cuantifican, expresados en porcentaje, los principales motivos de demolición de edificios:

- Desarrollo de la zona 35,55 %
- Condiciones físicas 30,60 %
- No cumplían con las necesidades 21,40 %
- Daños originados por el fuego (*) 7,00 %
- Exigencias de los códigos muy costosas 2,00 %
- Cambios del valor del suelo 1,10 %
- Uso no deseable desde el punto de vista social 0,20 %

- Mantenimiento muy costoso 0,20 %
- Otros 2,00 %

Los datos de la Tabla anterior ponen de manifiesto que tan solo en un 30,6% es el estado físico de los componentes del edificio el que determina su demolición, lo cual nos debería hacer reflexionar tanto sobre la durabilidad exigible a los materiales como sobre la vida útil que debería ser programada, para así conseguir que los edificios no sean derribados en perfecto estado de uso.

En otro trabajo del mismo autor (O'Connor *et al.,* 2004b) y tras realizar 683 entrevistas a arquitectos, ingenieros, constructores y promotores de Estados Unidos y Canadá, se obtuvieron los siguientes datos sobre la vida media esperada en edificios no residenciales fabricados con diferentes materiales:

- Ladrillo - piedra: 77,0 años
- Madera 52,0 años
- Hormigón 87,0 años
- Acero 77,0 años

Estos datos es conveniente contrastarlos con las conclusiones de otro estudio (Horst y Argeles, 2004) sobre los edificios demolidos entre 2000 y 2003 en el área de Minneapolis (EEUU), en el que se aportan los siguientes datos:

- Solamente 8 edificios (3,5 %) fueron demolidos debido a un fallo estructural.
- Más de la mitad de los edificios de hormigón se demolieron en un periodo comprendido entre 26 y 50 años; y solamente un tercio de ellos superaba los 50 años.
- Aproximadamente el 80% de los edificios de acero demolidos tenían menos de 50 años, y la mitad de estos tenía menos de 25 años.
- Los edificios de madera eran los más antiguos; la mayoría con más de 75 años.

Un estudio del Instituto Athena (Athena Institute, 2004, Ramage *et al.* 2017) sobre las empresas de demoliciones muestra que de un total de 227 edificios demolidos en Minesota, únicamente 8 lo fueron a causa de un problema específico con el material estructural; y, de los 27 edificios de madera con más de 100 años de antigüedad, ninguno fue demolido por causa del estado del material.

La comparación entre los trabajos nos permite extraer dos claras conclusiones:

1. Que la vida útil de los edificios de madera es, en muchos casos, superior a la esperada, lo que pone de manifiesto la existencia de una desconfianza y un desconocimiento sobre el material y sus derivados.
2. Que la facilidad de llevar a cabo los necesarios procesos de renovación, reutilización o demolición en los edificios debería ser un factor a tener en cuenta desde la fase de diseño, aspecto este en el que la construcción con madera aporta notables ventajas respecto del resto de materiales de construcción.

En la Tabla A.3.1 se puede consultar una clasificación de las estructuras por su vida útil esperada, que permite clarificar la exigencia de durabilidad aplicable a las estructuras y productos de madera. Analizando los contenidos de la Tabla A.2.1, incluida en el anexo 2, se podrá constatar la gran cantidad de maderas que alcanzan sin necesidad de tratamiento las exigencias de vida útil contempladas en esta Tabla A.3.1, lo que a su vez nos permite hacer una llamada a la racionalidad sobre las actuales exigencias de tratamiento de los productos.

Tabla A.3.1

Vida útil de cálculo indicativa

Categoría de vida útil de cálculo	Vida útil de cálculo indicativa	Ejemplos
1	10	Estructuras temporales

2	10 a 50	Partes de estructuras reemplazables, por ejemplo: aparatos de apoyo
3	15 a 30	Estructuras agrícolas y similares
4	50	Estructuras de edificios y otras estructuras comunes
5	100	Estructuras de edificios monumentales, puentes de ingeniería civil

Fuente: Eurocódigo 0 (UNE-EN 1990:2003)

Por otra parte, en la Tabla A2.1 del anexo 2 se puede constatar la enorme variabilidad existente entre las distintas especies de madera y su resistencia natural frente a los diferentes organismos xilófagos. Cuando sea necesario realizar una protección química, ésta deberá ser más o menos profunda (expresada en térmicos de mm de penetración) e intensa (expresada en términos de kg/m^3 de retención de producto protector en la zona tratada) en función de la clase de uso, consecuencia en muchos casos del diseño empleado o del mantenimiento periódico previsto (de ahí la enorme importancia de ambos factores en la construcción con madera). En el caso de ser necesario aplicar una protección química en profundidad es importante emplear maderas impregnables que acepten adecuadamente los tratamientos previstos, alcanzando de este modo los niveles de penetración y retención exigidos por la normativa de tratamiento.

Tal y como se ha podido constatar en la presente guía, cuando se trabaja con madera el diseño constructivo debe orientarse a evitar la acumulación de agua, a favorecer la ventilación y el fácil secado de la madera y a evitar que la humedad pueda penetrar en el interior del material por absorción desde elementos constructivos colindantes. Esta estrategia permite rebajar el riesgo de degradación (lo que permite reducir la clase de uso), aumentar el número de especies de maderas aceptables sin tratamiento y, en todo caso, reducir la intensidad (en términos de penetración y retención) del tratamiento. La prescripción de maderas refractarias (maderas difíciles de tratar, pertenecientes a las clases de impregnabilidad 3 y 4 de la norma UNE-EN 350:2016) en las obras siguiendo razones estéticas, de moda o de precio, en condiciones de uso en las que las maderas han de incorporar tratamientos químicos en profundidad propiciará una importante disminución de la vida útil del proyecto.

Aunque el diseño constructivo consigue en muchos casos disminuir la necesidad de presencia de productos químicos es importante tener claro que si fuese preciso aplicar un tratamiento químico, los principios activos de los protectores de la madera son aprobados tras un exhaustivo control de su eficacia y efectos secundarios al medioambiente. En Europa, la toxicidad medioambiental y la eficacia de los productos activos se evalúan de acuerdo con lo establecido en el Reglamento europeo sobre productos Biocidas (528/2012) y los productos protectores utilizados en Europa deben estar registrados en el Registro Europeo de Biocidas.

Respecto de los adhesivos usados en tableros, perfiles y elementos estructurales laminados la normativa europea, de obligado cumplimiento para los productos bajo Marcado CE, es especialmente rigurosa respecto del control de su comportamiento resistente, así como de la posible emisión y contenido de productos volátiles.

Finalmente y respecto de la durabilidad de los productos tratados, en la Tabla A.3.2 se aporta una información orientativa, ya que siendo el número de principios activos, y de productos protectores, muy amplio la casuística también lo será. Como ya se ha comentado, los agentes xilófagos que mayor influencia tienen en la degradación de la madera son los hongos de pudrición y las termitas, y, en casos particulares, los xilófagos marinos, por lo que los datos que se exponen en la Tabla A.3.2 están sobre todo enfocados a estos agentes.

Tabla A.3.2

Durabilidad artificial - madera tratada

Clase de uso	Protector	Método tratamiento en autoclave	Vida útil esperada (años)

1	Sales hidrosolubles en disolvente orgánico	Vacío - presión Doble vacío	> 60 > 60
2	Sales hidrosolubles en disolvente orgánico	Vacío - presión Doble vacío	> 60 > 60
3	Sales hidrosolubles en disolvente orgánico	Vacío - presión Doble vacío	> 30 > 15 - 30
4	Sales hidrosolubles Creosota	Vacío - presión	> 15 - 25 > 24 - 30
5	Creosota[(a)]	Vacío - presión	> 7 - 80 [(a)]

(a) En Norteamérica y en Australia, todavía se permite la utilización de las sales de arsénico (CCA), cuya utilización está restringida en Europa, y en algunos casos se realiza un doble tratamiento (primero con sales CCA y después con creosota), lo que incrementa muy notablemente la durabilidad de las maderas tratadas. Los datos aportados por los estudios efectuados en Australia (www.woodsolutions.com.au) están clasificados en función de la zona costera, del tipo de construcción, de la especie de madera (frondosa o conífera), del producto protector, variando de la forma siguiente:
- tratamiento con sales CCA: mínimo de 5 años / máximo de 60 años,
- tratamiento con creosota: mínimo de 7 años / máximo de 80 años,
- tratamiento doble, con CCA seguido de un tratamiento con creosota: mínimo de 9 años / máximo de 100 años

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos tomados de la bibliografía técnica y de los aportados por los fabricantes de productos protectores.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se lleva a cabo en el seno del proyecto BIA2013-42434R del Plan Estatal, financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad español. El trabajo se ha beneficiado del empleo de los datos y cálculos meteorológicos suministrados por la Agencia Española de Meteorología (AEMET).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AENOR, UNE 56418:2016. *Protocolo de actuación en cascos urbanos afectados por ataques de termitas subterráneas.*

AENOR, UNE 56419:1991. *Madera tratada. Especificaciones para la protección de la madera y materiales derivados de la madera tratados con productos protectores. Evaluación y certificación de los tratamientos.*

AENOR, UNE-EN 335:2013. *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Clases de uso: definiciones, aplicación a la madera maciza y a los productos derivados de la madera.*

AENOR, UNE-EN 350:2016. *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Ensayos y clasificación de la resistencia a los agentes biológicos de la madera y de los productos derivados de la madera.*

AENOR, UNE-EN 351-1:2008. *Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 1: Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores.*

AENOR, UNE-EN 927-1:2013. *Pinturas y barnices. Materiales de recubrimiento y sistemas de recubrimiento para madera exterior. Parte 1: Clasificación y selección*.

AENOR, UNE-EN 1990:2003. Eurocódigos. *Bases de cálculo de estructuras*.

AENOR, UNE-EN 13183-1/AC:2004. *Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa*.

AENOR, UNE-EN 13183-2:2002. *Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica.*

AENOR, UNE-EN ISO 13788:2016. *Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo*.

AFNOR, FD P20-651:2011. *Durabilité des éléments et ouvrages en bois*. AFNOR éditions.

AFNOR, NF B 50-105-3: *Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Bois massif traité avec produit de préservation Performances de prévention des bois et attestation de traitement - Adaptation à la France métropolitaine*.

ATHENA INSTITUTE (2004). *Minnesota Demolition Survey*. Technical Report. (http://briscoman.com/sites/default/files/Athena_Demolition_Survey.pdf)

CSTB, NF DTU 31.2:2011. *Construction des maisons et bâtiments à ossature en bois*. CSTB éditions.

CSTB, NF DTU 36.5:2010. *Mise en œuvre des fenêtres et portes extérieures* (P20-202). CSTB éditions.

CSTB, NF DTU 41.2:2015. *Revêtements extérieurs en bois* (P65-210). CSTB éditions.

CSTB, NF DTU 43.4:2008. *Toitures en éléments porteurs en bois et panneaux dérivés du bois avec revêtement d'étanchéité* (P84-207). CSTB éditions.

CSTB, NF DTU 51.4:2010. *Platelages extérieurs en bois* (P63-205). CSTB éditions.

FERNANDEZ-GOLFIN, J.I.; LARRUMBIDE, E.; RUANO, A.; GALVAN, J.; CONDE, M (2016). *Wood decay hazard in Spain using the Scheffer index: proposal for an improvement*. Eur. J. Wood Prod. (2016). 74 (4): 591-599. DOI: 10.1007/s00107-016-1036-z.

FROHNSDORFF, G.; MASTERS, L.W.; MARTIN, J. (1980). *An Approach to Improved durability tests for building materials and components*. Report No NBS-TN-1120. National Bureau of Standards. Washington DC, USA 35 pp.

HORST, S.; ARGELES, C. (2004). *Minnesota demolition survey: phase two report*. Athena Sustainable Materials Institute.

JERMER, J. *(Editor); THELANDERSSON, S.; VIITANEN, H.; TORATTI, T.; GRÜLL, G.; STEITZ, A.; MICHAEL, T.; BADER, T.; ALFREDSEN, G.; SUTTIE, E.; DE WINDT, I.; VAN ACKER, J.; BOLLMUS, S.; PODGORSKI, L.* (2011). *WoodExter-Service life and performance of exterior wood above ground*. Final SP Report 2011:53.

MINISTERIO DE FOMENTO (2009). Documento Básico SE-M *Seguridad Estructural Madera*. Código Técnico de la Edificación.

MINISTERIO DE FOMENTO (2013). Documento Básico HE Ahorro de Energía, Sección HE 1 *Limitación de la demanda energética*. Código Técnico de la Edificación.

MINISTERIO DE FOMENTO (2017). Documento Básico HS Salubridad, Sección HS 1 *Protección frente a la humedad*. Código Técnico de la Edificación.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO (2013). *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. Edita Secretaria de Estado de Energía, Dirección General de Política Energética y Minas.

O'CONNOR, J. (2004a). *Survey on actual service lives for North American buildings*. Presented at Woodframe Housing Durability and Disaster Issues conference, Las Vegas, October.

O'CONNOR, J.; FELL, D.; KOZAK, R. (2004b). *Potential for increased wood-use in North American non-residential markets* – Part II. Forintek Canada Corp.

RAMAGE, M.H.; BURRIDGE, H.; BUSSE-WICHER, M.; FEREDAY, G.; REYNOLDS, T.; SHAH, D.U.; WU, G.; YU, L.; FLEMING, P.; DENSLEY-TINGLEY, D.; ALLWOOD, J.; DUPREE, P.; LINDEN, P.F.; SCHERMAN, O. (2017). *The wood from tress: the use of timber in construction.* Renewable and sustainable energy review 68(2017): 333-359.

SCHEFFER TC (1971) *A climate index for estimating potential for decay in wood structures above ground*. Forest Prod J 21(10):25–31

THELANDERSSON, S; ISAKSSON, T; SUTTIE, E; FRÜHWALD HANSSON, E; TORATTI, T; GRÜLL, G; VIITANEN, H; JERMER, J. (2011a). *Quantitative design guideline for wood in outdoor above ground applications*. IRG/WP 11-20465. IRG, Stockholm.

THELANDERSSON, S; ISAKSSON, T; SUTTIE, E; FRÜHWALD HANSSON, E; TORATTI, T; GRÜLL, G; VIITANEN, H; JERMER, J. (2011b). *Service life of wood in outdoor above ground applications: Engineering design guideline. Background document*. Rapport TVBK-3061, ISSN 0349-4969. Lund University, Sweden.

THELANDERSSON, S. (2013). *Service life evaluation of wood-an engineering approach*. IRG/WP 13-20515. IRG, Stockholm.

TOUZA, M.C. (2013). *Guía de la Madera. Capítulo 2: Durabilidad*. Documento de Aplicación del CTE. Edita Confemadera Habitat. 96 pp.