

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA BASADOS EN ELEMENTOS DE MADERA



Estudiante: Menendez Bilbao, Uxue

Director/Directora: Cuadrado Rojo, Jesus

Curso: 2022-2023

Fecha: Bilbao, Septiembre de 2023

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre un análisis comparativo de sistemas de construcción industrializada basados en elementos de madera. En base a los conocimientos adquiridos durante el postgrado, se han examinado y estudiado los diferentes métodos constructivos, como el entramado ligero y la madera contralaminada, con el fin de visibilizar la madera como material de construcción y concienciar para el futuro. La sostenibilidad y la eficiencia energética son dos aspectos que salen a relucir como características principales de estos dos sistemas, características que a día de hoy son fundamentales para diseñar y planificar edificios de cualquier tipo de uso.

LABURPENA

Lan hau zurezko elementuetan oinarritutako eraikuntza industrializatuko sistemen analisi konparatibo bati buruzkoa da. Gradu-ondokoa eskuratutako ezagutzetan oinarrituta, eraikuntza-metodoak aztertu dira, hala nola egitura arina eta zur kontralaminatua, zura eraikuntza-material gisa ikusarazteko eta etorkizunerako kontzientziatzeko. Jasangarritasuna eta eraginkortasun energetikoa bi sistema horien ezaugarri nagusiak dira, eta gaur egun ezaugarri horiek funtsezkoak dira edozein erabileratako eraikinak diseinatzeko eta planifikatzeko.

SUMMARY

This paper deals with a comparative analysis of industrialised construction systems that are based on wood elements. Guided by the knowledge acquired during the postgraduate course, the different construction methods such as lightweight framing and cross-laminated timber have been examined and studied with the following aims: increasing the visibility of the wood as a building material and to raising awareness for the future. Sustainability and energy efficiency are two of the aspects that come to the fore as the main characteristics of these two systems, which nowadays are fundamental to design, plan and construct buildings of any type of use.

PALABRAS CLAVE

Sostenibilidad: Principio de asegurar las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones, siempre sin renunciar a la protección del medioambiente, el crecimiento económico y el desarrollo social.

Futuro: Que existirá o sucederá en un tiempo posterior al presente.

Eficiencia energética: Conjunto de acciones que permiten mejorar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios que se obtienen a partir de su uso, sin afectar la calidad de vida de los usuarios.

Visibilidad: Capacidad de llegar a ser encontrado, visto y conocido por el mayor número de usuarios posible, particularmente aquellos que forman parte de su público objetivo.

Construcción: Hacer obras duraderas, especialmente edificaciones, empleando para ello los saberes de la ingeniería, la arquitectura y el diseño.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. CONSTRUCCIÓN EN MADERA.....	9
2.1. EVOLUCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA	9
2.2. NORMATIVA	12
2.2.1. PRECEDENTES	12
2.2.2. SITUACIÓN ACTUAL.....	14
2.2.3. FUTURO.....	15
3. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	16
3.1. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES.....	17
3.1.1. EJEMPLOS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES.....	18
3.1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	20
3.2. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS INDUSTRIALIZADOS	22
3.2.1. EJEMPLOS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS INDUSTRIALIZADOS	23
3.2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	25
3.3. COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES E INDUSTRIALIZADOS.....	26
4. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS INDUSTRIALIZADOS EN MADERA.....	28
4.1. MADERA CONTRALAMINADA (CLT).....	29
4.1.1. HISTORIA DEL CLT	30
4.1.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES.....	34
4.1.3. FABRICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN	37
4.1.4. APLICACIONES.....	41
4.1.5. MATERIAL.....	43
4.1.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	44

4.2. ENTRAMADO LIGERO.....	46
4.2.1. HISTORIA DEL ENTRAMADO LIGERO.....	47
4.2.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES.....	50
4.2.3. FABRICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN	52
4.2.4. APLICACIONES.....	57
4.2.5. MATERIAL.....	58
4.2.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	59
4.3. COMPARACIÓN ENTRE EL CLT Y EL ENTRAMADO LIGERO	61
5. EDIFICIOS CONSTRUIDOS EN MADERA	65
6. ELEMENTOS INDUSTRIALIZADOS DE MADERA.....	79
6.1. FACHADAS DE CLT.....	80
6.2. FACHADAS DE ENTRAMADO LIGERO	82
6.3. COMPARACION ENTRE FACHADAS DE CLT Y ENTRAMADO LIGERO.....	85
6.3.1. EJEMPLOS DE COMPARACIÓN DE FACHADAS CON DX PIME	88
7. CONCLUSIONES	100
8. BIBLIOGRAFÍA.....	102

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Datos del edificio Brock Commons Tallwood House</i>	66
<i>Tabla 2: Datos del edificio THE TREET</i>	67
<i>Tabla 3: Datos del edificio CASA DE LA CASCADA</i>	68
<i>Tabla 4: Datos del edificio MAGGIE'S OLDHAM</i>	69
<i>Tabla 5: Datos del edificio STADTHAUS</i>	70
<i>Tabla 6: Datos del edificio BAOBAB</i>	71
<i>Tabla 7: Datos del edificio Mjøstårnet</i>	72
<i>Tabla 8: Datos del edificio CASA EAMES</i>	73
<i>Tabla 9: Datos del edificio THE SMILE</i>	74
<i>Tabla 10: Datos del edificio CARBON12</i>	75
<i>Tabla 11: Datos de edificio MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE UTAH</i>	76
<i>Tabla 12: Datos del edificio 25 KING</i>	77
<i>Tabla 13: Datos del edificio T3 MINNEAPOLIS</i>	78
<i>Tabla 14: Datos de Entramado Ligero con acabado exterior de madera</i>	89
<i>Tabla 15: Datos de CLT con acabado exterior de madera</i>	90
<i>Tabla 16: Datos de Entramado Ligero con acabado exterior de SATE</i>	91
<i>Tabla 17: Datos de CLT con acabado exterior de SATE</i>	92
<i>Tabla 18: Datos de Entramado Ligero con acabado exterior metálico</i>	93
<i>Tabla 19: Datos de CLT con acabado exterior metálico</i>	94
<i>Tabla 20: Datos de Entramado Ligero con acabado exterior de piedra</i>	95
<i>Tabla 21: Datos de CLT con acabado exterior de piedra</i>	96
<i>Tabla 22: Datos de Entramado Ligero con acabado exterior de lamas</i>	97
<i>Tabla 23: Datos de CLT con acabado exterior de lamas</i>	98

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Vivienda con Entramado Ligero</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 2: Construcción con madera década 90.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 3: Voladizo de 19 metros</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 4: Casa de adobe.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 5: Construcción con mampostería de piedra</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 6: Casa de madera</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 7: Mampostería de ladrillo</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 8: Estructura de hormigón armado</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 9: Muro de panel sándwich.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 10: Vivienda de módulo prefabricado.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 11: Construcción de acero ligero.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 12: Módulo de hormigón</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 13: Sistema de fachada ventilada.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 14: Cabaña de troncos</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 15: Laboratorio de Oregon State University</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 16: El primer edificio en altura de CLT de América Latina</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 17: Edificio The Smile</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 18: Primer edificio en altura de CLT de América Latina</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 19: Diseño de una estructura de madera.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 20: Cámara de secado de madera</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 21: Capas de tabla CLT.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 22: Abertura de puerta</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 23: Montaje de fachada CLT.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 24: Uniones entre elementos de CLT.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 25: Ventanas y puertas en fachadas de CLT</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 26: Aislamiento en CLT</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 27: Unifamiliar de CLT.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 28: Apartamentos de CLT.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 29: Polideportivo con estructura de CLT</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 30: Puente con CLT.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 31: Construcción de Entramado Ligero en la antigüedad.....</i>	<i>47</i>

<i>Ilustración 32: Fábrica de Entramado Ligero.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 33: Vivienda de ENtramado ligero.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 34: Diseño de una vivienda de Entramado Ligero.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 35: Troncos de pino.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 36: Troncos de abeto</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 37: Elementos para el Entramado Ligero.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 38: Montaje y aberturas en una pared de Entramado Ligero.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 39: Montaje de paredes de Entramado Ligero</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 40: Montaje de Entramado Ligero.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 41: Colocación del aislamiento en Entramado Ligero.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 42: Edificio construido con Entramado Ligero</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 43: Vivienda unifamiliar de Entramado Ligero</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 44: Restaurante de Entramado Ligero.....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 45: Módulos de escuela con Entramado Ligero</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 46: Composición y estructura del CLT</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 47: Composición y estructura del Entramado Ligero</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 48: Construcción de CLT.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 49: Construcción de Entramado Ligero.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 50: Edificio de CLT.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 51: Edificio de Entramado Ligero.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 52: Edificio Brock Commons Tallwood House</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 53: Edificio THE TREET</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 54: Edificio CASA DE LA CASCADA.....</i>	<i>68</i>
<i>Ilustración 55: Edificio MAGGIE'S OLDHAM</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 56: Edificio STADTHAUS.....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 57: Edificio BAOBAB.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 58: Edificio Mjøstårnet.....</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 59: Edificio CASA EAMES.....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 60: Edificio THE SMILE</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 61: Edificio CARBON12.....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 62: Edificio MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE UTAH</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 63: Edificio 25 KING</i>	<i>77</i>

<i>Ilustración 64: T3 MINNEAPOLIS</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 65: Fachada de CLT</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 66: Fachada de CLT</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 67: Fachada de CLT</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 68: Fachada de Entramado Ligero</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 69: Fachada de ENtramado Ligero</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 70: Fachada de Entramado Ligero</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 71: Fachada de CLT</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 72: Fachada de Entramado Ligero</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 73: Aislamiento en fachada de CLT</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 74: Aislamiento en fachada de Entramado Ligero</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 75: Entramado Ligero con acabado exterior de madera</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 76: CLT con acabado exterior de madera</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 77: Entramado Ligero con acabado exterior de SATE</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 78: CLT con acabado exterior de SATE</i>	<i>92</i>
<i>Ilustración 79: Entramado Ligero con acabado exterior metálico</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 80: CLT con acabado exterior metálico</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 81: Entramado Ligero con acabado exterior de piedra</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 82: CLT con acabado exterior de piedra</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 83: Entramado Ligero con acabado exterior de lamas</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 84: CLT con acabado exterior de lamas</i>	<i>98</i>

1. INTRODUCCIÓN

La construcción es una industria fundamental en el mundo, con una larga historia que abarca desde la época romana hasta la actualidad. Este sector desempeña un papel esencial en la economía de cada país, generando empleo y contribuyendo significativamente al desarrollo.

En las últimas décadas, España ha sido testigo de un auge en la construcción, con la creación de numerosas infraestructuras, viviendas y proyectos de envergadura. Sin embargo, este crecimiento también ha experimentado altibajos, particularmente durante la crisis económica de 2008, que tuvo un impacto significativo en el sector.

No obstante, la industria de la construcción ha experimentado una creciente demanda de soluciones eficientes, sostenibles y de rápida ejecución para satisfacer las necesidades de viviendas y edificaciones en todo el mundo. En este contexto, la construcción industrializada ha surgido como una opción innovadora y eficaz para abordar estas situaciones. Dentro de este enfoque, el uso de elementos de madera se ha convertido en una alternativa destacada que combina los beneficios de la prefabricación con los atributos sostenibles de este material renovable.

El presente trabajo se enfoca en realizar un análisis exhaustivo de las alternativas disponibles en el campo de la construcción industrializada, con una previa comparación con el sistema tradicional, y después examinando los avances tecnológicos, las propiedades de los elementos de madera, su proceso de fabricación y construcción, y las ventajas y desventajas que puede tener cada uno de los sistemas, comparándolos entre sí.

La madera, como material estructural, ha demostrado cualidades únicas que la hacen idónea para su implementación en sistemas prefabricados, tales como su ligereza, resistencia, durabilidad y capacidad para reducir la huella de carbono en comparación con otros materiales de construcción convencionales.

En el presente estudio se analizarán los beneficios asociados con la construcción industrializada con elementos de madera, tales como la reducción del tiempo de construcción, la optimización de recursos, la mejora de la eficiencia energética y la reducción de residuos.

También se examinarán los aspectos relacionados con la resistencia al fuego, la durabilidad, la acústica y la estética de las construcciones de este material, con el fin de evaluar su aplicabilidad en diferentes contextos geográficos y climáticos.

Por último, este trabajo tiene como objetivo proporcionar una visión integral de las opciones disponibles en la construcción industrializada de madera, destacando las ventajas y limitaciones de los sistemas. Se quiere visibilizar la construcción con la madera a nivel de Euskadi y de España, analizándola y comparándola con otros sistemas constructivos y otros materiales. El objetivo es concienciar para el futuro de la construcción.

2. CONSTRUCCIÓN EN MADERA

En este apartado se expondrá la evolución de la utilización de la madera en la construcción en España durante las últimas décadas, con el objetivo de reflexionar sobre la transformación en la percepción de este material.

A partir de la década de los años 80 del siglo pasado, se inicia un renacimiento en el empleo estructural de la madera en España, lo cual ha experimentado un cambio significativo en su relevancia en la industria de la construcción. Desde una utilización prácticamente inexistente, o limitada a casos esporádicos, la madera ha alcanzado un estatus de normalidad como material de construcción, y su presencia sigue en constante aumento.

Este análisis se ha llevado a cabo a través de una reflexión sobre los aspectos más destacados de este proceso, que incluyen la evolución de la normativa que rige su uso, la creciente tendencia hacia la conservación y evaluación de estructuras históricas y su creciente incorporación en proyectos de construcción. El cambio experimentado se hace más evidente cuando se compara la situación inicial hace aproximadamente 40 años o incluso tan solo hace 20 años. En consecuencia, se puede afirmar que la construcción con madera seguirá experimentando un crecimiento continuo en el futuro.

2.1. EVOLUCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA

La madera ha sido un material estructural constante en España a lo largo de la historia, a pesar de haber sido desplazada en gran parte del siglo XX por el hormigón armado y el acero. No obstante, su uso estuvo restringido a unos pocos ejemplos aislados, e incluso se evitaba en proyectos de restauración debido a la falta de confianza en comparación con los materiales más modernos.

La primera obra en España con una estructura de madera laminada encolada se remonta a 1967, cuando se construyó una nave para una fábrica de parquet en Navalcarnero, llevada a cabo por una empresa francesa. Esta obra consistió en pórticos con una luz de 16 metros y correas de madera aserrada.

Sin embargo, fue en la década de los años 80 cuando comenzó un proceso de recuperación gradual pero constante. La construcción de viviendas con entramado ligero tuvo sus primeros intentos alrededor de esa época, con experiencias en regiones como Galicia, Euskal Herria, Castilla La Mancha y Castilla León, entre otras. Además, empresas que importaban productos relacionados desde países del norte de Europa se unieron a este movimiento.



Ilustración 1: Vivienda con Entramado Ligero

En la década de los años 90, en los países del Centro de Europa, surgieron diversos sistemas constructivos para forjados y muros que se conocían como sistemas masivos. Estos sistemas se basaban en placas fabricadas principalmente con madera aserrada, a veces combinada con otros materiales, o bien consistían en láminas de madera unidas mediante pasadores de madera, sin necesidad de adhesivos o herrajes. Uno de los rasgos notables de estos sistemas era su gran esbeltez, con una relación luz/altura (l/40) que permitía cubrir luces de hasta siete metros con placas de tan solo 160 mm de espesor.

Este enfoque constructivo ofrecía una elevada capacidad de resistencia, incluso frente a cargas puntuales considerables, y no requería madera de alta calidad. Además, demostraba un buen comportamiento en situaciones de incendio y acústica, si bien podía presentar desafíos en términos de vibraciones en casos de esbelteces extremas.



Ilustración 2: Construcción con madera década 90

El propósito principal de estos sistemas era la prefabricación de elementos constructivos de superficie con espesores reducidos, al mismo tiempo que incorporaban funciones de aislamiento térmico y acústico. En esta misma década, se introdujo en Alemania y Austria la madera contralaminada, que experimentó un notable aumento en su uso en la construcción durante las dos décadas siguientes. La construcción en altura y en edificios de varias plantas en entornos urbanos pasó de ser una rareza a convertirse en una tendencia en auge. Uno de los primeros ejemplos notables fue la construcción de un edificio de ocho plantas en Londres en 2008.

A principios de la década de 2000, la madera comenzó a ser empleada en proyectos de construcción singulares, como ejemplifican los siguientes casos: La cubierta del Mercado de Santa Caterina (1997-2004), el Museo Jurásico en Colunga, Asturias (2004), La cúpula de la Plaza de Toros de las Arenas en Barcelona (2003) etc.

Durante la década de 2010, surgieron construcciones que presentaban características especiales, como el uso lúdico, costos significativamente elevados, diseños que fusionaban edificio y escultura, así como desafíos técnicos notables. Un ejemplo destacado fue el voladizo de 19 metros en la zona recreativa educativa de Salburua, Vitoria, en el año 2010.



Ilustración 3: Voladizo de 19 metros

Además, desde los inicios de este siglo, la madera ha adquirido un estatus preferente como material en pequeñas construcciones en parques y espacios naturales. Esto incluye la creación de pasarelas, barandas, caminos y equipamiento para actividades al aire libre, consolidando su versatilidad y adaptabilidad en una variedad de contextos constructivos.

2.2. NORMATIVA

2.2.1. PRECEDENTES

La primera norma española para el cálculo de estructuras de madera fue el Documento Básico de Seguridad Estructural de Estructuras de Madera (DB SE-EM), que se publicó en su primera edición en el año 2006 como parte integral del Código Técnico de la Edificación (CTE). Esta normativa se basaba en el Eurocódigo 5 en su versión experimental (UNE ENV 1995-1-1:1997).

Antes de la existencia del DB SE-EM y debido a la falta de regulación específica en España, era común recurrir a normas o reglamentos de otros países, como Francia (DTU, Régles C.B. 71), Alemania (DIN 1052), Reino Unido (British Standard Code of Practice, CP 112: Part 2:1971) o Estados Unidos de América (NDS-86). Además, la Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera (AITIM) propuso una norma de cálculo de estructuras de madera basada principalmente en la normativa británica (Argüelles et al., 1986).

La introducción de los Eurocódigos se llevó a cabo en Luxemburgo en 1988. En 1993, se publicó la primera versión del Eurocódigo 5 con carácter experimental (anteriormente mencionado), que en España se publicó en 1997 (UNE-ENV 1995-1-1:1997). Esta norma era experimental y no tenía carácter obligatorio. Paralelamente, debido al interés de algunos fabricantes de madera laminada encolada, el Ministerio de Fomento encargó la redacción de un borrador de Norma Básica de la Edificación para Estructuras de Madera (NBE-EM) que se completó en 1993. Sin embargo, el proceso de post-elaboración se prolongó durante seis años más, culminando en 1999 (Estévez et al., 2000). En ese mismo año, se promulgó la Ley de Ordenación de la Edificación, que preveía la creación del Código Técnico de la Edificación (CTE), lo que resultó en la paralización definitiva del borrador de la NBE-EM.

El primer borrador del CTE data de aproximadamente 2001 y se publicó en 2006. La sección relacionada con las estructuras de madera ha sufrido modificaciones menores hasta su versión final en 2009. Esta normativa se basaba en el borrador no aprobado de la NBE EM:99, que a su vez se fundamentaba en el Eurocódigo 5. Sin embargo, mientras que los Eurocódigos continuaron evolucionando con actualizaciones y mejoras, el DB SE-EM quedó estancado en ese período. Además, las normativas relacionadas con los productos (ensayos, clasificaciones, clases de resistencia, fabricación, etc.) evolucionaron aún más rápidamente, lo que resultó en un desfase considerable en el DB SE-EM.

A principios de la década de los 90, los Comités Europeos de Normalización (CEN) iniciaron sus trabajos a través de sus Comités Técnicos (TC) en el campo del uso estructural de la madera. Algunos de estos comités destacados incluyen el CEN TC124 "Estructuras de madera", el CEN TC175 "Madera aserrada de uso no estructural", el CEN TC38 "Protección de la madera", el CEN TC112 "Tableros" y el CEN TC140 "Eurocódigos". Para España, esta actividad en normalización representó un cambio sustancial en su marco normativo relacionado con la madera.

Se pasó de contar con un conjunto mínimo de normativas (enfocadas en ensayos para determinar propiedades mecánicas en probetas pequeñas y libres de defectos, terminología y clasificación) a un conjunto completo de normas que abarcan casi todos los aspectos y productos. Lo más significativo fue la eliminación de las diferencias entre las normativas de cada país, ya que todos los criterios se unificaron.

2.2.2. SITUACIÓN ACTUAL

En la situación actual en España con respecto a la normativa que afecta al uso estructural de la madera, se presenta un escenario que plantea un dilema. Por un lado, existe la normativa de obligado cumplimiento del Código Técnico de la Edificación (CTE), y por otro, los Eurocódigos, que se pueden utilizar como una alternativa a la normativa nacional. En España, la regulación relacionada con la seguridad de las personas es responsabilidad de la administración, lo que aparentemente justifica la existencia de una normativa específica.

La realidad es que los Eurocódigos reflejan un enfoque unificado adoptado por los países europeos y representan la opción más avanzada y prometedora. Los aspectos de cálculo y diseño de estructuras de madera según el CTE se han quedado estancados en comparación.

En la actualidad, el Eurocódigo 5 consta de tres partes fundamentales: EN 1995-1-1:2004-2014 "General", EN 1995-1-2:2004-2009 "Resistencia al Fuego" y EN 1995-2:2004 "Puentes". Estas partes fueron publicadas en español en 2016, consolidando así su relevancia en el contexto normativo español.

2.2.3. FUTURO

En los últimos diez años, el Subcomité 5 de Estructuras de Madera del CEN TC250 ha mantenido una actividad constante centrada en la revisión del Eurocódigo 5, a raíz de la publicación de su versión experimental a principios de los años 90. Durante un período de aproximadamente seis años, su programa de trabajo ha estado enfocado en la finalización de los borradores de nuevos documentos previstos para el año 2020, los cuales probablemente serán publicados en 2022 o 2024. Esta revisión y actualización comprenderá las tres partes fundamentales del Eurocódigo 5: la parte General, la referente a la Resistencia al Fuego y la dedicada a Puentes.

Además de estas actualizaciones, se incorporarán nuevos temas al Eurocódigo 5, abarcando áreas como la madera contralaminada, las estructuras mixtas de madera y hormigón, los refuerzos en uniones, los rebajes y perforaciones, las uniones carpinteras, la ejecución, entre otros. Algunas de estas incorporaciones se presentarán como documentos independientes, mientras que otras serán integradas dentro de la parte 1-1 (General).

3. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Los sistemas constructivos son el conjunto de métodos, técnicas, materiales y procesos utilizados en la edificación y construcción de estructuras, desde viviendas y edificios comerciales hasta obras de infraestructura como puentes y carreteras. Estos sistemas son fundamentales en el mundo de la arquitectura y la ingeniería civil, ya que determinan no solo la apariencia y funcionalidad de una construcción, sino también su durabilidad, eficiencia energética, seguridad y sostenibilidad.

A lo largo de la historia, la evolución de los sistemas constructivos ha sido constante, impulsada por avances tecnológicos, cambios en las necesidades humanas y la búsqueda de soluciones más eficientes y sostenibles. Desde las antiguas civilizaciones que utilizaban técnicas de construcción con materiales como adobe y madera hasta la actualidad, donde se emplean tecnologías avanzadas como la prefabricación y la construcción modular.

En este apartado, se explicará brevemente tanto el método constructivo tradicional como el método constructivo industrializado, dando 5 ejemplos de cada uno de ellos, analizando sus ventajas y desventajas y comparándolas entre sí.

3.1. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES

Los sistemas constructivos tradicionales han sido la base de la construcción a lo largo de la historia de la humanidad. Son parte integral de la cultura y la historia de diferentes regiones y han sido utilizados para fundar una amplia variedad de edificaciones en todo el mundo. Estos métodos han evolucionado y se han adaptado a las condiciones locales, los recursos disponibles y las necesidades de las comunidades.

En su esencia, los sistemas constructivos tradicionales se caracterizan por utilizar técnicas y materiales que han sido transmitidos a lo largo de generaciones. Aunque en la actualidad se han desarrollado tecnologías y métodos de construcción más avanzados, estos sistemas siguen siendo relevantes en muchos contextos, proporcionando una valiosa base de conocimiento y experiencia que contribuye a la diversidad y la riqueza del patrimonio arquitectónico y cultural global. Además, aún se utilizan en muchas partes del mundo debido a su efectividad y durabilidad probadas.

En este apartado, se explorarán algunos ejemplos destacados de métodos constructivos tradicionales y se analizarán las ventajas y desventajas del sistema.

3.1.1. EJEMPLOS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES

A continuación, se muestran algunos ejemplos de sistemas constructivos tradicionales:

CONSTRUCCIÓN DE ADOBE

El adobe es un material de construcción compuesto principalmente de barro, arena, paja y agua. Se utiliza para hacer ladrillos secados al sol, que luego se ensamblan para crear muros. Este método ha sido utilizado durante siglos en regiones secas y cálidas, como el suroeste de los Estados Unidos y partes de América Latina.

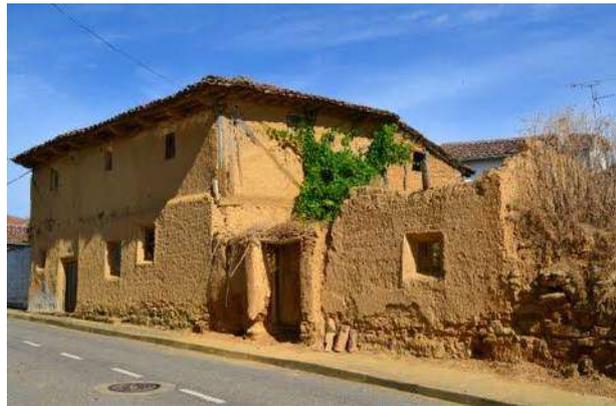


Ilustración 4: Casa de adobe

MAMPOSTERÍA DE PIEDRA

La construcción con piedra, ya sea en seco (sin mortero) o con mortero, es una técnica antigua que se encuentra en todo el mundo. Las catedrales góticas de Europa, las casas de campo en Inglaterra y los muros de contención en las montañas son ejemplos de ello.



Ilustración 5: Construcción con mampostería de piedra

ESTRUCTURA DE MADERA

Este sistema implica la construcción de un marco de madera en el cual se insertan paneles de madera o ladrillos. Es común en las construcciones tradicionales europeas y americanas, y se ha utilizado durante siglos.



Ilustración 6: Casa de madera

MAMPOSTERÍA DE LADRILLOS

Este es uno de los sistemas constructivos más antiguos. Implica la disposición de ladrillos de arcilla en capas utilizando mortero. Los ladrillos se pueden apilar en diferentes patrones, como el de sogá, tizón o inglés, para crear paredes resistentes.

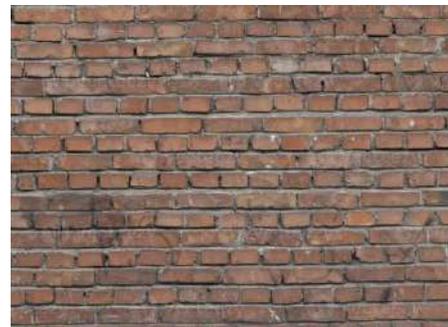


Ilustración 7: Mampostería de ladrillo

ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO

Este sistema emplea una combinación de hormigón y acero para crear una estructura resistente. Se vierte el hormigón en moldes que contienen barras de refuerzo de acero, lo que proporciona fuerza y resistencia a la estructura. Es común en edificios de gran altura y obras de infraestructura.



Ilustración 8: Estructura de hormigón armado

3.1.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

VENTAJAS

- **Flexibilidad de Diseño:** El sistema constructivo tradicional permite una mayor flexibilidad en términos de diseño arquitectónico. Los edificios se pueden adaptar más fácilmente a las necesidades específicas del proyecto y a las preferencias del cliente.
- **Adaptación a Condiciones Locales:** Este sistema es adecuado para adaptarse a condiciones locales y materiales disponibles en la región, lo que puede ser beneficioso en áreas con recursos limitados o en proyectos de construcción personalizados.
- **Mano de Obra Local:** Emplea una gran cantidad de mano de obra local, lo que puede ser importante para la economía local y la creación de empleo en la comunidad.
- **Flexibilidad en los Cambios durante la Construcción:** Puede ser más fácil realizar cambios o ajustes en el diseño durante la construcción, lo que permite una mayor capacidad de adaptación a las necesidades cambiantes.

DESVENTAJAS

- **Mayor Tiempo de Construcción:** Por lo general, es más lento que otros sistemas debido a la necesidad de realizar cada etapa de manera secuencial. Los retrasos a causa de las condiciones climáticas o problemas en la obra son comunes.
- **Costes Potencialmente Más Altos:** Puede resultar en costes más altos debido a la mano de obra intensiva y la falta de economías de escala en la fabricación de componentes.
- **Calidad Variable:** La calidad de la construcción puede variar significativamente según la habilidad y la experiencia de los trabajadores locales, así como la calidad de los materiales utilizados.

- **Mayor Generación de Residuos:** La construcción tradicional tiende a generar más residuos en el sitio debido al corte y la adaptación de materiales in situ, lo que puede tener un impacto negativo en el medio ambiente.

En resumen, el sistema constructivo tradicional ofrece flexibilidad de diseño y adaptación a condiciones locales, pero puede ser más lento, costoso y tener una calidad variable en comparación con los sistemas constructivos industrializados.

3.2. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS INDUSTRIALIZADOS

Los sistemas constructivos industrializados representan una revolución en la forma en que se diseñan y construyen edificios y estructuras. A medida que la tecnología y la ingeniería han avanzado, estos métodos han emergido como una respuesta eficiente y efectiva a la creciente demanda de construcción en todo el mundo.

Estos sistemas son un enfoque de construcción que se basa en la fabricación y montaje de componentes de edificación en un entorno controlado, generalmente una fábrica o un taller, antes de ser transportados y ensamblados en obra. Esto permite una mayor precisión, una reducción en los tiempos de construcción y una mayor eficiencia energética, entre otros beneficios. Es un enfoque que se diferencia de los métodos constructivos tradicionales, que involucran la construcción in situ de la estructura y sus componentes.

En este apartado, se explorarán algunos ejemplos destacados de métodos constructivos industrializados y se analizarán las ventajas y desventajas del sistema.

3.2.1. EJEMPLOS DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS INDUSTRIALIZADOS

A continuación, se muestran algunos ejemplos de sistemas constructivos industrializados:

MUROS DE PANEL SÁNDWICH

Se utilizan paneles prefabricados compuestos por dos capas de material (como hormigón o acero) con un núcleo de aislamiento (como espuma de poliestireno). Estos paneles se ensamblan en el sitio de construcción para formar las paredes, lo que acelera el proceso de construcción y mejora la eficiencia energética.



Ilustración 9: Muro de panel sándwich

MÓDULOS PREFABRICADOS

Consisten en la fabricación de secciones de edificios, como habitaciones o unidades de vivienda, en una fábrica. Estos módulos se transportan al lugar de construcción y se ensamblan en poco tiempo. Es común en la construcción de hoteles y hospitales.



Ilustración 10: Vivienda de módulo prefabricado

CONSTRUCCIÓN DE ACERO LIGERO

Se emplean perfiles de acero ligero para crear una estructura de edificio. Estos componentes se fabrican con precisión y luego se montan en el lugar de construcción. Es rápido y adecuado para edificios comerciales y residenciales.



Ilustración 11: Construcción de acero

CONSTRUCCIÓN MODULAR DE HORMIGÓN

Utiliza bloques de hormigón prefabricados que se ensamblan en el lugar de construcción para formar las paredes y la estructura del edificio. Es especialmente común en la construcción de viviendas.



Ilustración 12: Módulo de hormigón

SISTEMAS DE FACHADA VENTILADA

Este sistema implica la instalación de una capa exterior, como paneles de aluminio, cerámica o vidrio, sobre una estructura de soporte. Esto mejora la eficiencia energética y proporciona un acabado estético. Se fabrican los elementos de la fachada en fábricas y luego se instalan en el lugar de construcción.



Ilustración 13: Sistema de fachada ventilada

3.2.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

VENTAJAS

- **Eficiencia en el Tiempo de Construcción:** La prefabricación y montaje en el sitio aceleran significativamente la velocidad de construcción, lo que es especialmente beneficioso para proyectos con plazos ajustados.
- **Control de Calidad Riguroso:** La fabricación en entornos controlados permite un control de calidad más estricto, lo que reduce la probabilidad de defectos.
- **Reducción de Residuos:** Tiende a generar menos desperdicio de materiales en comparación con los métodos tradicionales.
- **Eficiencia Energética:** Puede estar diseñado para incorporar aislamiento de alta calidad y mejorar la eficiencia energética de los edificios.
- **Mayor Seguridad Laboral:** La construcción industrializada a menudo es más segura, ya que reduce el riesgo de accidentes en el lugar de trabajo.

DESVENTAJAS

- **Limitaciones de Diseño:** Puede haber restricciones en el diseño debido a la modularidad de los componentes prefabricados.
- **Coste Inicial:** Requiere una inversión inicial significativa en instalaciones y maquinaria de fabricación.
- **Transporte Especializado:** Algunos componentes pueden ser pesados y requieren transporte especializado.
- **Menos Adaptación a Condiciones Específicas del Terreno:** Puede ser menos adecuado para sitios de construcción con terrenos irregulares o condiciones climáticas extremas.

En resumen, estos sistemas constructivos ofrecen ventajas como la reducción de los tiempos de construcción, la minimización de los residuos en el sitio y la mejora de la calidad y precisión de los componentes, lo que resulta en edificios más eficientes y duraderos.

3.3. COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES E INDUSTRIALIZADOS

1. Proceso de Construcción

- **Sistema Constructivo Tradicional:** La mayoría de los componentes y elementos de construcción se fabrican in situ, en el lugar de construcción. Los trabajadores construyen las estructuras de manera manual utilizando materiales básicos como ladrillos, mortero y madera.
- **Sistema Constructivo Industrializado:** Utiliza elementos prefabricados o ensamblajes fabricados en fábricas o talleres. Estos componentes se transportan al lugar de construcción y se ensamblan según un diseño predefinido.

2. Tiempo de Construcción

- **Sistema Constructivo Tradicional:** La construcción tradicional suele ser más lenta debido a la necesidad de realizar cada etapa de manera secuencial. Los retrasos son comunes debido a las condiciones climáticas y otros factores imprevistos.
- **Sistema Constructivo Industrializado:** Es más rápido debido a la fabricación previa de elementos y la capacidad de trabajar en paralelo en diferentes etapas de construcción. Los retrasos debidos al clima se minimizan.

3. Costes

- **Sistema Constructivo Tradicional:** Puede resultar en costos más altos debido a la mano de obra intensiva y la falta de economías de escala en la fabricación de componentes.
- **Sistema Constructivo Industrializado:** Puede resultar en costes más bajos debido a la mayor eficiencia y ahorro de tiempo en el proceso de construcción, así como a la posibilidad de economías de escala en la fabricación. No obstante, el coste inicial suele ser mucho mayor que el de un sistema tradicional.

4. Flexibilidad de Diseño

- **Sistema Constructivo Tradicional:** Ofrece una mayor flexibilidad en términos de diseño arquitectónico, ya que las estructuras se pueden adaptar más fácilmente a las necesidades específicas del proyecto.
- **Sistema Constructivo Industrializado:** Aunque ofrece cierta flexibilidad de diseño, puede haber limitaciones en comparación con el sistema tradicional, ya que los componentes prefabricados deben adaptarse a ciertas especificaciones.

5. Calidad

- **Sistema Constructivo Tradicional:** La calidad de la construcción depende en gran medida de la habilidad y la experiencia de los trabajadores locales. Puede haber variabilidad en la mano de obra y los materiales utilizados.
- **Sistema Constructivo Industrializado:** La calidad tiende a ser más consistente y controlada, ya que los elementos se fabrican en un entorno controlado y con estándares de calidad predefinidos.

En resumen, el sistema constructivo tradicional se caracteriza por su flexibilidad de diseño pero puede ser más lento y costoso, mientras que el sistema constructivo industrializado es más eficiente en términos de tiempo y normalmente tiene un coste final menor, pero puede tener limitaciones en cuanto a diseño.

Es importante destacar que la elección de un sistema constructivo depende de varios factores, incluyendo el tipo de proyecto, el presupuesto, las restricciones del sitio y los objetivos de sostenibilidad. En muchos casos, se pueden combinar métodos tradicionales e industrializados para lograr los mejores resultados.

4. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS INDUSTRIALIZADOS EN MADERA

En la industria de la construcción, la búsqueda constante de métodos innovadores y eficientes para edificar estructuras ha llevado a una transformación silenciosa pero trascendental, los sistemas constructivos industrializados con un enfoque particular en la madera.

En un mundo donde la sostenibilidad, la rapidez y la calidad son factores críticos, la construcción industrializada en madera ha nacido como respuesta a ello. Este sistema fusiona la tradición de la madera como material de construcción con las últimas innovaciones tecnológicas y procesos industriales.

En este apartado, se explorarán en detalle dos sistemas constructivos industrializados con elementos de madera, contando su historia desde la antigüedad y destacando sus ventajas, propiedades, proceso de fabricación y construcción, aplicaciones y el impacto que están teniendo en la industria de la construcción moderna.

4.1. MADERA CONTRALAMINADA (CLT)

La madera Cross Laminated Timber (CLT), es un material ecológico y sostenible en el campo de la construcción. Con sus múltiples propiedades estructurales, su versatilidad y su capacidad para promover la sostenibilidad, el CLT se ha convertido en una opción atractiva para arquitectos, ingenieros y diseñadores en todo el mundo.

Se explorará en detalle las características y beneficios de este material, así como su aplicación en diversos proyectos de construcción. Se analizará cómo se fabrica el CLT, examinando el proceso de laminación cruzada que le confiere su resistencia y rigidez. También se investigarán sus propiedades físicas y mecánicas, y se comparará con otros materiales de construcción industrializada.

Además, se estudiarán los aspectos sostenibles del CLT, considerando su contribución a la conservación de los recursos naturales y a la reducción de las emisiones de carbono. Se explorará su ciclo de vida, desde la obtención de la madera proveniente de bosques certificados hasta su puesta en obra. Por último, se analizarán los beneficios que ofrecen en términos de eficiencia constructiva, tiempos de ejecución reducidos y mayor control de calidad.

En resumen, en este apartado se explicará de manera detallada la madera Cross Laminated Timber (CLT), analizando sus propiedades, beneficios, aplicaciones y consideraciones asociadas. Al visibilizar este material, se espera promover de alguna manera una mayor comprensión de su potencial para transformar la forma en que se construyen y diseñan edificaciones en el presente y trasladarlas al futuro.

4.1.1. HISTORIA DEL CLT

El uso de la madera contralaminada (CLT) tiene sus raíces en las técnicas de construcción tradicionales, pero su desarrollo moderno es relativamente reciente.

Orígenes en la construcción tradicional

La idea de laminar madera en capas cruzadas no es nueva y ha sido empleada en algunas culturas de manera rudimentaria durante siglos. Sin embargo, la aplicación de esta técnica a gran escala y con fines estructurales es un fenómeno más moderno.

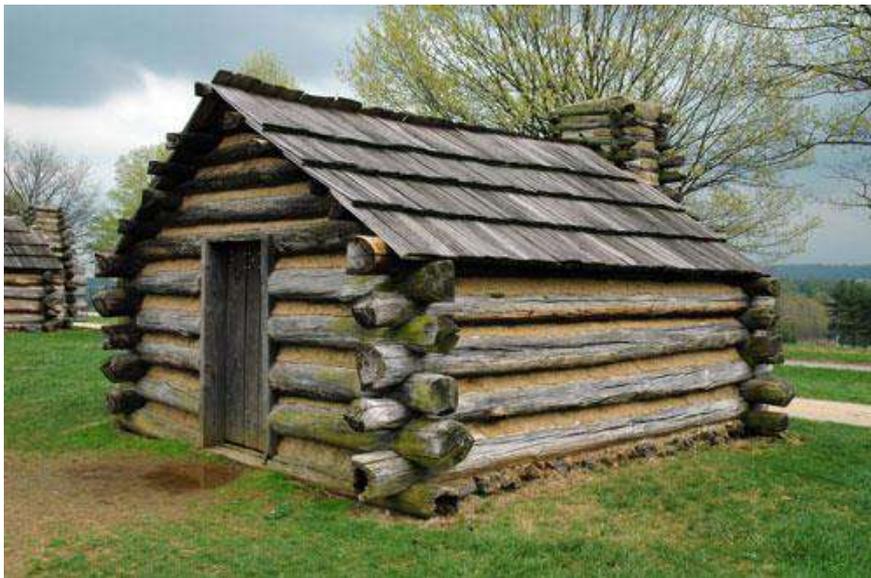


Ilustración 14: Cabaña de troncos

Desarrollo en Europa

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, se comenzaron a experimentar con técnicas de laminación de madera en Europa. Uno de los primeros ejemplos significativos fue la utilización de madera laminada encolada (Glulam) para puentes y estructuras de techos.

Década de 1990

El desarrollo de la madera CLT tomó impulso en la década de 1990 en Europa, particularmente



en Austria y Alemania. Estos países lideraron la investigación y desarrollo de técnicas para fabricar este tipo de paneles. Durante este período, se experimentó con adhesivos estructurales y procesos de prensado en caliente para lograr la resistencia necesaria.

Ilustración 15: Laboratorio de Oregon State University

Evolución y expansión

En la década de 2000, esta técnica comenzó a ganar reconocimiento en todo el mundo como una alternativa sostenible y eficiente para la construcción. Se utilizaron cada vez más en proyectos de edificios de múltiples pisos y estructuras comerciales, lo que demostró su viabilidad en una variedad de aplicaciones.



Ilustración 16: El primer edificio en altura de CLT de América Latina

Reconocimiento y normativas

Organizaciones de estándares y construcción comenzaron a desarrollar pautas y regulaciones específicas para la madera CLT a medida que su popularidad creció. Esto incluyó la especificación de estándares de calidad, pruebas de resistencia y criterios de seguridad.

Avances en el siglo XXI

En el siglo XXI, la madera CLT continuó su evolución con avances en técnicas de fabricación, adhesivos más sostenibles y una mayor comprensión de su comportamiento estructural. Se expandió su uso en una variedad de aplicaciones, desde edificios de viviendas hasta proyectos de gran envergadura como puentes y oficinas.



Ilustración 17: Edificio The Smile

Internacionalización

La popularidad de la madera contralaminada se ha extendido por todo el mundo, y países en América del Norte, Asia y otras regiones han adoptado su uso. Esto ha llevado a la creación de nuevas instalaciones de fabricación y a la expansión de la investigación y el desarrollo en diferentes partes del mundo.

Innovaciones y futuro

A medida que la madera CLT sigue ganando reconocimiento, se están explorando nuevas innovaciones, como técnicas avanzadas de mecanizado y combinaciones con otros materiales para crear soluciones de construcción híbridas.



Ilustración 18: Primer edificio en altura de CLT de América Latina

En resumen, la madera CLT tiene raíces en las técnicas tradicionales, pero su desarrollo moderno y su adopción a gran escala comenzaron en Europa en la década de 1990. A lo largo de las décadas siguientes, ha evolucionado para convertirse en una opción atractiva en la construcción sostenible y eficiente en todo el mundo.

4.1.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

En este apartado se van a examinar las propiedades que tienen los paneles de madera contralaminada:

Resistencia

Los paneles CLT son muy resistentes y pueden soportar cargas pesadas. Debido a su estructura de capas cruzadas, tienen una gran resistencia tanto a flexión y como a compresión. Gracias a ellos se está consiguiendo construir edificios de gran altura.

Durabilidad

La madera utilizada en la fabricación de paneles CLT es tratada para resistir la humedad y el fuego, lo que aumenta su durabilidad.

Sostenibilidad

La madera es un material renovable y sostenible, y la fabricación de paneles CLT requiere menos energía y produce menos emisiones de gases que otros materiales de construcción como lo son el hormigón y el acero.

Versatilidad

Estos paneles se pueden utilizar para construir muros, losas y techos tanto en estructuras portantes como no portantes. Además, se pueden personalizar y adaptar para considerar todas las aberturas antes del ensamblaje de la estructura.

Rapidez de construcción

La construcción con paneles CLT es rápida y limpia, y los paneles son fáciles de ensamblar en obra, lo que reduce costes en comparación con otros métodos de construcción, aunque el coste inicial suele ser mayor.

Piezas de gran tamaño

Estos elementos pueden llegar a alcanzar los 20 metros de longitud, con limitaciones como la logística y el acceso a la zona de la edificación más que las que podría poner el propio material. Previo a su uso, las piezas se secan hasta alcanzar un óptimo nivel de humedad, generalmente alrededor del 12%, lo que reduce las posibilidades de proliferación de hongos e insectos.

Ligereza

El CLT es notablemente más ligero que otros materiales de construcción como el acero o el hormigón, lo que reduce las necesidades de una gran cimentación considerablemente.

Por ejemplo, un metro cúbico de hormigón pesa aproximadamente 2,7 toneladas, en comparación con los 450-500kg del CLT (dependiendo de la madera utilizada).

Gran estabilidad dimensional

Este material ofrece una gran estabilidad dimensional gracias a su proceso de fabricación, consiguiendo variaciones mínimas en sentido perpendicular y prácticamente nulas en sentido longitudinal.

Aislamiento acústico y térmico

Proporciona un excelente aislamiento acústico y térmico debido a las propiedades naturales de la madera, mejorando la eficiencia energética de las construcciones sin necesidad de inversiones adicionales.

Resistencia al fuego

La madera CLT cumple con las normativas de seguridad, ofreciendo tiempos de resistencia que van desde los 30 minutos hasta las 4 horas (dependiendo de la madera y del espesor del elemento). La estructura mantiene su integridad mientras las capas externas se queman. Para mayor protección, se puede cubrir con pintura intumescente o barniz ignífugo.

Compatibilidad

El CLT es compatible con una gran variedad de materiales como el cemento, vidrio, aluminio y acero, y no introduce componentes tóxicos en la construcción, creando ambientes más saludables.

Aprovechamiento

Su fabricación en muchos elementos es a partir de piezas pequeñas de madera, permitiendo así un mayor aprovechamiento del árbol y reduciendo la cantidad de residuos.

4.1.3. FABRICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

El proceso de fabricación y construcción de la madera CLT implica varios pasos, desde la selección del árbol hasta la construcción real. En este apartado se explicará paso a paso todo ese proceso.

FABRICACIÓN

A continuación, se explica el proceso de fabricación de la madera CLT:

1. Diseño y planificación: Se crea un diseño arquitectónico y estructural detallado del edificio. Esto incluye la disposición de las paredes, techos, ventanas, puertas y otros elementos. Se determinan las dimensiones de los elementos de madera, como vigas y columnas, según los cálculos de carga y las especificaciones del diseño.

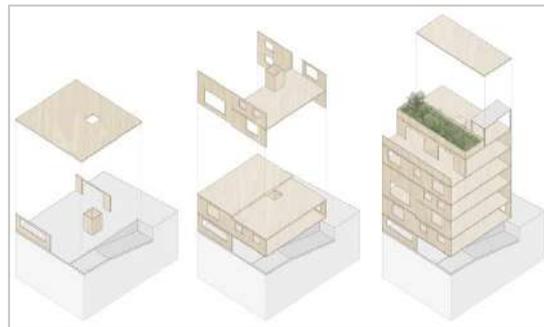


Ilustración 19: Diseño de una estructura de madera

2. Selección de la madera: Lo primero de todo es elegir la madera de calidad y resistencia adecuadas para la fabricación. Por lo general, se utilizan especies de rápido crecimiento como el pino o el abeto.



Ilustración 20: Cámara de secado de madera

3. Secado: La madera se somete a un proceso de secado en hornos o secaderos para reducir su contenido de humedad. Esto es esencial para mejorar la estabilidad y la resistencia del producto final.

4. Corte de tablones: Los troncos de madera se cortan en tablones de tamaño adecuado y se clasifican según su resistencia y características.

5. Laminación: Se toman varias capas de tablones de madera y se disponen de manera alternada, perpendicular entre sí. Las capas se encolan juntas utilizando adhesivos estructurales a base de resinas, que proporcionan una fuerte unión entre ellas.



Ilustración 21: Capas de tabla CLT

6. Prensado: Las capas encoladas se someten a un proceso de prensado en caliente, donde se aplican calor y presión para asegurar una unión firme y duradera entre las capas de madera. Este proceso también ayuda a eliminar el exceso de humedad residual.

7. Corte a medida: Una vez que las láminas están completamente unidas y secas, se cortan a las dimensiones deseadas según los planos de construcción. Esto incluye la creación de paneles de pared, techo o suelo en tamaños específicos.



Ilustración 22: Abertura de puerta

8. Mecanizado: Los paneles CLT pueden ser mecanizados en la fábrica para crear aberturas para ventanas, puertas y otras características arquitectónicas. Esto se logra mediante la utilización de maquinaria especializada.

9. Acabado: Dependiendo del uso final, los paneles pueden recibir acabados superficiales como barnices, pinturas o selladores para proteger la madera y mejorar su apariencia.

CONSTRUCCIÓN

1. Montaje: Los paneles CLT, prefabricados en la fábrica, se transportan al sitio de construcción y se ensamblan según el diseño estructural. Las conexiones entre los paneles se realizan siguiendo las especificaciones de diseño.



Ilustración 23: Montaje de fachada CLT

2. Conexiones y refuerzos: Se instalan conexiones y refuerzos adicionales según lo diseñado, asegurando la integridad estructural del edificio.



Ilustración 24: Uniones entre elementos de CLT

3. Instalación de servicios: Se instalan los sistemas de servicios, como electricidad, fontanería y HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), integrándolos en la estructura de CLT.

4. Acabados: Se añaden los acabados interiores y exteriores según el diseño, incluyendo revestimientos, aislamiento, ventanas y puertas.



Ilustración 25: Ventanas y puertas en fachadas de CLT

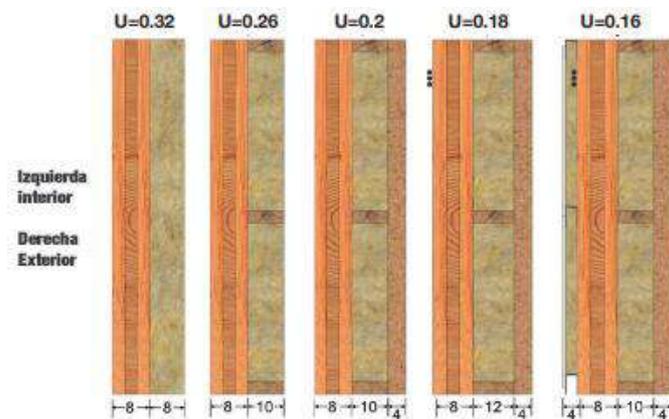


Ilustración 26: Aislamiento en CLT

5. Inspección y certificación: La estructura se somete a inspecciones para asegurar que cumple con los códigos y normativas de construcción, y se obtienen las certificaciones necesarias.

4.1.4. APLICACIONES

La madera contralaminada puede utilizarse exclusivamente en las categorías de servicio 1 y 2, y su principal beneficio radica en su capacidad mejorada para abordar la triple función arquitectónica en numerosos casos: un rendimiento más sólido en aspectos estructurales, con una transmisión de cargas más continua, y un aislamiento térmico y acústico superior gracias a su mayor espesor.

Son empleados en diversas construcciones, desempeñando roles en forjados, muros y cubiertas, tanto en estructuras completamente de madera como en aquellas mixtas. Gracias a sus propiedades de resistencia, son aptos para edificaciones con varios propósitos. No obstante, debido a sus luces, aunque progresivamente menos moderadas, y alturas, resultan especialmente idóneos para viviendas y establecimientos educativos.

La aplicación de madera CLT en la construcción ha demostrado ser significativa en regiones propensas a sismos, tal como sugieren varios estudios de laboratorio que involucraron edificaciones a escala real. Además, otra esfera con un potencial considerable para su avance es la restauración arquitectónica.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de su aplicación en los edificios:

- **Edificios de viviendas:** Los paneles de CLT se utilizan para la construcción de viviendas unifamiliares y multifamiliares. Pueden formar la estructura de la casa, incluyendo cerramiento, forjados y pilares. La eficiencia energética y la rapidez de construcción hacen que este material sea especialmente adecuado para proyectos de viviendas.



Ilustración 27: Unifamiliar de CLT

- **Apartamentos y hoteles:** El CLT se utiliza en la construcción de edificios de varios pisos, incluyendo edificios de apartamentos y hoteles. Su alta resistencia y rigidez permiten construir estructuras estables y seguras.
- **Oficinas y comercios:** Los edificios comerciales, como oficinas y tiendas, también pueden beneficiarse de sus propiedades. Estos paneles pueden servir como paredes divisorias y techos, creando espacios modernos y flexibles.



Ilustración 28: Apartamentos de CLT

- **Instalaciones deportivas:** El CLT se ha utilizado en la construcción de instalaciones deportivas como pabellones y gimnasios. Su capacidad para soportar cargas y sus grandes luces, consiguen crear espacios diáfanos lo hace adecuado para este tipo de construcciones.



Ilustración 29: Polideportivo con estructura de CLT

- **Estructuras de refugio y viviendas asequibles:** En áreas donde la construcción tradicional puede ser costosa o limitada, el CLT se ha utilizado para construir refugios y viviendas asequibles de manera más rápida y eficiente.
- **Puentes y pasarelas:** Aunque menos común, el CLT también ha sido considerado en la construcción de puentes y pasarelas pequeñas debido a su capacidad de carga y resistencia.



Ilustración 30: Puente con CLT

En general, el uso del CLT en la construcción ha brindado oportunidades para diseñar y construir edificios de manera más sostenible, rápida y eficiente, al tiempo que se logra una estética atractiva y espacios funcionales.

4.1.5. MATERIAL

Se pueden utilizar una gran variedad de maderas a la hora de fabricar paneles contralaminados. Las más frecuentes son el pino y el abeto, por su rápido crecimiento. También se suelen utilizar el alerce y el cedro, y otras como el roble o el castaño no son frecuentes, pero pueden encontrarse casos.

4.1.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

VENTAJAS:

- **Sostenibilidad ambiental:** El CLT se fabrica a partir de madera, un recurso natural renovable. Su producción suele requerir menos energía y emite menos carbono en comparación con materiales como el acero o el hormigón.
- **Eficiencia energética:** El CLT tiene propiedades de aislamiento térmico, lo que contribuye a la eficiencia energética de los edificios. Mantiene una temperatura interior más estable, reduciendo la necesidad de calefacción o refrigeración.
- **Rapidez de construcción:** Los paneles de CLT se fabrican previamente en la fábrica según las especificaciones del proyecto y luego se ensamblan en el sitio. Esto acelera significativamente el proceso de construcción y reduce los plazos de finalización.
- **Resistencia estructural:** El CLT es un material muy resistente y rígido. Puede soportar cargas significativas y es adecuado para construcciones de varios pisos y de gran envergadura.
- **Precisión y calidad:** Los paneles de CLT se fabrican con tecnología de alta precisión, lo que garantiza que sean uniformes y de alta calidad. Esto reduce la variabilidad en la construcción y mejora la consistencia del producto final.
- **Diseño versátil:** El CLT es un material altamente adaptable, permitiendo una amplia gama de diseños arquitectónicos, desde estructuras simples hasta complejas.
- **Ligereza:** El CLT es más ligero que otros materiales de construcción, lo que facilita su transporte y montaje, y reduce significativamente las cargas en la cimentación. Puede ser ventajoso en áreas con suelos menos estables.
- **Estabilidad dimensional:** El CLT tiene una gran estabilidad dimensional, lo que lo hace más resistente a las variaciones climáticas y a la deformación.
- **Resistencia al fuego:** Aunque el CLT tiene una cierta resistencia al fuego debido a su grosor y disposición de capas, puede requerir tratamientos adicionales o sistemas de protección contra incendios en edificios altos o de uso público.

DESVENTAJAS:

- **Coste inicial:** Aunque los costes de fabricación de CLT han disminuido en los últimos años, la inversión inicial aún es más cara en comparación con otros materiales de construcción, especialmente en regiones donde la disponibilidad de esta madera es limitada.
- **Limitaciones de tamaño:** Los paneles de CLT tienen limitaciones en cuanto a su tamaño debido a restricciones de transporte y fabricación. Esto puede influir en el diseño y la planificación del proyecto.
- **Disponibilidad regional:** Dependiendo de la ubicación, puede haber limitaciones en la disponibilidad de CLT y en la capacidad de las fábricas locales para producirlo.
- **Mantenimiento:** Al igual que con otros materiales de madera, el CLT requiere un mantenimiento adecuado para evitar problemas como la degradación debido a la humedad y los insectos.

En resumen, la construcción con CLT puede ser una excelente opción en términos de sostenibilidad, eficiencia y diseño. Sin embargo, es importante considerar las condiciones específicas del proyecto y las limitaciones regionales.

4.2. ENTRAMADO LIGERO

Los muros o forjados de entramado ligero son sistemas constructivos utilizados en la edificación de viviendas y otros tipos de construcciones. Estos muros se caracterizan por utilizar una estructura de soporte compuesta principalmente por elementos de madera, como postes, vigas y paneles, que se ensamblan de manera precisa para formar una estructura resistente y duradera.

Una de las ventajas clave de los muros de entramado ligero es su peso reducido en comparación con otros sistemas constructivos más tradicionales, como los muros de ladrillo o de hormigón. Esta característica hace que la construcción sea más rápida y fácil, lo que puede resultar en ahorros significativos tanto en tiempo como en costes.

La flexibilidad es otra ventaja importante. Debido a la naturaleza modular de estos sistemas, es posible adaptar fácilmente el diseño de la estructura a diferentes necesidades. Además de su versatilidad y ligereza, los muros de entramado ligero también ofrecen buenas propiedades térmicas y acústicas, lo que contribuye a un mayor confort en el interior de la edificación y a una menor pérdida de energía.

Es importante mencionar que los muros de entramado ligero también pueden combinarse con otros materiales en la construcción, como el uso de paneles de yeso o sistemas de revestimiento exterior, mejorando la estabilidad estructural y la estética final del edificio.

En resumen, los muros de entramado ligero son sistemas constructivos versátiles, ligeros y eficientes que utilizan la madera como elemento principal. Ofrecen beneficios en términos de rapidez de construcción, flexibilidad en el diseño, propiedades térmicas y acústicas, y cumplen con los estándares de durabilidad y resistencia requeridos. Se puede decir que su uso se ha vuelto cada vez más popular en la industria de la construcción.

4.2.1. HISTORIA DEL ENTRAMADO LIGERO

El entramado ligero, tiene una historia que se remonta a muchas culturas y periodos de tiempo. A continuación, se explica de forma resumida su historia, desarrollo y evolución:

Orígenes en la construcción tradicional

La técnica de entramado ligero tiene raíces en las construcciones tradicionales de muchas culturas alrededor del mundo. Los antiguos egipcios, romanos y griegos utilizaban madera en marcos y estructuras de soporte en sus edificios. Además, muchas culturas indígenas de América, Asia y África empleaban sistemas de entramado ligero para sus viviendas.



Ilustración 31: Construcción de Entramado Ligero en la antigüedad

Entramado en Europa medieval

Durante la Edad Media en Europa, esta técnica era común en la construcción de casas de madera con entramado. Estas casas presentaban un marco de madera con paneles de relleno, generalmente hechos de barro, ladrillo o yeso.

Avances en la Revolución Industrial

La Revolución Industrial trajo consigo avances en la producción de madera y la fabricación de elementos prefabricados. A finales del siglo XIX y principios del XX, se desarrollaron técnicas más refinadas de entramado ligero, lo que permitió la construcción de viviendas y edificios a mayor escala.



Ilustración 32: Fábrica de Entramado Ligero

Sistema de plataforma

El sistema de entramado ligero de plataforma, tal como se conoce hoy, se desarrolló en los Estados Unidos en la década de 1830. Este sistema involucra la construcción de plataformas horizontales (pisos) y la superposición de paredes y techos. La construcción de plataforma permitió la estandarización y la rápida construcción en serie, lo que fue crucial para la expansión hacia el oeste y la urbanización en el siglo XIX.

Innovaciones modernas

Con el tiempo, las técnicas de entramado ligero se han ido perfeccionando y adoptando en todo el mundo. En el siglo XX, con el advenimiento de nuevos materiales y tecnologías, la construcción de entramado ligero se volvió aún más eficiente y versátil. La introducción de sistemas de paneles prefabricados y la mejora en técnicas de ensamblaje han contribuido a su popularidad continua.

Sostenibilidad y resurgimiento

A medida que la conciencia ambiental creció, el entramado ligero experimentó un resurgimiento debido a su naturaleza sostenible. La madera es un recurso renovable y su uso en la construcción puede ayudar a reducir la huella de carbono en comparación con materiales más intensivos en energía.



Ilustración 33: Vivienda de ENtramado ligero

En resumen, el entramado ligero tiene una historia que se remonta a las construcciones tradicionales en todo el mundo, pero su forma moderna y su sistema de plataforma se desarrollaron en los Estados Unidos en el siglo XIX. A lo largo de los años, ha evolucionado con avances tecnológicos y enfoques más sostenibles para la construcción.

4.2.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

El entramado ligero presenta diversas propiedades y características que lo hacen una opción popular en la industria de la construcción, entre ellas las siguientes:

Sostenibilidad

La madera, material que se utiliza en el entramado ligero, es un recurso renovable y su uso contribuye a la reducción de la huella de carbono en la construcción, ya que la madera almacena carbono durante su crecimiento y reemplaza materiales más intensivos en carbono, como el hormigón y el acero.

Rapidez en la construcción

El entramado ligero se basa en elementos prefabricados que se ensamblan rápidamente en el lugar de construcción. Esto puede acelerar significativamente el proceso de construcción en comparación con métodos tradicionales.

Flexibilidad en el diseño

La madera en entramado ligero se puede cortar y moldear fácilmente, lo que permite una amplia variedad de diseños arquitectónicos y la creación de espacios personalizados.

Peso ligero

Los componentes de madera utilizados en el entramado ligero son más ligeros que otros materiales de construcción como el hormigón y el acero, lo que facilita el transporte y el montaje en obra.

Eficiencia energética

La madera es un buen aislante térmico y ayuda a mantener temperaturas más estables en el interior de los edificios, lo que puede contribuir a la eficiencia energética.

Precisión dimensional

Los elementos prefabricados de madera se producen en fábrica con dimensiones precisas, lo que reduce la necesidad de ajustes en el lugar de construcción y mejora la calidad de la estructura final.

Menor impacto en el sitio

Este sistema produce menos desperdicios en el lugar de trabajo y requiere menos maquinaria pesada, lo que puede disminuir la perturbación en el sitio de construcción.

Diversidad de aplicaciones

El entramado ligero se utiliza en una amplia gama de proyectos, desde viviendas unifamiliares hasta edificios de varios pisos y estructuras comerciales.

Facilidad de instalación de servicios

Los paneles de pared y techo pueden incluir espacios prediseñados para la instalación de sistemas eléctricos, fontanería y servicios, facilitando su instalación y mantenimiento.

Durabilidad y mantenimiento

Con el adecuado tratamiento y mantenimiento, la madera en entramado ligero puede tener una vida útil larga y resistir las condiciones ambientales.

Compatibilidad con otros materiales

La madera en entramado ligero puede combinarse con otros materiales, como vidrio y acero, para lograr diseños arquitectónicos únicos y soluciones híbridas.

4.2.3. FABRICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

El proceso de fabricación y construcción del entramado ligero implica una serie de etapas, desde la planificación hasta la finalización de la construcción. A continuación, se presenta una descripción general de cómo se lleva a cabo este proceso:

FABRICACIÓN

El entramado ligero es un método de construcción en el que se utilizan elementos prefabricados de madera, como vigas, columnas y paneles, para ensamblar estructuras como viviendas y edificios comerciales. Este proceso es común en la construcción residencial y proporciona una alternativa eficiente y sostenible a los métodos de construcción tradicionales.

1. Diseño y planificación: Se crea un diseño arquitectónico y estructural detallado del edificio. Esto incluye la disposición de las paredes, techos, ventanas, puertas y otros elementos. Se determinan las dimensiones de los elementos de madera, como montantes y travesaños, según los cálculos de carga y las especificaciones del diseño.



Ilustración 34: Diseño de una vivienda de Entramado Ligero

2. Selección de la madera: Se elige madera de calidad y resistencia adecuada para la fabricación de los elementos del entramado. Los tipos de madera comúnmente utilizados incluyen el pino y el abeto, debido a su disponibilidad y características favorables.



Ilustración 35: Troncos de pino



Ilustración 36: Troncos de abeto

3. Corte y mecanizado: Los troncos de madera se cortan en dimensiones específicas según los planos de construcción. Las piezas individuales, como montantes y travesaños, se mecanizan y perfilan para adaptarse a su función y encajar en el diseño general.

4. Tratamientos y protección: En algunos casos, la madera puede someterse a tratamientos para mejorar su resistencia a la humedad, los insectos y la descomposición. Esto puede incluir la aplicación de productos químicos protectores o el uso de madera laminada encolada (Glulam) que ya ha sido tratada.

5. Fabricación de paneles: Se fabrican paneles prefabricados que formarán las paredes, techos y pisos del edificio. Estos paneles suelen estar compuestos por capas de tableros de partículas u orientados (OSB u OSB3) que están pegados entre sí con adhesivos estructurales.



Ilustración 37: Elementos para el entramado ligero

6. Montaje en fábrica: Los elementos de madera, como montantes y travesaños, se ensamblan y se fijan en una instalación de fabricación bajo condiciones controladas. Los paneles de pared, techo y piso también se ensamblan, y entre esos paneles, se instalan aislamientos y barreras de vapor durante este proceso.



Ilustración 38: Montaje y aberturas en una pared de Entramado Ligero

7. Corte de aberturas: En los paneles de pared, se cortan aberturas para ventanas y puertas utilizando maquinaria especializada.

8. Acabados y tratamiento de superficies: Se pueden aplicar acabados a los paneles y elementos de madera, como pinturas, barnices o selladores, para proteger el material y mejorar la apariencia.

CONSTRUCCIÓN

1. Preparación del sitio: Se prepara el terreno y se establecen las bases o cimentación según el diseño y las normativas locales.



Ilustración 39: Montaje de paredes de Entramado Ligero

2. Montaje: En el lugar de construcción, los elementos prefabricados se ensamblan según el diseño y los planos. Esto incluye el levantamiento de las paredes, la colocación de los paneles del techo y del piso, y la conexión entre los elementos.



Ilustración 40: Montaje de Entramado Ligero

3. Instalación de servicios: Se instalan los sistemas de servicios, como cableado eléctrico, fontanería y HVAC integrándolos en la estructura.

4. Aislamiento: Se instala el aislamiento térmico y acústico entre los elementos de entramado para mejorar la eficiencia energética y la comodidad interior.

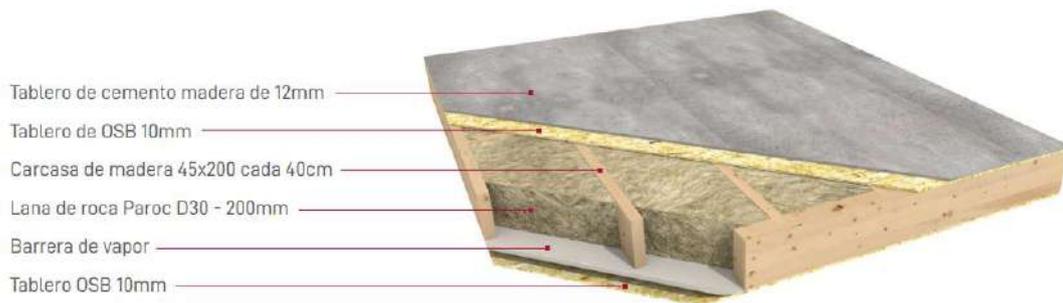


Ilustración 41: Colocación del aislamiento en Entramado Ligero

5. Acabados: Se añaden los acabados interiores y exteriores, como revestimientos de paredes, techos y suelos, ventanas y puertas.

6. Inspección y certificación: La estructura se somete a inspecciones para verificar su cumplimiento con los códigos de construcción y regulaciones locales. Si todo está en orden, se otorga la certificación necesaria.



Ilustración 42: Edificio construido con Entramado Ligero

4.2.4. APLICACIONES

El entramado ligero, se utiliza en una gran variedad de aplicaciones en la industria de la construcción debido a su versatilidad, eficiencia y sostenibilidad. Algunas de las aplicaciones más comunes del entramado ligero incluyen:

- **Viviendas unifamiliares:** El entramado ligero es ampliamente utilizado en la construcción de viviendas unifamiliares. Las casas de estructura de madera ligera son rápidas de construir, eficientes energéticamente y pueden ofrecer una amplia gama de diseños arquitectónicos.



Ilustración 43: Vivienda unifamiliar de Entramado Ligero

- **Viviendas multifamiliares:** Los edificios de apartamentos también pueden construirse utilizando entramado ligero. La rapidez de construcción y la flexibilidad en el diseño hacen que esta opción sea atractiva para proyectos residenciales más grandes.

- **Edificios comerciales:** Se utiliza en la construcción de edificios comerciales como oficinas, tiendas y restaurantes. Su capacidad para crear espacios abiertos y personalizables es una ventaja en este tipo de aplicaciones.



Ilustración 44: Restaurante de Entramado Ligero

- **Escuelas y edificios educativos:** Las escuelas y otros edificios educativos pueden beneficiarse de la construcción con entramado ligero debido a su velocidad de construcción y su capacidad para crear espacios flexibles y atractivos para el aprendizaje.



Ilustración 45: Módulos de escuela con Entramado Ligero

- **Estructuras modulares:** El entramado ligero es compatible con la construcción modular, lo que significa que se pueden prefabricar secciones en la fábrica y luego ensamblarlas en el lugar de construcción.
- **Casetas y construcciones auxiliares:** Estructuras pequeñas como casetas de jardín, garajes, cobertizos y otras construcciones auxiliares pueden construirse utilizando entramado ligero.

4.2.5. MATERIAL

El entramado ligero se puede construir con diferentes tipos de madera, aunque los más comunes son el pino y el abeto. También se pueden utilizar otros tipos, como el cedro, el alerce o el roble, dependiendo de la disponibilidad y las necesidades de la construcción.

4.2.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

VENTAJAS:

- **Sostenibilidad ambiental:** La madera es un material renovable y reciclable, lo que contribuye a reducir la huella de carbono de la construcción. Además, la extracción y procesamiento de madera suele requerir menos energía que otros materiales de construcción.
- **Eficiencia energética:** La madera tiene buenas propiedades de aislamiento térmico, lo que puede ayudar a mejorar la eficiencia energética de un edificio. Los muros de entramado ligero pueden contener capas de aislamiento, lo que reduce la pérdida de calor en invierno y mantiene el interior fresco en verano.
- **Velocidad de construcción:** La construcción de entramado ligero es más rápida en comparación con otros métodos de construcción tradicionales. Las piezas prefabricadas se pueden ensamblar en el sitio de manera eficiente, lo que acelera el proceso.
- **Flexibilidad arquitectónica:** Este sistema de construcción permite una gran flexibilidad en el diseño arquitectónico. Las piezas de madera son fáciles de cortar y dar forma, lo que facilita la creación de diseños personalizados y modernos.
- **Ligereza:** La madera es más ligera que muchos otros materiales de construcción, lo que reduce las cargas en la cimentación y estructura del edificio, y puede ser ventajoso en áreas con suelos menos estables.
- **Menos desperdicio:** La fabricación de piezas de entramado ligero es precisa y produce menos desperdicio en comparación con otros métodos de construcción.
- **Aprovechamiento del espacio:** El entramado ligero ocupa poco espacio, lo que permite un mayor aprovechamiento del terreno.

DESVENTAJAS:

- **Resistencia al fuego y humedad:** La madera es combustible y susceptible a la humedad, lo que puede afectar su durabilidad y resistencia. Sin embargo, se pueden aplicar tratamientos para mejorar estas características.
- **Costo inicial:** Aunque la construcción de entramado ligero puede ser más rápida, los materiales y la mano de obra especializada pueden aumentar los costes iniciales en comparación con métodos de construcción más tradicionales.
- **Mantenimiento:** La madera requiere un mantenimiento periódico para evitar problemas como la degradación debido a insectos, hongos y la exposición a los elementos climáticos.
- **Limitaciones de altura:** Los edificios de entramado ligero suelen tener restricciones de altura debido a la capacidad de carga y la estabilidad estructural de la madera.
- **Aislamiento acústico:** Aunque la madera tiene propiedades de aislamiento acústico, en algunos casos puede ser necesario aplicar técnicas adicionales para lograr un buen aislamiento contra el ruido.
- **Percepción estigmatizada:** En algunas regiones, la construcción de entramado ligero puede estar asociada con una menor calidad o durabilidad en comparación con métodos de construcción más tradicionales.
- **Disponibilidad:** El entramado ligero puede no estar disponible en todas las regiones, lo que puede limitar su uso en algunos proyectos.

En resumen, el entramado ligero tiene ventajas como la rapidez de construcción, el aislamiento, el aprovechamiento del espacio, la sostenibilidad y la eficiencia energética. Sin embargo, también tiene desventajas como las limitaciones en cuanto a la altura, la sensibilidad a la humedad y la disponibilidad.

4.3. COMPARACIÓN ENTRE EL CLT Y EL ENTRAMADO LIGERO

El panel de madera contralaminada (CLT) y el entramado ligero son dos sistemas de construcción que utilizan madera como material principal, pero difieren en sus propiedades y aplicaciones. A continuación, se compararán en cada una de ellas.

1. Composición y Estructura:

- **Madera Contralaminada (CLT):** El CLT está compuesto por capas de tablas de madera pegadas entre sí en orientaciones perpendiculares. Generalmente, consta de un número impar de capas para mejorar su estabilidad.
- **Entramado Ligero:** El entramado ligero es un sistema de construcción que utiliza postes y vigas de madera para formar una estructura esquelética. Las paredes se construyen con montantes verticales y travesaños horizontales, mientras que los techos y pisos se crean mediante vigas y viguetas.



Ilustración 46: Composición y estructura del CLT



Ilustración 47: Composición y estructura del Entramado Ligero

2. Resistencia y Durabilidad:

- **Madera Contralaminada (CLT):** Debido a su composición multicapa y su disposición cruzada, el CLT tiene una muy buena resistencia estructural. Es capaz de soportar cargas significativas, lo que lo hace adecuado para edificios de varios pisos y aplicaciones que requieren alta resistencia. También es duradero y puede ser tratado para mejorar su resistencia al fuego y a los insectos.
- **Entramado Ligero:** Aunque el entramado ligero también es resistente, su capacidad de carga puede ser menor en comparación con el CLT. Es más adecuado para edificios de menor envergadura, como viviendas unifamiliares y estructuras ligeras.

3. Eficiencia de Construcción:

- **Madera Contralaminada (CLT):** El CLT es conocido por su eficiencia de construcción, ya que los paneles se fabrican en fábrica y se ensamblan en obra. Esto puede acelerar los tiempos de construcción.
- **Entramado Ligero:** El entramado ligero también es relativamente rápido de construir, pero puede requerir más tiempo en el sitio en comparación con el CLT debido al proceso de ensamblaje de elementos individuales.



Ilustración 48: Construcción de CLT



Ilustración 49: Construcción de Entramado Ligero

4. Aislamiento Térmico y Acústico:

- **Madera Contralaminada (CLT):** El CLT puede proporcionar un buen aislamiento térmico debido a su grosor. Sin embargo, puede necesitar capas adicionales de aislamiento para cumplir con ciertos estándares.
- **Entramado Ligero:** El entramado ligero puede permitir una mayor flexibilidad en el diseño del aislamiento térmico y acústico, ya que las cavidades entre los montantes pueden llenarse con aislante.

5. Aplicaciones:

- **Madera Contralaminada (CLT):** El CLT es adecuado para una variedad de aplicaciones, incluyendo edificios de varios pisos.
- **Entramado Ligero:** El entramado ligero es comúnmente utilizado en viviendas unifamiliares y edificios de pocos pisos, así como en estructuras ligeras como cobertizos y garajes.



Ilustración 50: Edificio de CLT



Ilustración 51: Edificio de Entramado Ligero

6. Coste económico:

- **Madera Contralaminada (CLT):** El CLT suele tener un coste por metro cuadrado mayor debido a su mayor calidad y a la necesidad de importarlo en algunas regiones. La instalación puede requerir menos tiempo y mano de obra en comparación con el entramado ligero, ya que los paneles CLT son más grandes y se ensamblan con mayor rapidez. Sin embargo, la mano de obra especializada en CLT puede ser más costosa. El diseño de proyectos con CLT pueden ser más costosos debido a la necesidad de cálculos estructurales y detalles específicos relacionados con este material. Por último, el transporte de paneles CLT también puede ser más costoso, especialmente si se importan de áreas lejanas. Estos paneles son más pesados y voluminosos que los materiales de entramado ligero, lo que puede aumentar los costos de transporte.
- **Entramado Ligero:** Los materiales utilizados en un sistema de entramado ligero son generalmente más económicos en términos de coste por metro cuadrado. Esto incluye madera dimensional, paneles de yeso y otros componentes estándar de construcción en seco. La construcción de entramado ligero suele requerir más mano de obra debido a la necesidad de construir una estructura de madera más compleja y a la instalación de paneles de yeso, aislamiento y otros componentes adicionales. El diseño de proyectos con este sistema es más convencional y puede ser menos costoso en comparación con el CLT. Por último, los materiales de entramado ligero suelen ser más livianos y fáciles de transportar, lo que puede reducir los costes logísticos.

En resumen, el CLT y el entramado ligero son dos enfoques valiosos en la construcción en madera, cada uno con sus propias fortalezas y áreas de aplicación. El CLT es adecuado para proyectos que requieren alta resistencia y estabilidad, mientras que el entramado ligero es una opción versátil para estructuras más ligeras y flexibles en términos de diseño.

La mejor opción dependerá de factores como el tipo de proyecto, los requisitos estructurales, las consideraciones de tiempo y las metas de eficiencia energética.

5. EDIFICIOS CONSTRUIDOS EN MADERA

La construcción en madera ha experimentado un resurgimiento significativo en las últimas décadas, a medida que se buscan alternativas sostenibles y eficientes para la edificación de estructuras residenciales, comerciales e incluso rascacielos.

La madera, un recurso renovable y versátil, ofrece una serie de ventajas que la hacen atractiva para arquitectos, ingenieros y constructores. Sus propiedades y características han impulsado que en varios países domine este material como mejor opción a la hora de construir.

A continuación, se van a mostrar 13 edificios construidos con CLT o con entramado ligero, con un breve resumen y una ficha mostrando su nombre, localidad, altura, número de plantas, área y en los casos que ha sido posible, el precio de construcción.

BROCK COMMONS TALLWOOD HOUSE

Brock Commons Tallwood House es un hito arquitectónico situado en la Universidad de Columbia Británica en Vancouver, Canadá. Construido en 2017, este edificio es pionero en la construcción de rascacielos de madera en altura, destacando por su innovadora combinación de sostenibilidad y diseño avanzado. Con 18 pisos y una altura de 53 metros, es uno de los edificios de madera más altos del mundo. La estructura del edificio está compuesta principalmente por madera laminada cruzada (CLT), aunque el núcleo principal es de hormigón armado.



Ilustración 52: Edificio Brock Commons Tallwood House

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	PLANTAS	ÁREA (m ²)	COSTE (\$)
Vancouver (Canadá)	2017	53	18	16.805	51 millones

Tabla 1: Datos del edificio Brock Commons Tallwood House

THE TREET

"The Treet" es un destacado edificio residencial en Bergen, Noruega. Construido en 2015, fue en su día el edificio de madera más alto del mundo con 14 pisos. Utiliza principalmente madera laminada cruzada (CLT) en su estructura, reduciendo la huella de carbono y el impacto ambiental. Diseñado con enfoque en la sostenibilidad, incorpora sistemas de energía eficiente y materiales renovables.



Ilustración 53: Edificio THE TREET

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	PLANTAS	ÁREA (m ²)	COSTE (\$)
Bergen (Noruega)	2015	53	14	14.800	---

Tabla 2: Datos del edificio THE TREET

CASA DE LA CASCADA

Este edificio está diseñado por el famoso arquitecto Frank Lloyd Wright en 1935, y ubicada en Pensilvania, Estados Unidos. Es un ejemplo destacado de la arquitectura de entramado ligero. La casa se integra de manera armoniosa con su entorno natural, y gran parte de su estructura está construida con madera.

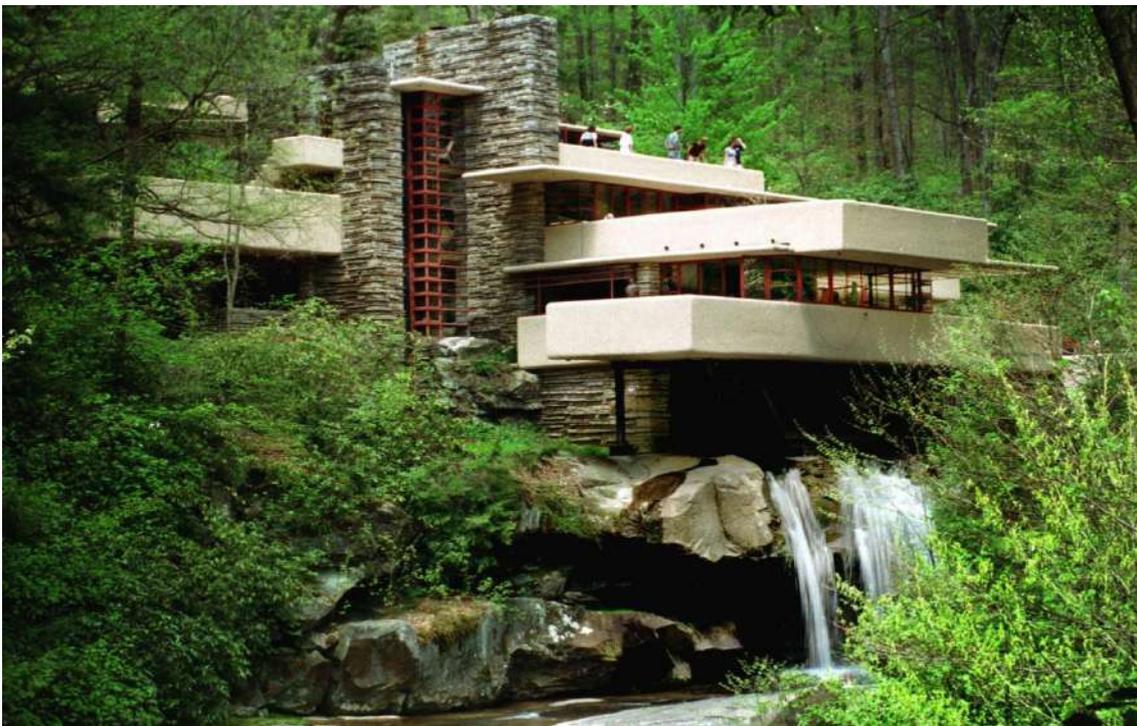


Ilustración 54: Edificio CASA DE LA CASCADA

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	PLANTAS	ÁREA (m ²)	COSTE (\$)
Pensilvania (Estados Unidos)	1935	18	3	268 + 227	155.000 (3,1 millones actualidad)

Tabla 3: Datos del edificio CASA DE LA CASCADA

MAGGIE'S OLDHAM

El edificio Maggie's Oldham es un centro de apoyo a personas con cáncer en Oldham, Reino Unido. Diseñado por el renombrado arquitecto Norman Foster, se caracteriza por su arquitectura innovadora y sostenible. El edificio combina elementos de madera contralaminada (CLT), acero y vidrio, convirtiéndolo en un lugar acogedor y tranquilizador.



Ilustración 55: Edificio MAGGIE'S OLDHAM

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	PLANTAS	ÁREA (m ²)	COSTE (\$)
Oldham (Reino Unido)	2017	4,5	1	260	---

Tabla 4: Datos del edificio MAGGIE'S OLDHAM

STADTHAUS

Stadthaus, en Londres, es un hito arquitectónico finalizado en 2009. Destaca por ser uno de los primeros edificios residenciales de gran altura en el mundo construido mayoritariamente con madera. La estructura de este edificio de 9 pisos combina madera contralaminada (CLT) y madera laminada, minimizando la huella de carbono y el impacto ambiental. Su diseño ecoeficiente incluye sistemas de energía renovable y ventilación natural.

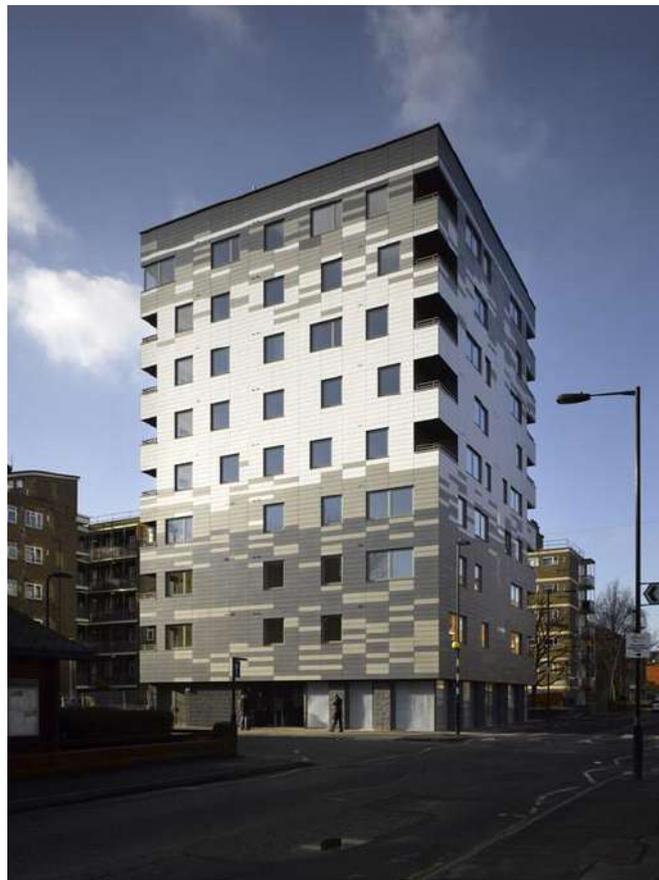


Ilustración 56: Edificio STADTHAUS

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	PLANTAS	ÁREA (m ²)	COSTE (\$)
Londres (Reino Unido)	2009	29	9	8.500	2.5-4 millones

Tabla 5: Datos del edificio STADTHAUS

BAOBAB

El edificio Baobab en la Universidad de Arkansas es un ejemplo innovador de construcción sostenible. Finalizado en 2021, es un centro de estudiantes y un laboratorio de investigación que se destaca por su diseño ecoeficiente y el uso de materiales renovables. La estructura emplea madera laminada cruzada (CLT) y madera certificada FSC en su construcción, minimizando la huella de carbono. Con características como paneles solares y sistemas de recolección de agua de lluvia, Baobab ejemplifica la convergencia de arquitectura avanzada y sostenibilidad, creando un espacio inspirador que promueve la conciencia ambiental y la innovación.



Ilustración 57: Edificio BAOBAB

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	PLANTAS	ÁREA (m ²)	COSTE (\$)
Arkansas (Estados Unidos)	2019	24	6	2.600	---

Tabla 6: Datos del edificio BAOBAB

MJØSTÅRNET

Mjøstårnet, finalizado en 2019 en Brumunddal, Noruega, es un logro arquitectónico emblemático. Reconocido como el edificio de madera más alto del mundo, con 18 pisos y 85.4 metros de altura, destaca por su diseño y construcción sostenible. El uso de madera contralaminada (CLT) y técnicas de construcción eficientes reduce la huella de carbono y promueve la innovación en la industria de la construcción.

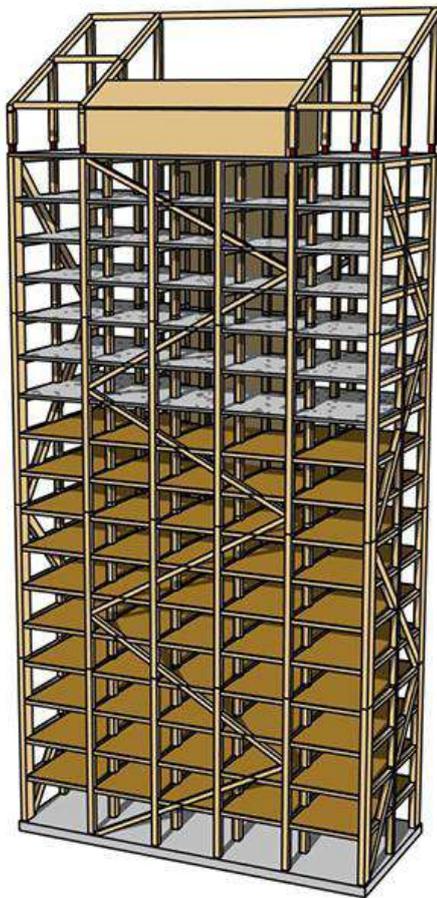


Ilustración 58: Edificio Mjøstårnet

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	PLANTAS	ÁREA (m ²)	COSTE (\$)
Brumunddal (Noruega)	2019	85,4	18	11.300	

Tabla 7: Datos del edificio Mjøstårnet

CASA EAMES

La Casa Eames es una icónica residencia diseñada por los influyentes arquitectos y diseñadores Charles y Ray Eames en 1949. Ubicada en el Pacífico Palisades de California, Estados Unidos, la casa es un ejemplo emblemático de la arquitectura moderna y el diseño innovador. Se caracteriza por su uso de entramado ligero, acero y vidrio, que crea una estructura abierta y luminosa. La Casa Eames es un testimonio de la capacidad de los Eames para fusionar la funcionalidad, la estética y la sostenibilidad en la arquitectura, y ha dejado una huella duradera en la historia del diseño.



Ilustración 59: Edificio CASA EAMES

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	PLANTAS	ÁREA (m ²)	COSTE (\$)
Los Ángeles (Estados Unidos)	1949	5,1	2	139	-----

Tabla 8: Datos del edificio CASA EAMES

THE SMILE

"The Smile" es una estructura arquitectónica única que fusiona diseño y tecnología. Concebido en 2016 por el arquitecto Alison Brooks y el ingeniero Arup, este edificio curvado y torcido en madera contralaminada (CLT) se alza en Londres. Actuando como pabellón temporal, "The Smile" combina innovación en construcción y estética cautivadora. Su forma representa la fuerza estructural de la madera, combinándola con su flexibilidad.



Ilustración 60: Edificio THE SMILE

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	LONGITUD (m)	ANCHURA (m)	COSTE (\$)
Londres (Reino Unido)	2016	3,5	34	4,5	-----

Tabla 9: Datos del edificio THE SMILE

CARBON12

El edificio Carbon12, situado en Portland, Oregón, es otro hito arquitectónico que encarna la sostenibilidad y la innovación. Diseñado por PATH Architecture, es el primer edificio de madera masiva contralaminada (CLT) de Estados Unidos con 8 pisos de altura. Este rascacielos se destaca por su huella de carbono reducida y su diseño vanguardista. Su estructura de madera y vidrio crea un ambiente moderno y luminoso, mientras que las características ecológicas incluyen un sistema de energía solar y un diseño de bajo consumo energético. El Carbon12 ejemplifica la integración de la estética contemporánea y la conciencia ambiental.

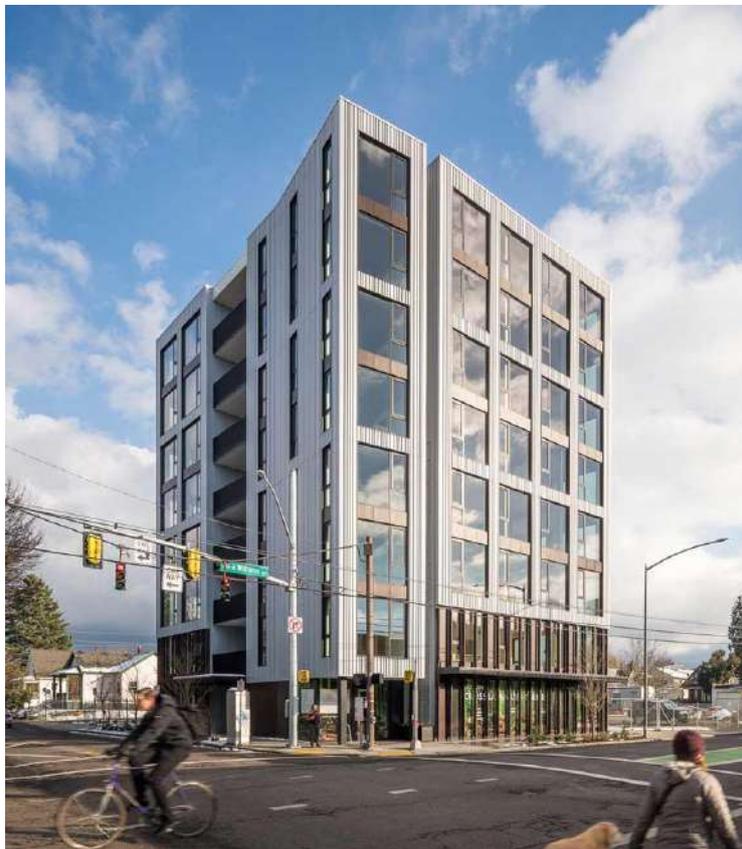


Ilustración 61: Edificio CARBON12

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	PLANTAS	ÁREA (m ²)	COSTE (\$)
Portland (Estados Unidos)	2018	26	8	3.019	----

Tabla 10: Datos del edificio CARBON12

MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE UTAH

El Museo de Historia Natural de Utah es un edificio emblemático que se completó en 2011. Utiliza una estructura de entramado ligero revestida con un innovador sistema de fachada de vidrio y metal. Aunque la estructura subyacente es de madera, el edificio logra un aspecto moderno y sofisticado gracias a su diseño arquitectónico.

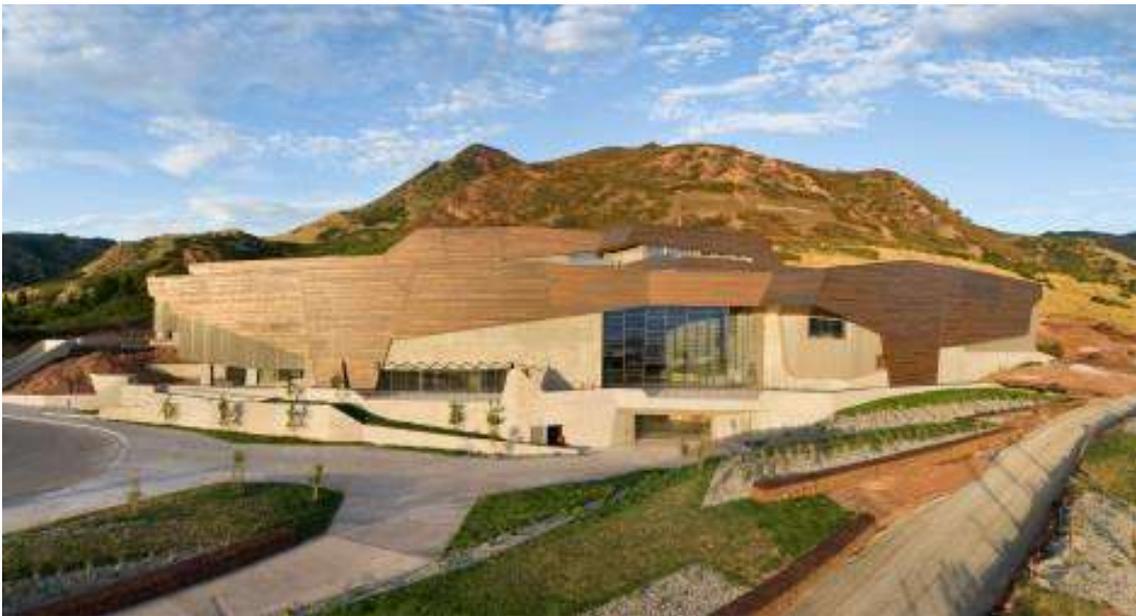


Ilustración 62: Edificio MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE UTAH

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	PLANTAS	ÁREA (m ²)	COSTE (\$)
Utah (Estados Unidos)	2011	11,3	3	14.957	-----

Tabla 11: Datos de edificio MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE UTAH

25 KING

El edificio 25 King, ubicado en Brisbane, Australia, es una destacada muestra de la arquitectura moderna y sostenible. Con 10 pisos y una altura de 45 metros, es uno de los rascacielos de madera más altos de Australia. Su estructura de madera laminada cruzada (CLT) y su diseño ecosostenible le confieren una huella de carbono reducida. Además, cuenta con paneles solares en su fachada y sistemas de eficiencia energética.



Ilustración 63: Edificio 25 KING

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	PLANTAS	ÁREA (m ²)	COSTE (\$)
Brisbane (Australia)	2018	45	10	8.000	----

Tabla 12: Datos del edificio 25 KING

T3 MINNEAPOLIS

El edificio T3 (Timber, Transit, Technology) en Minneapolis es un destacado ejemplo de la construcción moderna y sostenible. Diseñado por Michael Green Architecture, es uno de los primeros rascacielos de madera contralaminada (CLT) en los Estados Unidos. Con su estructura de madera expuesta y diseño industrial, T3 combina estética y sostenibilidad. El edificio promueve la eficiencia energética y la conservación de recursos, incorporando tecnología de vanguardia.



Ilustración 64: T3 MINNEAPOLIS

LOCALIDAD	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	ALTURA (m)	PLANTAS	ÁREA (m ²)	COSTE (\$)
Minneapolis (Estados Unidos)	2016	25.5	7	20.810	----

Tabla 13: Datos del edificio T3 MINNEAPOLIS

6. ELEMENTOS INDUSTRIALIZADOS DE MADERA

La construcción industrializada con elementos de madera ha emergido como una tendencia innovadora y sostenible en la industria de la edificación. En contraste con los métodos de construcción tradicionales, que a menudo involucran procesos laboriosos y tiempo prolongado en obra, este método constructivo se destaca por su enfoque eficiente, rápido y preciso. La combinación de la versatilidad de la madera con esta metodología de construcción ha dado lugar a una revolución en el diseño y la ejecución de edificios, ofreciendo una serie de beneficios tanto a nivel estético como técnico.

La madera, como se ha explicado en apartados anteriores, ha sido valorada a lo largo de la historia como material de construcción gracias a su naturaleza renovable y sus buenas propiedades mecánicas. Su aplicación en este sistema constructivo ha permitido crear fachadas y forjados que combinan resistencia estructural con una estética natural y cálida.

Las técnicas de fabricación modernas permiten la creación de paneles de madera prefabricados con una precisión milimétrica, lo que garantiza una alineación perfecta durante el montaje en el lugar de construcción. Esto no solo acelera el proceso de edificación, sino que también reduce los desperdicios y minimiza el impacto ambiental.

Uno de los aspectos más destacables de la construcción industrializada con elementos de madera es su capacidad para crear fachadas estéticamente llamativas y estructuralmente funcionales. Los paneles de madera prefabricados pueden ser diseñados con una gran variedad de acabados y patrones, desde diseños geométricos hasta texturas orgánicas. Además, estos paneles pueden integrar elementos como aislamiento térmico y acústico, lo que mejora la eficiencia energética del edificio y el confort de sus ocupantes.

En este apartado se examinará las fachadas prefabricadas de madera, aquellas construidas con CLT y con entramado ligero, analizando su espesor, peso y coste.

6.1. FACHADAS DE CLT

Las fachadas de madera laminada cruzada, se caracterizan por su peso relativamente ligero en comparación con otros materiales de revestimiento convencionales, como el ladrillo o el hormigón. La ligereza de estas fachadas se debe a la naturaleza de las láminas de madera utilizadas en su construcción, que son delgadas y compuestas.

El espesor de las fachadas de CLT puede variar significativamente según las necesidades específicas del proyecto. Por lo general, las láminas de madera utilizadas tienen un espesor que oscila entre 12 y 20 mm. Sin embargo, este espesor puede ajustarse en función de los requisitos de diseño, así como de las consideraciones estructurales y de aislamiento térmico.

1. Panel CLT.
2. Aislamiento exterior.
3. Lámina impermeable.
4. Material de acabado.

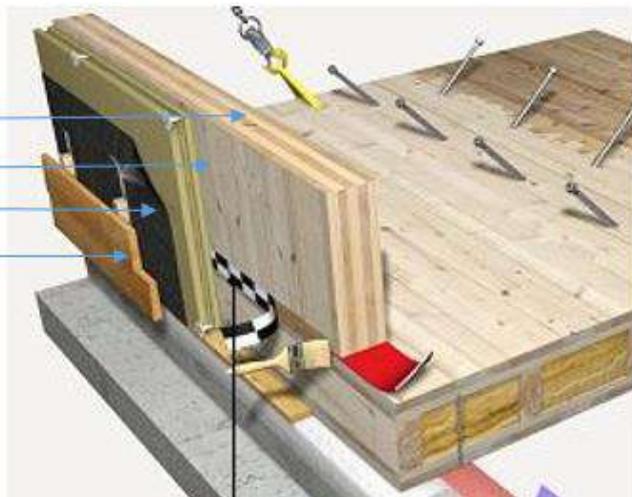


Ilustración 65: Fachada de CLT

En cuanto al coste, las fachadas de CLT pueden tener un precio inicial ligeramente superior en comparación con materiales de revestimiento más tradicionales. Sin embargo, es importante considerar que, a largo plazo, las fachadas de CLT pueden ofrecer beneficios sustanciales en términos de eficiencia energética y durabilidad, lo que puede hacer que su coste se compense a lo largo de la vida útil del edificio.

El volumen de estas fachadas se calcula en función de las dimensiones específicas del proyecto y el espesor de las láminas de madera utilizadas. Estas piezas se fabrican en fábrica, lo que facilita su transporte y montaje en el lugar de construcción. Esto puede resultar en una mayor eficiencia en el proceso de construcción y, en última instancia, puede ayudar a reducir los costes de mano de obra en el sitio.



Ilustración 66: Fachada de CLT

En resumen, las fachadas de CLT presentan una serie de ventajas, como su sostenibilidad, ligereza y versatilidad en términos de espesor y coste, que las hacen atractivas para una variedad de proyectos de construcción. Su capacidad para ofrecer una estética natural y cálida, junto con sus beneficios ambientales y económicos a largo plazo, las convierte en una opción a tener en cuenta.



Ilustración 67: Fachada de CLT

6.2. FACHADAS DE ENTRAMADO LIGERO

Las fachadas de madera, especialmente aquellas construidas utilizando entramado ligero, han emergido como una opción arquitectónica atractiva y eficiente en términos de energía. Esta técnica de construcción combina el atractivo de la madera con la versatilidad del entramado ligero, lo que resulta en fachadas que no solo son visualmente agradables, sino también funcionales y sostenibles.

El entramado ligero es un sistema de construcción en el que los elementos estructurales de madera, como postes y vigas, se ensamblan para formar una estructura de soporte. Estos componentes se fabrican en entornos controlados y luego se ensamblan en el lugar de construcción. Esta metodología permite una construcción más rápida y precisa en comparación con los métodos tradicionales.



Ilustración 68: Fachada de Entramado Ligero

Uno de los aspectos más destacados de las fachadas de entramado ligero es su capacidad para combinar diseño y funcionalidad. Este sistema permite la incorporación de aislamiento térmico y acústico, lo que mejora la eficiencia energética del edificio y el confort de sus ocupantes. Esto es especialmente relevante en la actualidad, ya que la sostenibilidad y la eficiencia energética son preocupaciones centrales en la arquitectura contemporánea.

En términos de características técnicas, las fachadas de entramado ligero suelen tener un espesor que varía según el diseño y los requisitos del proyecto. Generalmente, el espesor puede oscilar entre 15 y 30 centímetros, dependiendo de factores como la ubicación del edificio, las necesidades de aislamiento y la estética deseada. Esta flexibilidad en el diseño permite adaptar las fachadas de entramado ligero a diferentes estilos arquitectónicos y climas.

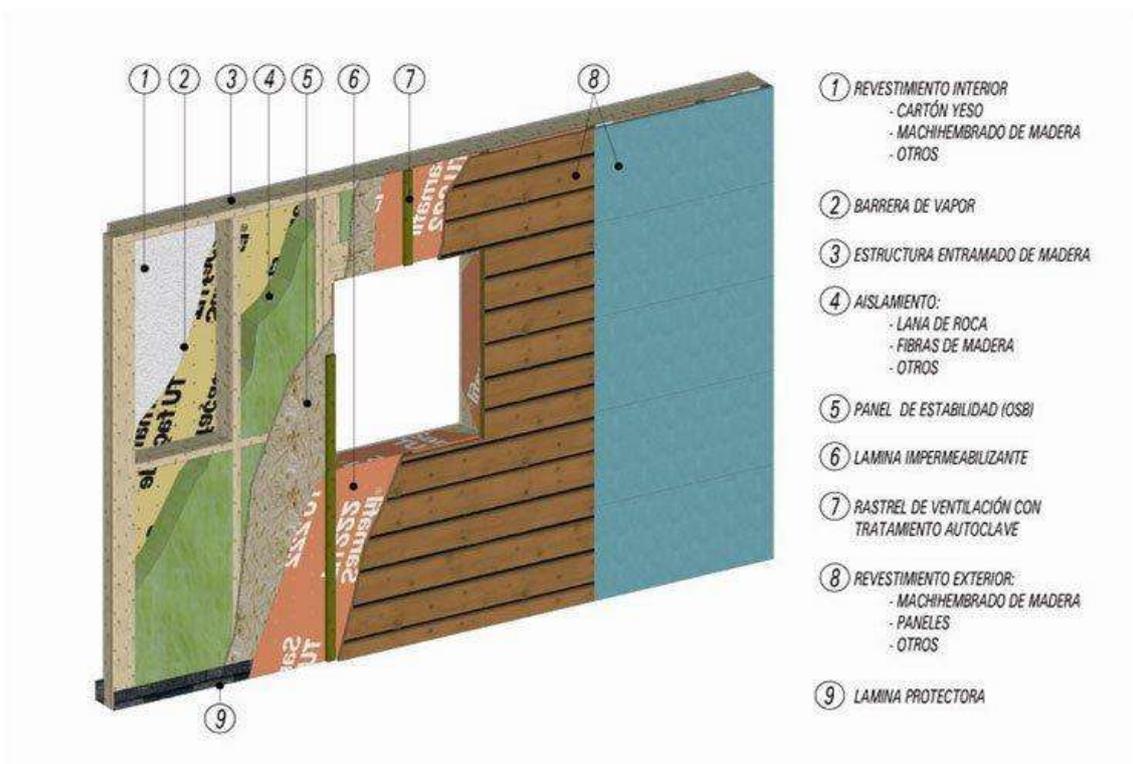


Ilustración 69: Fachada de ENtramado Ligero

En cuanto al peso y el volumen de estas fachadas, es importante considerar que el entramado ligero está diseñado para ser ligero y fácil de manejar. Los componentes individuales de madera, al ser fabricados en condiciones controladas, son precisos en términos de dimensiones y peso. Esto no solo facilita su transporte y montaje en el lugar de construcción, sino que también reduce la carga en la estructura del edificio en su conjunto.



Ilustración 70: Fachada de Entramado Ligero

En términos de coste, las fachadas de entramado ligero varían según la región, el diseño, el tamaño del proyecto y los materiales utilizados. Sin embargo, en general, se consideran una opción rentable debido a su proceso de fabricación eficiente y a la rapidez con la que se pueden instalar en el sitio de construcción.

En conclusión, las fachadas de madera construidas con entramado ligero son un ejemplo de eficiencia en la construcción moderna, ofreciendo un diseño versátil y promoviendo la sostenibilidad. Estas fachadas se han convertido en una elección popular en proyectos arquitectónicos diversos.

6.3. COMPARACION ENTRE FACHADAS DE CLT Y ENTRAMADO LIGERO

A continuación, se presenta una comparación entre fachadas de CLT y de entramado ligero:

1. Material de construcción:

- **Fachadas CLT:** Utilizan paneles de madera contralaminada, que consisten en capas de madera maciza pegadas en perpendicular. Estos paneles son robustos y pueden soportar cargas estructurales significativas.
- **Fachadas de entramado ligero:** Están construidas con una estructura de madera más ligera, como montantes y vigas de madera dimensional, que se ensamblan en un entramado.



Ilustración 71: Fachada de CLT



Ilustración 72: Fachada de Entramado Ligero

2. Resistencia y durabilidad:

- **Fachadas CLT:** Son conocidas por su alta resistencia y durabilidad. Los paneles CLT pueden soportar cargas de viento y nieve, lo que los hace adecuados para edificios de varios pisos.
- **Fachadas de entramado ligero:** Son adecuadas para edificios más ligeros y bajos en altura. Aunque son resistentes, pueden no ser tan adecuadas para estructuras de gran escala o condiciones climáticas extremas.

3. Aislamiento térmico y acústico:

- **Fachadas CLT:** Ofrecen buen aislamiento térmico y acústico debido a su construcción sólida y espesor. Esto puede contribuir a la eficiencia energética y al confort acústico de los edificios.
- **Fachadas de entramado ligero:** El aislamiento térmico y acústico depende en gran medida de los materiales utilizados en la construcción y puede requerir capas adicionales para lograr un rendimiento comparable al de las fachadas CLT.

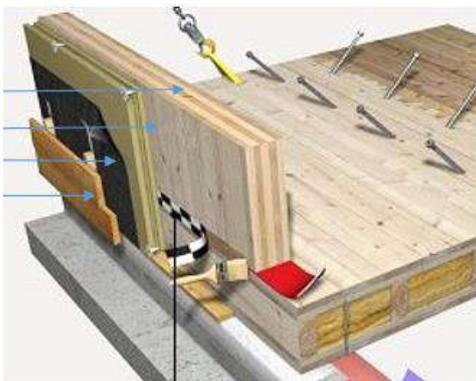


Ilustración 73: Aislamiento en fachada de CLT



Ilustración 74: Aislamiento en fachada de Entramado Ligero

4. Coste:

- **Fachadas CLT:** Tienen un coste inicial más alto debido a la inversión en paneles CLT, pero pueden ofrecer ahorros a largo plazo en términos de eficiencia energética y durabilidad.
- **Fachadas de entramado ligero:** Suelen ser más económicas en términos de materiales, pero es posible que requieran más inversión en aislamiento y revestimientos para alcanzar un rendimiento similar.

5. Tiempo de construcción:

- **Fachadas CLT:** Pueden acelerar el proceso de construcción debido a la rapidez con la que se pueden ensamblar los paneles CLT.
- **Fachadas de entramado ligero:** También pueden construirse de manera eficiente, pero su proceso puede ser ligeramente más lento en comparación con CLT.

6. Aprovechamiento

- **Fachadas CLT:** Para edificios de varios pisos, este material es más adecuado en cuanto a su resistencia, pero para edificios de pocos pisos, el espesor de las tablas CLT es grande para lo que en realidad necesita. Esto es, se utiliza más madera de la necesaria, perdiendo así parte de esa característica sostenible que lo define.
- **Fachadas de entramado ligero:** Dentro de edificios de pocos pisos, puesto que estos elementos no están preparados para resistir grandes cargas, el aprovechamiento de la madera que tiene es mayor que el del CLT. Estas fachadas tienen elementos con un espesor menor, dándole un uso óptimo a la cantidad de madera necesaria, teniendo así el aprovechamiento mayor que se ha mencionado.

En resumen, la elección entre fachadas CLT y fachadas de entramado ligero depende de varios factores, como la escala del proyecto, las condiciones climáticas, el presupuesto y las preferencias estéticas. Ambos enfoques tienen sus propias ventajas y desventajas, y la elección dependerá de las necesidades específicas de cada proyecto de construcción.

6.3.1. EJEMPLOS DE COMPARACIÓN DE FACHADAS CON DX PIME

En este apartado se mostrarán ejemplos donde se comparan una fachada de CLT y otra de entramado ligero con diferentes acabados que se han simulado con el programa de ordenador Dx Pime.

Se ha ido aumentando el espesor del aislamiento de cada una de las fachadas hasta llegar a una transmitancia muy parecida ($U=0,233$). Los diferentes acabados son los siguientes:

- Acabado exterior de madera
- Acabado exterior SATE
- Acabado exterior metálico
- Acabado exterior de piedra
- Acabado exterior de lamas

Se han creado unas tablas con los valores conseguidos como la resistencia térmica, el impacto ambiental, la masa por metro cuadrado, el espesor y el precio por metro cuadrado. Se han comparado dichos valores y se han sacado conclusiones.

El objetivo de este apartado es ver la diferencia que tiene cada fachada, con sus respectivos materiales, proporcionando la misma calidad de confort en un edificio.

ENTRAMADO LIGERO CON ACABADO EXTERIOR DE MADERA

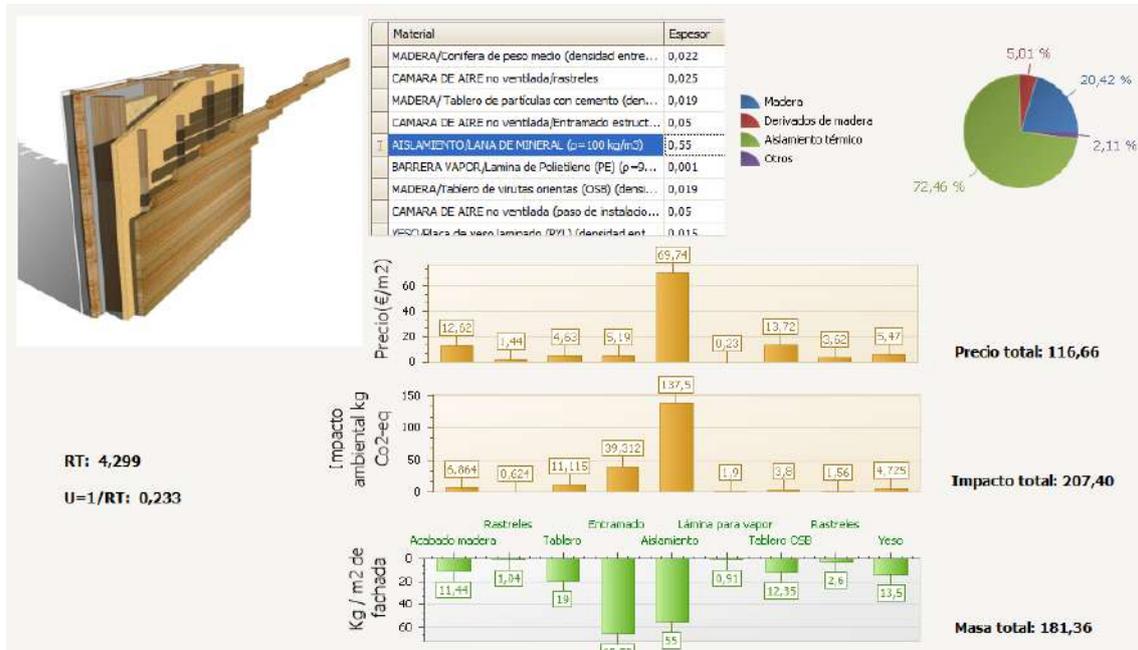


Ilustración 75: Entramado Ligero con acabado exterior de madera

MATERIAL	RESISTENCIA TÉRMICA	TRANSMITANCIA (W/m ²)	IMPACTO AMBIENTAL (Kg CO ₂ -eq)	MASA (Kg/m ²)	ESPESOR (cm)	PRECIO (€/m ²)
Entramado Ligero	4,299	0,233	207,40	181,36	75,1	116,66

Tabla 14: Datos de Entramado Ligero con acabado exterior de madera

CLT CON ACABADO EXTERIOR DE MADERA

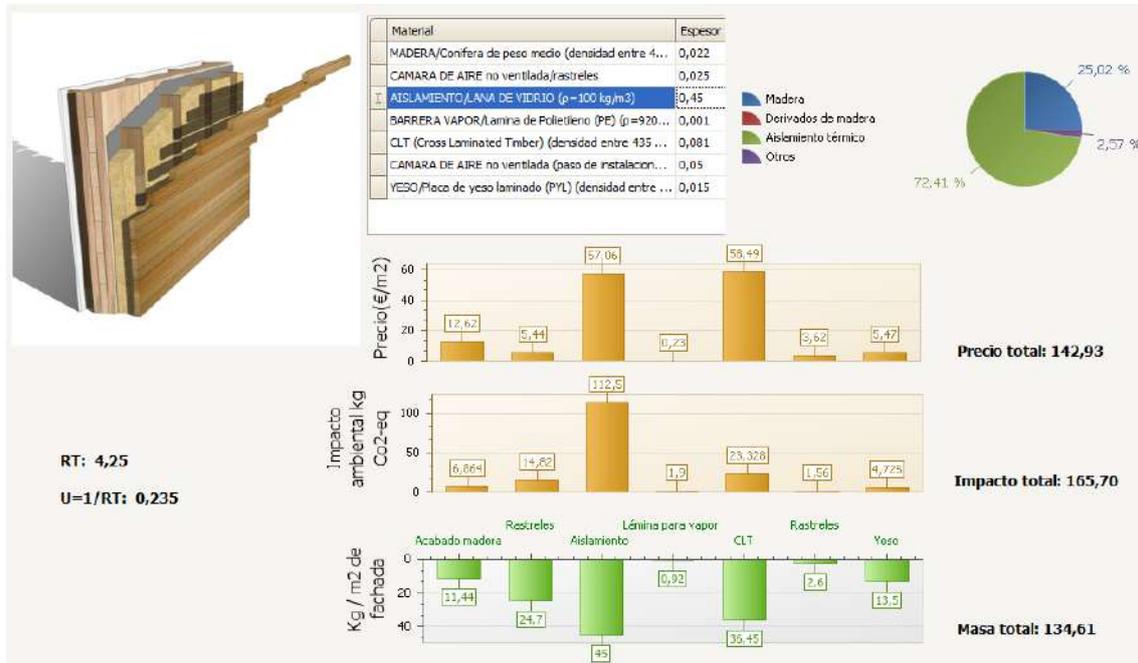


Ilustración 76: CLT con acabado exterior de madera

MATERIAL	RESISTENCIA TÉRMICA	TRANSMITANCIA (W/m2)	IMPACTO AMBIENTAL (Kg CO2-eq)	MASA (Kg/m2)	ESPESOR (cm)	PRECIO (€/m2)
CLT	4,25	0,235	165,70	134,61	64,4	142,93

Tabla 15: Datos de CLT con acabado exterior de madera

ENTRAMADO LIGERO CON ACABADO EXTERIOR SATE

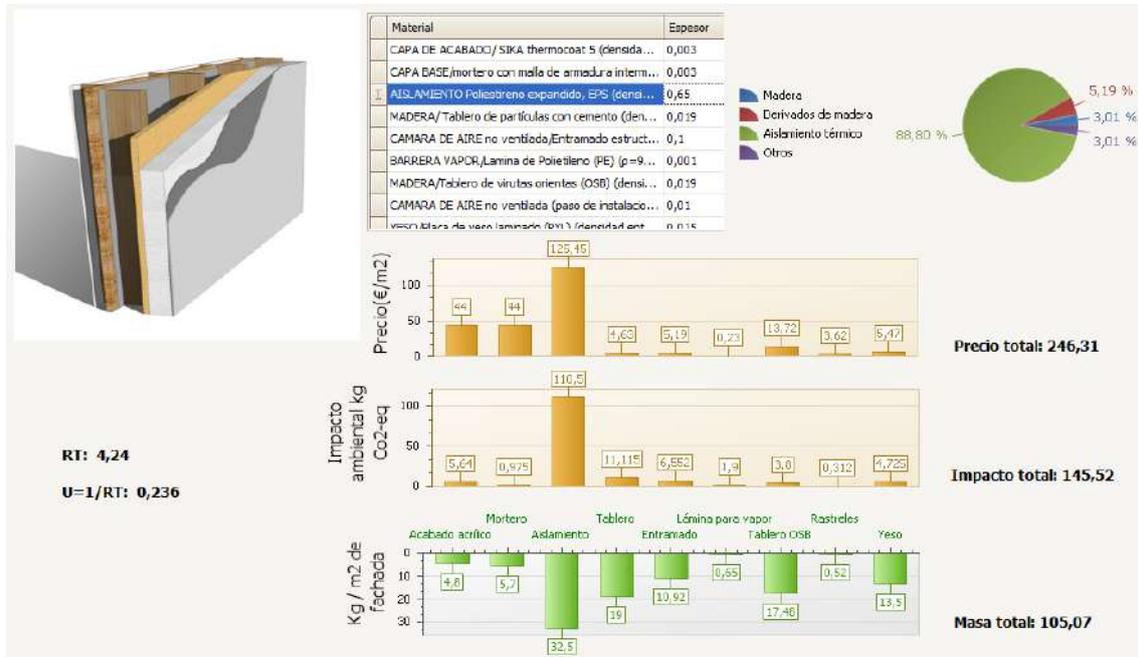


Ilustración 77: Entramado Ligero con acabado exterior de SATE

MATERIAL	RESISTENCIA TÉRMICA	TRANSMITANCIA (W/m2)	IMPACTO AMBIENTAL (Kg CO2-eq)	MASA (Kg/m2)	ESPESOR (cm)	PRECIO (€/m2)
Entramado Ligero	4,24	0,236	145,52	105,07	82,0	246,31

Tabla 16: Datos de Entramado Ligero con acabado exterior de SATE

CLT CON ACABADO EXTERIOR SATE

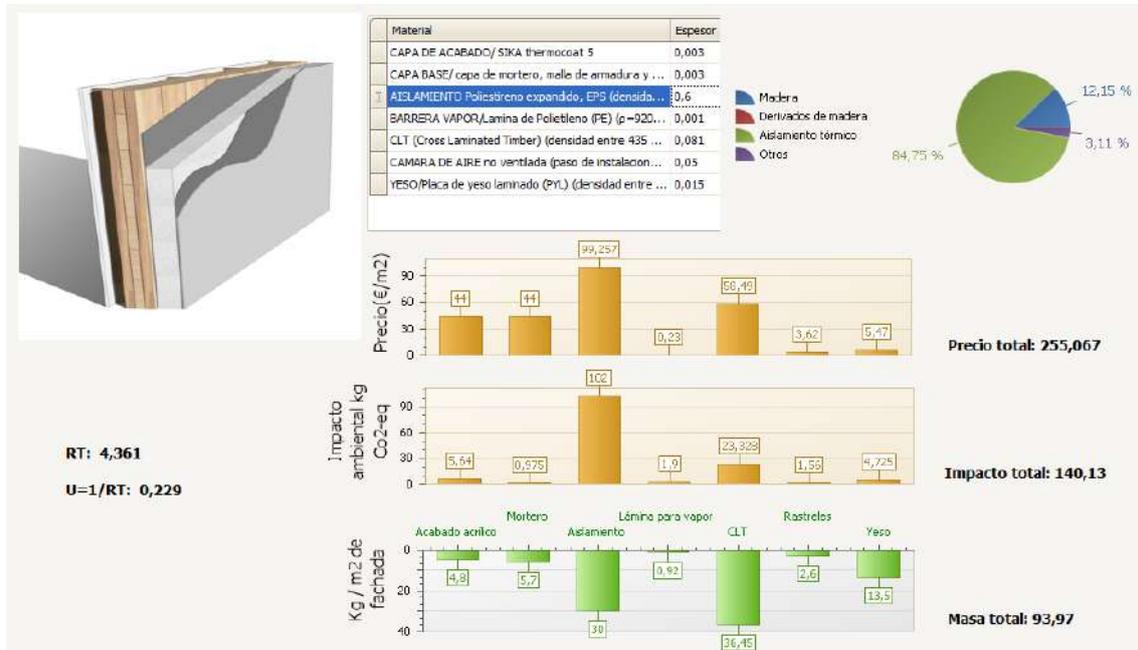


Ilustración 78: CLT con acabado exterior de SATE

MATERIAL	RESISTENCIA TÉRMICA	TRANSMITANCIA (W/m ²)	IMPACTO AMBIENTAL (Kg CO ₂ -eq)	MASA (Kg/m ²)	ESPESOR (cm)	PRECIO (€/m ²)
CLT	4,361	0,229	140,13	93,97	75,3	255,067

Tabla 17: Datos de CLT con acabado exterior de SATE

ENTRAMADO LIGERO CON ACABADO EXTERIOR METÁLICO

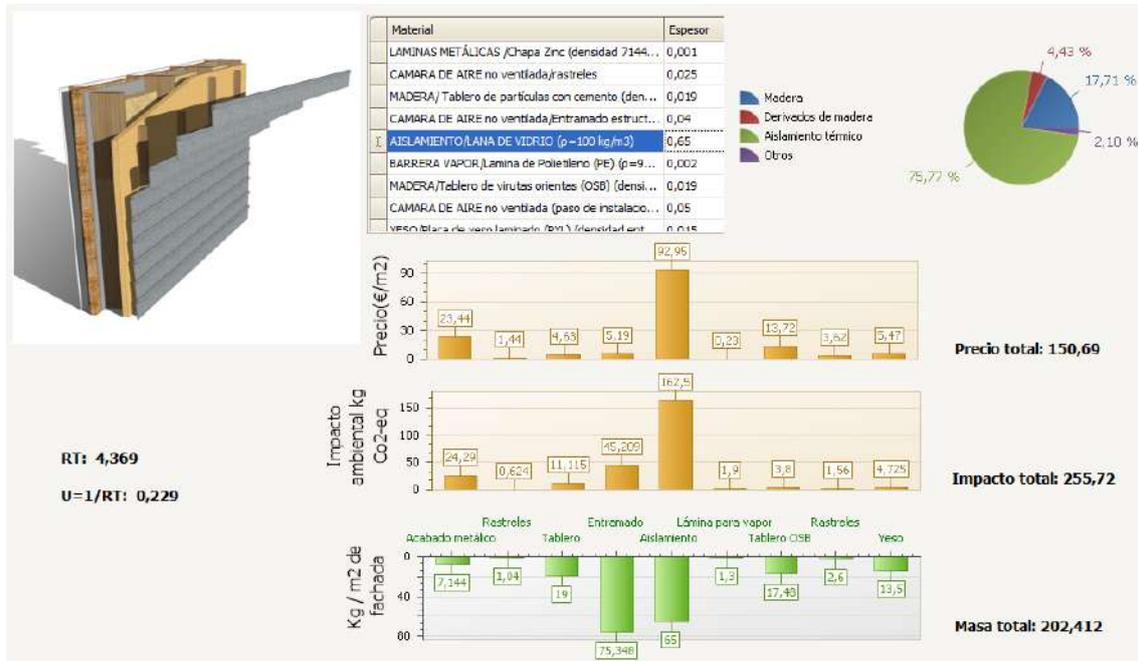


Ilustración 79: Entramado Ligero con acabado exterior metálico

MATERIAL	RESISTENCIA TÉRMICA	TRANSMITANCIA (W/m2)	IMPACTO AMBIENTAL (Kg CO2-eq)	MASA (Kg/m2)	ESPESOR (cm)	PRECIO (€/m2)
Entramado Ligero	4,369	0,229	255,72	202,412	82,1	150,69

Tabla 18: Datos de Entramado Ligero con acabado exterior metálico

CLT CON ACABADO EXTERIOR METÁLICO

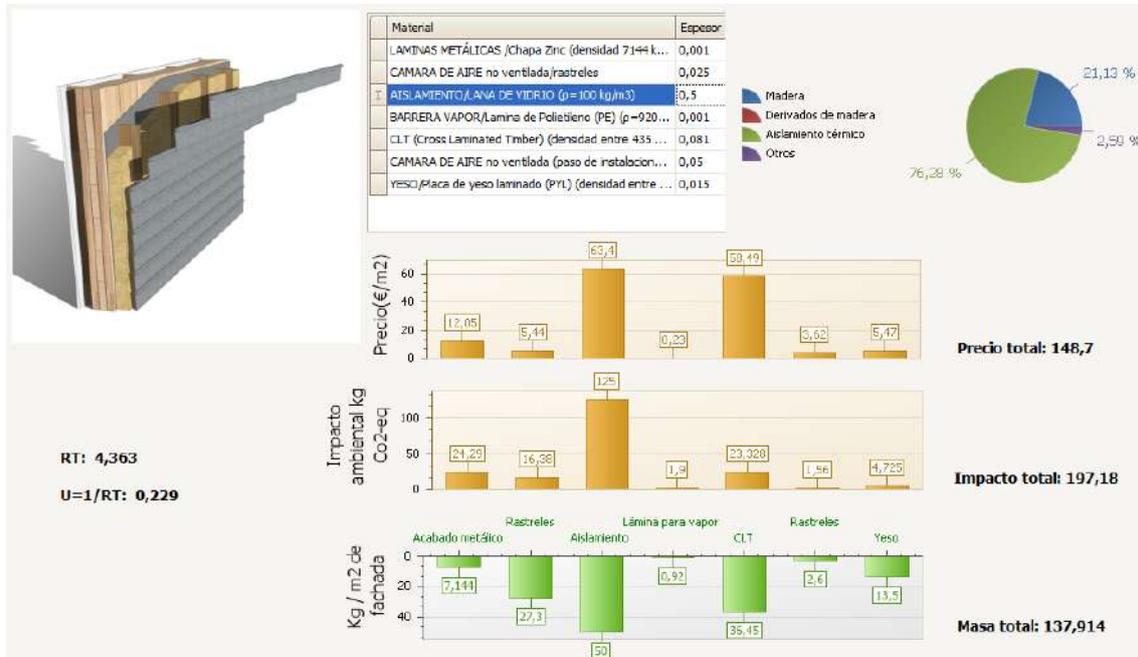


Ilustración 80: CLT con acabado exterior metálico

MATERIAL	RESISTENCIA TÉRMICA	TRANSMITANCIA (W/m2)	IMPACTO AMBIENTAL (Kg CO2-eq)	MASA (Kg/m2)	ESPESOR (cm)	PRECIO (€/m2)
CLT	4,363	0,229	197,18	137,914	67,3	148,7

Tabla 19: Datos de CLT con acabado exterior metálico

ENTRAMADO LIGERO CON ACABADO EXTERIOR DE PIEDRA

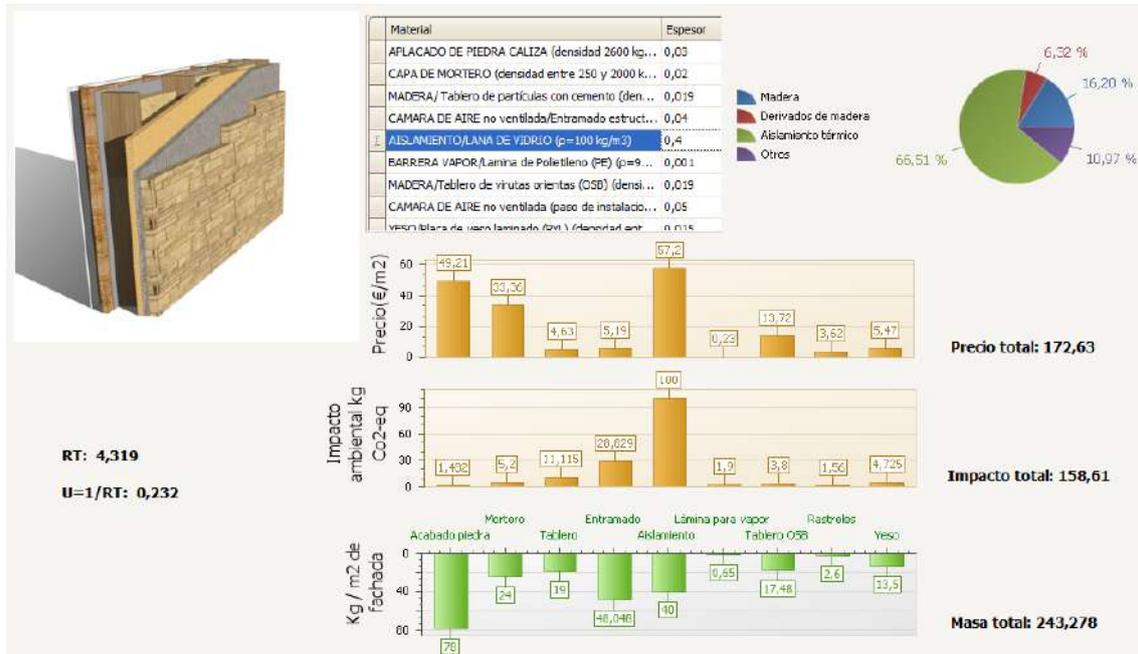


Ilustración 81: Entramado Ligero con acabado exterior de piedra

MATERIAL	RESISTENCIA TÉRMICA	TRANSMITANCIA (W/m²)	IMPACTO AMBIENTAL (Kg CO2-eq)	MASA (Kg/m²)	ESPESOR (cm)	PRECIO (€/m²)
Entramado Ligero	4,219	0,232	158,61	234,278	59,4	172,63

Tabla 20: Datos de Entramado Ligero con acabado exterior de piedra

CLT CON ACABADO EXTERIOR DE PIEDRA

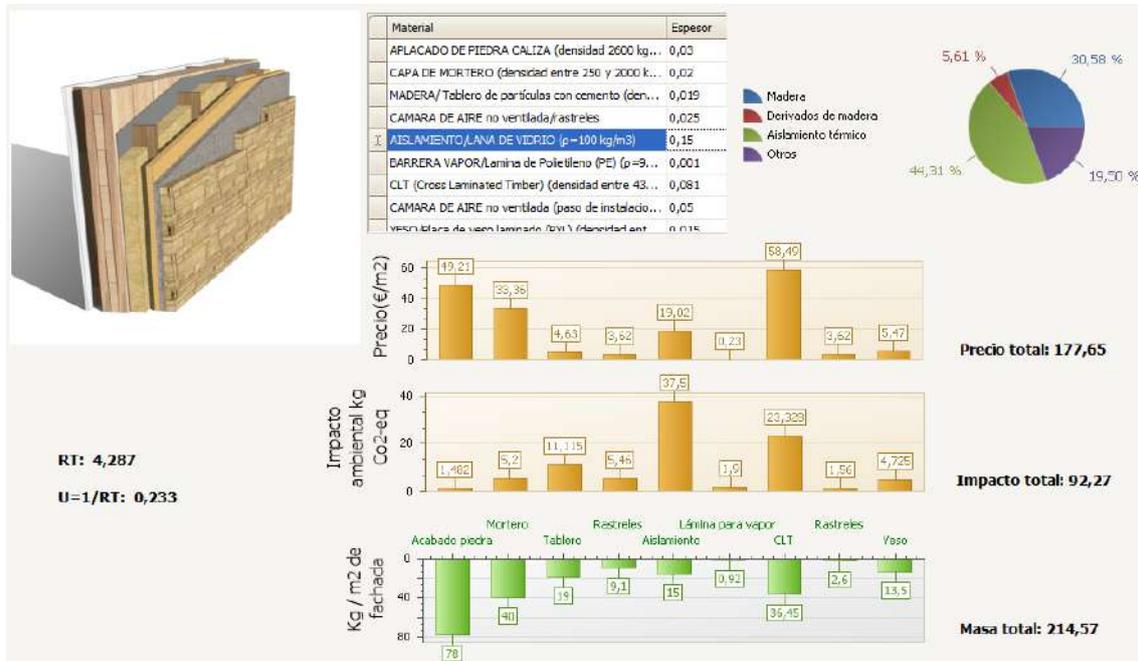


Ilustración 82: CLT con acabado exterior de piedra

MATERIAL	RESISTENCIA TÉRMICA	TRANSMITANCIA (W/m2)	IMPACTO AMBIENTAL (Kg CO2-eq)	MASA (Kg/m2)	ESPESOR (cm)	PRECIO (€/m2)
CLT	4,287	0,233	92,27	214,57	44,1	177,65

Tabla 21: Datos de CLT con acabado exterior de piedra

ENTRAMADO LIGERO CON ACABADO EXTERIOR DE LAMAS



Ilustración 83: Entramado Ligero con acabado exterior de lamas

MATERIAL	RESISTENCIA TÉRMICA	TRANSMITANCIA (W/m2)	IMPACTO AMBIENTAL (Kg CO2-eq)	MASA (Kg/m2)	ESPESOR (cm)	PRECIO (€/m2)
Entramado Ligero	4,389	0,228	254,23	216,778	89,1	120,887

Tabla 22: Datos de Entramado Ligero con acabado exterior de lamas

CLT CON ACABADO EXTERIOR DE LAMAS



Ilustración 84: CLT con acabado exterior de lamas

MATERIAL	RESISTENCIA TÉRMICA	TRANSMITANCIA (W/m2)	IMPACTO AMBIENTAL (Kg CO2-eq)	MASA (Kg/m2)	ESPESOR (cm)	PRECIO (€/m2)
CLT	4,357	0,23	177,59	154,91	68,8	149,36

Tabla 23: Datos de CLT con acabado exterior de lamas

Los resultados conseguidos son para una transmitancia de aproximadamente 0,233 W/m². Hay que tener en cuenta que un valor por debajo de 0,3 W/m² es excelente para viviendas o cualquier otro tipo de uso, por lo que los resultados conseguidos tienen un margen respecto a un caso real, siendo estos más caros, con más impacto ambiental y con un espesor mucho mayor al que suelen tener.

Aun así, las diferencias entre las fachas de CLT y de entramado ligero son claras. Sea con un acabado u otro, se ve que el CLT tiene menos impacto ambiental total, es más ligero y con un espesor menor en cada uno de los casos. No obstante, el entramado ligero es más económico (excepto en el caso de la fachada con un acabado exterior metálico).

Decidir cuál de las opciones es mejor no depende sólo de estos valores que se han tenido en cuenta en este estudio, puesto que el programa simula una situación concreta y no tiene en cuenta factores como la disponibilidad del material, el transporte, el tipo de edificio que se quiere hacer y por tanto las dimensiones que se necesitan para soportar las cargas etc.

Ambos enfoques tienen sus propias ventajas y desventajas, y la elección dependerá de las necesidades específicas de cada proyecto de construcción.

7. CONCLUSIONES

El análisis comparativo entre la madera contralaminada (CLT) y el entramado ligero revela dos enfoques distintos pero altamente efectivos en la construcción con madera. Ambos sistemas poseen características únicas que los hacen atractivos en diferentes contextos y para diversas aplicaciones. Desde su composición hasta su rendimiento estructural, aislamiento y eficiencia de construcción, cada opción tiene sus propias ventajas y limitaciones que deben sopesarse al elegir el sistema más adecuado para un proyecto específico.

El CLT, es un innovador avance en la construcción en madera que ha ganado terreno en este sector en los últimos años. Su composición de capas de tablas de madera pegadas en orientaciones perpendiculares proporciona una muy buena resistencia estructural. Esta disposición distribuye las tensiones de manera uniforme, lo que permite que los paneles CLT soporten cargas significativas y ofrezcan estabilidad en edificios de varios pisos. La eficiencia de construcción del CLT es destacable, ya que se fabrica en fábricas o talleres y se ensambla en obra, lo que puede acelerar los tiempos de edificación.

En contraste, el entramado ligero es un sistema que utiliza postes y vigas de madera para formar una estructura esquelética. Tiene una capacidad de carga menor en comparación con el CLT, pero es altamente versátil y adecuado para estructuras más ligeras, como viviendas unifamiliares y edificios de menor envergadura. Su proceso de construcción implica la creación de montantes verticales y travesaños horizontales, lo que permite una mayor flexibilidad en el diseño de interiores y sistemas de aislamiento.

El aislamiento térmico y acústico también juega un papel importante en esta comparación. Los paneles de CLT tienen un grosor sustancial, lo que les brinda cierto nivel de aislamiento. No obstante, puede requerir uno adicional para cumplir con ciertos estándares. Por otro lado, el entramado ligero ofrece una mayor flexibilidad en la incorporación de aislamiento, ya que las cavidades entre los montantes pueden llenarse con este material.

En cuanto a la sostenibilidad, ambos sistemas presentan ventajas. La madera es un material renovable y con bajas emisiones de carbono. Tanto el CLT como el entramado ligero aprovechan estas características, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono en la construcción.

No obstante, el aprovechamiento de la madera es mayor en el entramado ligero. Hace uso únicamente de la madera necesaria, optimizando sus recursos. El CLT, en cambio, cuando se trata de edificios de pocos pisos, utiliza perfiles con un espesor mayor del que podría permitirse, haciendo uso de más madera de la necesaria, y perdiendo así parte de su potencial como sistema altamente sostenible.

Dentro del coste, los materiales utilizados en un sistema de entramado ligero son generalmente más económicos en términos de coste por metro cuadrado, porque aunque es cierto que la instalación de los elementos de CLT puede requerir menos tiempo y mano de obra, debido a que los paneles son más grandes, y se ensamblan con mayor rapidez, esa mano de obra es más costosa y esas dimensiones de paneles pueden necesitar un transporte especial o la importación de los elementos de fábricas más lejanas. Encima, la calidad del CLT suele ser mayor a la del entramado ligero, lo que también lo hace más costoso.

En resumen, la elección entre CLT y entramado ligero dependerá de factores como el tamaño y la complejidad del proyecto, los requisitos de carga, el rendimiento térmico y acústico deseado, la velocidad de construcción, el presupuesto y las consideraciones estéticas. El CLT es ideal para edificios más grandes y estructuras que requieren una mayor capacidad de carga, mientras que el entramado ligero es una opción sólida para proyectos más pequeños y flexibles en términos de diseño.

Cada sistema presenta un enfoque valioso para la construcción en madera y ofrece soluciones viables y sostenibles en la industria de la construcción moderna.

8. BIBLIOGRAFÍA

Aeim. (29/08/2014). *Diagnóstico del sector de la madera en España*. INTEREMPRESAS. <https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/126382-Diagnostico-del-sector-de-la-madera-en-Espana.html>

Argüeso, B. (2019). *¿Cuáles son las ventajas del tablero contralaminado o CLT?*. *maderea*. <https://www.maderea.es/cuales-son-las-ventajas-del-tablero-contralaminado-o-clt/>

Arriaga, F. (s.f.). *Estado actual de la construcción con madera en España*. ACE. <https://aceweb.cat/es/articulos-destacados/estado-actual-de-la-construccion-con-madera-en-espana/>

arquima. (07/11/2017). *La nueva residencia de estudiantes de la Universidad de Arkansas, será de madera*. ARQUIMA. <https://www.arquima.net/la-nueva-residencia-de-estudiantes-universidad-de-arkansas-sera-de-madera/>

ARQUITECTURA CONSCIENTE. (27/01/2023). *Construcción con Paneles o Madera Contralaminada (CLT)*. ARQUITECTURA CONSCIENTE. <https://arquitecturaconsciente.es/blog/construccion-con-paneles-o-madera-contralaminada-clt>

arquitectura & madera. (s.f.). *La madera contralaminada (CLT)*. *arquitectura & madera*. <https://arquitectura-madera.com/project/la-madera-contralaminada-clt/>

Augustus; Raymond, E. (2019, November 20). *CLT - What is it and when does it make sense? — CE Solutions - Structural Engineers*. <https://www.cesolutionsinc.com/blog/2019/11/20 - advantages-clt-concrete-steel-cpcd5>

Bonsal Arquitectos. (s.f.). VENTAJAS DEL CLT EN ENTORNOS SÍSMICOS. MADERA Y CONSTRUCCIÓN. <https://maderayconstruccion.com/ventajas-del-clt-en-entornos-sismicos/>

canexel. (2019). Entramado ligero de madera ¿en qué consiste?. canexel. <https://www.canexel.es/blog/entramado-ligero-de-madera-en-que-consiste/>

Cuesta, C.. (01/02/2023). La Agenda 2030 carga ahora contra el hormigón y el acero: quiere casitas de madera y hasta jerséis de celulosa. LIBREMERCADEO. <https://www.libremercado.com/2023-02-01/la-agenda-2030-carga-ahora-contra-el-hormigon-y-el-acero-quiere-casitas-de-madera-y-hasta-jerseis-de-celulosa-6981248/>

Decomadera. (s.f.). La torre Stadthaus, el edificio de madera más alto del mundo. DECOMADERA. <https://decoracion-madera.com/edificio-de-madera-mas-alto-del-mundo-stadthaus/>

ecohabitar. (11/10/2017). Crece el interés por el uso de la madera certificada en la Construcción, según FSC España. ecohabitar. <https://ecohabitar.org/crece-el-interes-por-el-uso-de-la-madera-certificada-en-la-construccion-segun-fsc-espana/>

Econova. (s.f.). ¿Qué es la madera CLT?. Econova. <https://econova-institute.com/que-es-la-madera-clt/>

ELIGEMADERA. (s.f.). El CLT y sus 30 años de historia. ELIGEMADERA. <https://eligemadera.com/clt-y-sus-30-anos-de-historia/>

Fragiacomo, M., Menis, A., Clemente, I., Bochicchio, G., & Ceccotti, A. (2012). Fire Resistance of Cross-Laminated Timber Panels Virginia Cooperative Extension 6 Loaded Out of Plane. *Journal of Structural Engineering*, 139(12), 04013018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000787](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000787)

García, L. Guindeo, A., Peraza, C. y Palacios, P (2003). *La madera y su anatomía*. Ed AITIM, Madrid.

Jimeno, I. (s.f.). *DE CAJÓN: Composición del CLT. MADERA Y CONSTRUCCIÓN*.
<https://maderayconstruccion.com/composicion-parametrizacion-montaje-clt/>

Madera21. (11/04/2018). *THE TREET: EL EDIFICIO EN MADERA MÁS ALTO DE NORUEGA*.
MADERA21. <https://www.madera21.cl/blog/2018/04/11/the-tree-el-edificio-en-madera-mas-alto-de-noruega/>

Mendoza Villanueva, E.. (23/08/2015). *Historia de la construcción con entramados de madera..*
Universidad Gestalt de Diseño.
<http://ligeros2015eduardomendezav.blogspot.com/2015/08/historia-de-la-construccion-con.html?m=1>

Miranda, J.. (12/09/2017). *Primer edificio del mundo construido con madera contralaminada de Tulipwood. madera sostenible*. <https://madera-sostenible.com/arquitectura/primer-edificio-del-mundo-construido-madera-contralaminada-tulipwood/>

Peraza , F y Peraza, J.E. (2010). *Guía de la madera (I). Productos básicos y carpintería*. Ed. AITIM, Madrid.

Quirós, J.M.. (29/04/2023). *La madera como solución eficiente en la construcción*. *elEconomista*.
<https://www.eleconomista.es/vivienda-inmobiliario/noticias/12251120/04/23/la-madera-como-solucion-eficiente-en-la-construccion.html>

Risso, I.. (2019). *Mjøstårnet, el edificio de madera más alto del mundo* . BILLIKEN.
<https://billiken.lat/interesante/mjostarnet-el-edificio-de-madera-mas-alto-del-mundo/>

Rivas, M.. (08/08/2018). *¿Qué son los entramados ligeros de madera?.* *maderea*.
<https://www.maderea.es/que-son-los-entramados-ligeros-de-madera/>

Sánchez, M. (16/06/2023). *El entramado ligero: una historia de indios y vaqueros.*
maderayconstruccion. <https://stepienybarno.es/blog/2023/06/16/el-entramado-ligero-una-historia-de-indios-y-vaqueros/>

Sánchez, M. (2021). *LAS DIEZ CLAVES PARA DOMINAR EL DISEÑO DE EDIFICIOS DE CLT. MADERA Y CONSTRUCCIÓN.* <https://maderayconstruccion.com/las-diez-claves-para-dominar-el-diseno-de-edificios-de-clt/#:~:text=La%20durabilidad%20del%20CLT%20es,radiata%2C%20Pinus%20pinaster%E2%80%A6>

Tectónica. (25/09/2016). *The Smile de Alison Brooks Architects, estructura de madera contralaminada.* *TECTONICA*. <https://tectonica.archi/articles/the-smile-estructura-de-madera-contralaminada/>

Tekno-Step. (s.f.). *25 King: la torre de madera más alta de Australia.* *TEKNO-STEP*.
<https://tekno-step.com/25-king-la-torre-de-madera-mas-alta-de-australia/>

Thinkwood. (s.f.). *Brock Commons Tallwood House.* *THINK WOOD*.
<https://www.thinkwood.com/construction-projects/brock-commons-tallwood-house>

woodisdood. (s.f.). *Las maderas más utilizadas en España.* *woodisdood*.
<https://woodiswood.net/blog/articulo/maderas-utilizadas-espana>