



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

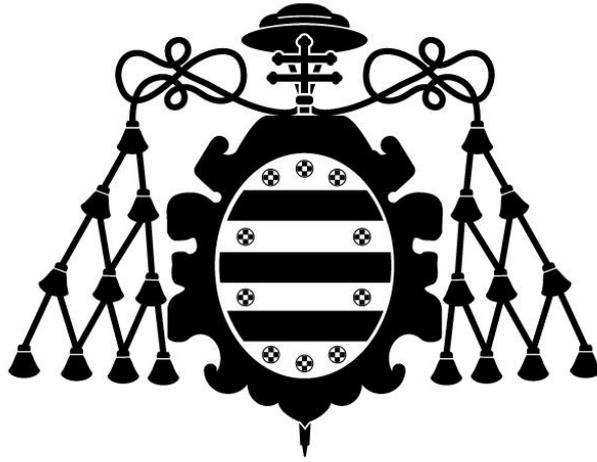
Programa de Doctorado de Materiales

SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN FLEXIBLE PARA
VIVIENDAS UNIFAMILIARES

TESIS DOCTORAL

Diego Lozano Moreno

Julio 2019



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

Programa de Doctorado en Materiales

SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN FLEXIBLE PARA
VIVIENDAS UNIFAMILIARES

TESIS DOCTORAL

D. Ángel Martín Rodríguez
D. Miguel A. Serrano López



RESUMEN DEL CONTENIDO DE TESIS DOCTORAL

1.- Título de la Tesis	
Español: Sistema de construcción flexible para viviendas unifamiliares.	Inglés: Flexible system for single family housing construction.
2.- Autor	
Nombre: Diego Lozano Moreno	DNI: Y
Programa de Doctorado: Materiales	
Órgano responsable: Comisión Académica del Programa de Doctorado en Materiales	

RESUMEN (en español)

Esta tesis tiene como objetivo diseñar un sistema de construcción industrializado, que pretende construir viviendas unifamiliares, de una o dos plantas, de tal forma que sean los propios usuarios los que propongan los diseños y los ejecuten, utilizando una serie muy limitada de elementos industrializados y modulados.

La vivienda se ha dividido en varios sistemas (cimentación, estructura, envolvente externa, cubierta, acabados exteriores, etc.). Dada la amplitud de la propuesta inicial, en esta tesis solamente se van a desarrollar dos sistemas denominados, Sistema Estructural Flexible (SEF) y el Sistema de Cubierta Flexible (SCF).

El Sistema Estructural Flexible (SEF) permite la formación de estructuras utilizando solamente 4 elementos industrializados que van a formar vigas y pilares, más una escuadra de unión. Las luces estructurales máximas son de 4,80 metros. La generación de vigas y pilares se consigue manteniendo la misma sección exterior, y añadiendo diferentes elementos, según una secuencia establecida en progresión aritmética. Los volúmenes diáfanos obtenidos presentan una modulación que sigue la progresión aritmética, limitada por luces máximas.

El Sistema de Cubierta Flexible (SCF) se genera con la adición de unos elementos de impermeabilización que van a actuar a modo de teja plana. Estos elementos recogen el agua y la evacúan a través de un colector común. El conjunto va a presentar una superficie de cubierta totalmente plana, característica que permite sumar o restar elementos. Este sistema presenta 4 conjuntos industrializados diferentes.

Estos sistemas presentan como característica fundamental el poder crecer o decrecer en función de las necesidades volumétricas de los usuarios de la vivienda y también la facilidad de montaje y desmontaje, sin mano de obra cualificada.

Esta tesis debe enfocarse como una propuesta de diseño, ya su implantación en el mercado requeriría la creación de un modelo en laboratorio, ensayos correspondientes, cálculos estructurales, eficiencias energéticas, etc. que no van a ser objeto de este trabajo.



RESUMEN (en Inglés)

This thesis aims to design an industrialized construction system, able to build the main frame of single-family houses with one or two storeys, in such a way that the users themselves propose the designs and are also able to execute them, using a limited series of industrialized components that are modulated.

The house has been divided into several systems (foundation, main structure, external envelope, roof, outside finishes, etc.). Due to the wide extension of the initial proposal, this thesis is only dealing with two systems named as Flexible Structural System (SEF acronym in Spanish) and the Flexible Roof System (SCF acronym in Spanish).

The Flexible Structural System (SEF) allows to build structures just using 4 industrialized components that constitute beams and columns, in addition to a unique joint square. The maximum structural span supported by the system is 4.80 meters. The generation of beams and columns is achieved by maintaining the same outer section and adding different components according to a sequence established in arithmetic progression. The diaphanous volumes obtained present a modulation that follows the arithmetic progression and is limited by the maximum span.

The Flexible Roof System (SCF) is generated with the addition of waterproofing components that will act as flat roof tiles. These flat components collect the raining water and evacuate it through a common collector. The set presents a completely flat roof surface and this property allows to add or subtract new components. This system consists of four different industrialized sets.

These systems present as main characteristic to be able of growing or decreasing according to the volumetric needs of the house users and also the ease of assembly and disassembly without a qualified workforce.

This thesis should be approached as a design proposal and its implementation in the market would require the preparation of a prototype, the corresponding laboratory tests, structural calculations, evaluation of energy efficiencies, etc. that are not the objective of this work.

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN MATERIALES

Nada sucede hasta
que algo se mueve

Albert Einstein

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud a todos los que me han guiado, aconsejado y acompañado en la elaboración de esta Tesis.

En particular, mis más sinceros agradecimientos a mis directores de Tesis, los profesores Ángel Martín y Miguel Serrano por su constancia, compromiso y actitud en estos años y en especial, en estos últimos meses. También por darme la oportunidad desde el Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación de la Universidad de Oviedo, de poder desarrollar esta idea y plasmarla en un proyecto tan gratificante y enriquecedor. A su vez, agradecer a los demás miembros por haberme ayudado, de manera desinteresada, en momentos clave con sus conocimientos.

Agradecer al Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica por haberme brindado la oportunidad de acceder al doctorado y acompañarme en esta ardua tarea.

Gracias también, y como no podía ser de otra manera, a mi familia y amigos por estar ahí, con ese apoyo incondicional pese a mis reiteradas ausencias.

Resumen

Esta tesis tiene como objetivo diseñar un sistema de construcción industrializado, que pretende construir viviendas unifamiliares, de una o dos plantas, de tal forma que sean los propios usuarios los que propongan los diseños y los ejecuten, utilizando una serie muy limitada de elementos industrializados y modulados.

La vivienda se ha dividido en varios sistemas (cimentación, estructura, envolvente externa, cubierta, acabados exteriores, etc.). Dada la amplitud de la propuesta inicial, en esta tesis solamente se van a desarrollar dos sistemas denominados, Sistema Estructural Flexible (SEF) y el Sistema de Cubierta Flexible (SCF).

El Sistema Estructural Flexible (SEF) permite la formación de estructuras utilizando solamente 4 elementos industrializados que van a formar vigas y pilares, más una escuadra de unión. Las luces estructurales máximas son de 4,80 metros. La generación de vigas y pilares se consigue manteniendo la misma sección exterior, y añadiendo diferentes elementos, según una secuencia establecida en progresión aritmética. Los volúmenes diáfanos obtenidos presentan una modulación que sigue la progresión aritmética, limitada por luces máximas.

El Sistema de Cubierta Flexible (SCF) se genera con la adición de unos elementos de impermeabilización que van a actuar a modo de teja plana. Estos elementos recogen el agua y la evacúan a través de un colector común. El conjunto va a presentar una superficie de cubierta totalmente plana, característica que permite sumar o restar elementos. Este sistema presenta 4 conjuntos industrializados diferentes.

Estos sistemas presentan como característica fundamental el poder crecer o decrecer en función de las necesidades volumétricas de los usuarios de la vivienda y también la facilidad de montaje y desmontaje, sin mano de obra cualificada.

Esta tesis debe enfocarse como una propuesta de diseño, ya su implantación en el mercado requeriría la creación de un modelo en laboratorio, ensayos correspondientes, cálculos estructurales, eficiencias energéticas, etc. que no van a ser objeto de este trabajo.

Índice general

Agradecimientos.....	9
Resumen.....	10
I. Introducción.....	27
I.I. Introducción general de la tesis.....	27
I.II. Objetivos y alcance del estudio.....	27
I.III. Estructuración de la tesis.....	28

Bloque 1. Línea de investigación. Estado del Arte

Capítulo 1. Línea de investigación.....	31
1.1. Introducción a la industrialización de viviendas.....	31
1.2. Necesidad y propuesta de una industrialización arquitectónica.....	32
1.2.1. Características del sistema de construcción flexible.....	33
1.2.2. Etapas desde el inicio al fin del sistema de construcción flexible.....	35
1.2.3. Hipótesis de diseño en el sistema de construcción flexible.....	37
1.2.4. Condicionantes de los sistemas constructivos en general.....	38
1.3 Propuesta del sistema de construcción flexible para viviendas.....	41
1.3.1. Referencias arquitectónicas de interés para este trabajo.....	42
1.3.1.1. Espansiva de Jorn Utzon (1969).....	42
1.4.1.2. Case Study N°8 de los Eames ²⁴²	42
Capítulo 2. Estado del arte.....	44
2.1. Introducción.....	44
2.2. Casas Coloniales Transportables. 1833-1840.....	45
2.3. Balloon Frame. 1833-Actualidad.....	45
2.4. Casas por Correo y Catálogo. 1908-1940.....	46
2.5. Proyecto Dom-ino. 1914.....	47
2.6. American System Built Houses. 1911-1917.....	47
2.7. Baukasten. 1922-1923.....	48
2.8. Casa de Acero. 1926-1927.....	48
2.9. Proyecto Weissenhof . 1927.....	48
2.9.1. Weissenhof N°13 – Citrohan. 1927.....	50
2.9.2. Weissenhof N°17.1927.....	51
2.10. Dymaxion. 1927.....	51
2.11. Casa Wichita. 1944-1946.....	52
2.12. Quonset Hut. 1941.....	53
2.13. Package House. 1941-1952.....	54
2.14. Yankee Portables. 1942.....	54
2.15. Levitt Homes. 1947.....	55
2.16. Sistema Clasp. 1946-1970.....	55
2.17. Eames House. 1949.....	58
2.18. Eichler Homes. 1950.....	59
2.19. Casas Lustron. 1948-1950.....	60
2.20. Maison Tropicale. 1949-1951.....	61
2.21. Casas Meudon. 1950-1952.....	62
2.22. Habitat 67. 1967.....	63
2.23. Torre de Capsulas Nakagin.1968-1972.....	65
2.24. Edificio Experimental SIRH. 1970.....	67
2.25. Kubeflex. 1969-1970.....	68
2.26. Sistema Espansiva. 1969.....	69
2.27. Moduli 255. 1969-1971.....	70
2.28. Oriental Masonic Gardens. 1970.....	71
2.29. Casa TEST. 1975.....	71
2.30. Toyota Home – Viviendas. 1975-Actualidad.....	73
2.31. Casa Hopkins. 1976.....	74

2.32. Casa Evolutiva. 1978.....	75
2.33. IKEA – Viviendas. 1996-Actualidad.....	76
2.34. Fred y Su-Si. 1999-2009.....	77
2.35. Mobile Dwelling Unit. 2003.....	79
2.36. Villa Asserbo. 2012- 2013.....	79
2.37. Domino 21 “d21-System”. 2004	80
2.38. Exposición MOMA – Home Delivery. 2008.....	83
2.38.A. Micro Home. 2008.....	84
2.38.B. Cellophane House. 2008.....	85
2.38.C. System-3. 2008	86
2.38.D. Burst*008. 2008.....	87
2.38.E. New Orleans. 2008.....	88

Bloque 2. Sistema de estructural flexible. SEF

Capítulo 3. Características generales del sistema estructural flexible (SEF) 92

3.1. Objetivo del sistema estructural flexible (SEF).....	92
3.2. Aspectos de diseño del sistema estructural flexible (SEF).....	93
3.3. Exigencias a cada unidad industrializada	93
3.4. Composición del sistema estructural flexible (SEF).....	94
3.4.1. Unidades básicas estructurales. UBE.....	94
3.4.1.1. Formación de las unidades básicas estructurales (UBE).....	94
3.4.1.2. Dimensiones de las unidades básicas estructurales (UBE).....	96
3.4.1.3. Sección común.....	97
3.4.2. Unidades estructurales. UE.....	98
3.4.2.1. Formación de las unidades estructurales (UE).....	98
3.4.2.2. Dimensiones de las unidades estructurales (UE).....	99
3.4.3. Elementos estructurales. (EE).....	100
3.4.3.1. Formación de los elementos estructurales (EE).....	101
3.4.3.2. Dimensiones de los elementos estructurales (EE).....	101
3.4.4. Pórticos estructurales. PE	102
3.4.4.1. Tipos de pórticos estructurales (PE)	102
3.4.4.2. Formación de pórticos estructurales (PE).....	102
3.4.4.3. Dimensiones de los porticos estructurales (PE).....	104
3.4.4.4. Apertura de huecos	105
3.4.4.4.1. Apertura en el plano vertical.....	107
3.4.4.4.2. Apertura en el plano horizontal.....	108
3.4.5. Uniones entre los elementos del SEF. Formación y tipos.....	109
3.4.5.1. Formación de uniones. Elementos integradores y clases de apoyo.....	109
3.4.5.2. Tipos de uniones del sistema estructural flexible (SEF).....	111

Capítulo 4. Configuración de volúmenes diáfanos estructurales 123

4.1. Volúmenes diáfanos estructurales	123
4.1.1. Orden estructural. Patrón del sistema estructural flexible (SEF).....	123
4.1.1.1. Volúmenes diáfanos $\leq 48M$	124
4.1.1.2. Volúmenes diáfanos $> 48M$	124
4.1.2. Disposición, ordenación y distribución de los elementos	126
4.1.2.1. Distribución estructural	128
4.1.2.2. Posicionamiento y distribución de los pórticos estructurales (PE).....	129
4.1.2.3. Posicionamiento y distribución de los elementos estructurales horizontales (EE_h) de los volúmenes diáfanos.....	131
4.1.3. Propuesta estructural para volúmenes diáfanos.	133
4.1.3.1. Elección del volumen a crear	133
4.1.3.2. Distribución para los pórticos estructurales (PE) de los volúmenes diáfanos.....	134

Capítulo 5. Adiciones entre volúmenes diafanos 139

5.1. Combinaciones en el plano horizontal.....	140
5.1.1. Adición horizontal	140
5.1.1.1. Tipos.....	140
5.1.1.1.1. Proceso del volumen añadido en esquina (caso d).....	143
5.1.1.1.2. Montaje - Desmontaje.....	147
5.1.2. Sustracción horizontal	149

5.1.2.1. Tipos	150
5.1.2.2. Desmontaje y montaje	150
5.2. Combinaciones en el plano vertical	153
5.2.1. Adición vertical	153
5.2.1.1. Tipos	154
5.2.1.2. Montaje y desmontaje	155
5.2.2. Sustracción vertical.....	161
5.2.2.1. Tipos	161
5.2.2.2. Desmontaje - montaje	161
Capítulo 6. Ejemplo de aplicación del Sistema estructural flexible (SEF).....	162
6.1. Catalogo de elementos del Sistema estructural flexible (SEF)	164

Bloque 3. Sistema de cubierta flexible (SCF)

Capítulo 7. Características generales del sistema de cubierta flexible (SCF).....	167
7.1. Introducción	167
7.2. Nuevo concepto de cubierta totalmente plana.....	167
Capítulo 8. Aspectos de diseño	169
8.1. Tipología de cubiertas	169
8.1.1. Forma de las cubiertas	169
8.1.1.1. Rectangular	170
8.1.1.2. Quebrada.....	170
8.1.2. Nivel de las cubiertas.....	170
8.2. Áreas de cubierta	172
8.2.1. Elementos que integran las áreas	173
Capítulo 9. Composición del sistema de cubierta flexible (SCF)	175
9.1. Sistema estructural flexible. SEF.....	177
9.2. Paneles de aislamiento.....	178
9.2.1. Tipos de paneles de aislamiento	178
9.2.2. Composición de los paneles de aislamiento.....	179
9.2.3. Montaje de los paneles de aislamiento	179
9.3. Elementos de sustentación. ES	182
9.3.1. Tipos de elementos de sustentación (ES)	182
9.3.2. Composición de los elementos de sustentación (ES).....	183
9.3.3. Montaje general de los elementos de sustentación (ES)	184
9.4. Tuberías de evacuación. TE.....	189
9.4.1. Composición de las tuberías de evacuación (TE).....	189
9.4.2. Tipos de tuberías de evacuación (TE).....	190
9.4.3. Montaje de tuberías de evacuación (TE)	191
9.5. Bandejas de recogida. BR.....	194
9.5.1. Composición de las bandejas de recogida (BR)	194
9.5.2. Tipos de bandejas de recogida (BR).....	194
9.5.3. Montaje de las bandejas de recogida (BR)	196
9.6. Rejillas de tránsito. RT	199
9.6.1. Composición de las rejillas de tránsito (RT).....	199
9.6.2. Tipos de rejillas de tránsito (RT)	199
9.6.3. Montaje de las rejillas de tránsito (RT)	200
9.7. Uniones entre elementos.....	203
9.7.1. Juntas de tuberías (JT)	203
9.7.1.1. Composición de las juntas de tubería (JT).....	204
9.7.1.2. Tipos de juntas de tubería (JT)	204
9.7.1.3. Montaje y desmontaje de juntas de tubería (JT)	205
9.7.2. Juntas de bandejas de recogida (JB)	206
9.7.2.1. Composición de las juntas de bandejas de recogida (JB)	206
9.7.2.2. Tipos de juntas de bandejas de recogida (JB).....	206
9.7.2.3. Montaje y desmontaje de juntas de bandejas de recogida (JB).....	207
9.7.3. Cubrejuntas de bandejas de recogida. Cb	207
9.7.3.1. Composición de los cubrejuntas (Cb)	207
9.7.3.2. Tipos de cubrejuntas (Cb).....	208
9.7.3.3. Montaje y desmontaje de cubrejuntas (Cb)	208

Capítulo 10. Red de evacuación del Sistema de cubierta flexible (SCF)	210
10.1. Composición.....	210
10.1.1. Puntos de evacuación.....	210
10.1.2. Cálculos. Puntos de evacuación.....	212
Capítulo 11. Montaje y desmontaje del Sistema de cubierta flexible (SCF)	216
11.1. Limitaciones del SCF	216
11.1.1. Tipos de limitaciones.....	216
11.2. Proceso de montaje.....	218
Capítulo 12. Aplicación del sistema de cubierta flexible (SCF)	224
12.1. Ejemplo del sistema de cubierta flexible (SCF)	224
12.2. Catálogo de elementos del sistema de cubierta flexible (SCF)	227

Bloque 4. Conclusiones y líneas futuras de investigación

Capítulo 13. Conclusiones.....	230
Capítulo 14. Líneas futuras de investigación	234

Bibliografía	235
---------------------------	------------

Apéndices	238
------------------------	------------

Apéndice A. Patente Española. Unidad para la formación de cubiertas transitables.
ES2610203.B2

Apéndice B. Artículo en revista indexada del JCR. Advances in Civil Engineering.
“Design of Flexible Structural System for building”.

Índice de figuras

Bloque 1. Sistema de construcción flexible

Figura 1. Flexibilidad estructural con sistemas de estanterías. Elementos definidos	33
Figura 2. Construcción mediante un sistema estructural tipo estanterías	33
Figura 3. Gráfico general del proceso del sistema de construcción flexible.....	35
Figura 4. Construcción tradicional vs construcción del montaje.....	36
Figura 5. Clasificación del módulo. Módulo básico y multimódulo	37
Figura 6. Tipos de retículas: ejes y caras	38
Figura 7. Gráfica de coste/unidad en relación a tres variantes como son la repetitividad de elementos, las variaciones y la variación personalizada	40
Figura 8. Gráfica de utilidad/especialización	40
Figura 9. Relación entre la prefabricación con la aceptación por parte de la sociedad	42
Figura 10. Estructura de madera.....	45
Figura 11. Vivienda en la actualidad	45
Figura 12. Vivienda de la época	46
Figura 13. Construcción a base de listones de madera	46
Figura 14. Formación de planta con listones de una pieza.	46
Figura 15. Formación de plantas con listones intermedios.....	46
Figura 16. Estructura construida mediante stell frame	46
Figura 17. Vivienda de catálogo.....	46
Figura 18. Vivienda en la actualidad	46
Figura 19. Sistema Domino	47
Figura 20. Vivienda en la actualidad	47
Figura 21. Plano de vivienda	47
Figura 22. Posibles combinaciones	48
Figura 23. Maquetas con las variaciones arquitectónicas.....	48
Figura 24. Planta de la vivienda	48
Figura 25. Vivienda en la actualidad	48
Figura 26. Vista general de Weissenhof.....	49
Figura 27. Plano general de Weissenhof	49
Figura 28. Vivienda nº13. Le Corbusier	50
Figura 29. Estructura modulada de acero	51
Figura 30. Vista exterior de la vivienda	51
Figura 31. Planta modulada.....	51
Figura 32. Vista de vivienda.....	52
Figura 33. Planta de vivienda	52
Figura 34. Baño Dymaxión	52
Figura 35. Estructura formada a base de anillos.....	53
Figura 36. Estudio de corrientes de aire	53
Figura 37. Distribución interior.....	53
Figura 38. Vista general del asentamiento Quonset Hut	54
Figura 39. Montaje estructural	54
Figura 40. Montaje paneles interiores	54
Figura 41. Montaje aislamiento + paneles exteriores	54
Figura 42. Vivienda vista exterior	54
Figura 43. Montaje de paneles.....	54
Figura 44. Conexión	55
Figura 45. Conexión enganche	55
Figura 46. Perspectiva del sistema	55
Figura 47. Alzados del sistema.....	55
Figura 48. Plantas del sistema	55
Figura 49. Vista exterior del modelo Levitt.....	56
Figura 50. Barrios Levittown	56
Figura 51. Acopio de elementos	56
Figura 52. Etapa de construcción	56
Figura 53. Estructura CLASP	57

Figura 54. Diferentes edificios realizados mediante el sistema CLASP.....	57
Figura 55. Diferentes elementos compatibles del Sistema CLASP	58
Figura 56. Vista exterior.....	58
Figura 57. Vista interior	58
Figura 58. Vista de la estructura de acero.....	59
Figura 59. Vista general de la Eichler Home.....	59
Figura 60. Patios interiores.....	60
Figura 61. Estructura de vigas prominentes	60
Figura 62. Vista general de la Westchester	60
Figura 63. Elementos transportados en camión.....	60
Figura 64. Montaje de elementos	60
Figura 65. Elementos de la vivienda (Kit de 30.000 unidades).....	61
Figura 66. Vista general de la Maison Tropicale.....	61
Figura 67. Bastidor en "U"	62
Figura 68. Sección de la Maison Tropicale	62
Figura 69. Detalles de elementos exteriores.....	62
Figura 70. Vista general de las viviendas Meudon.....	63
Figura 71. Fases de montaje del bastidor de la vivienda	63
Figura 72. Vista general del Habitat 67.....	64
Figura 73. Proceso de elevación y colocación.....	64
Figura 74. Módulo tipo.....	64
Figura 75. Formación de plantas	65
Figura 76. Terrazas de viviendas.....	65
Figura 77. Vista general del conjunto del Habitat 67	65
Figura 78. Vista general	66
Figura 79. Emplazamiento.....	66
Figura 80. Estructura de acero.....	66
Figura 81. Colocación de paneles.....	66
Figura 82. Interior de las capsulas	67
Figura 83. Distribución de plantas.....	67
Figura 84. Edificio SIRH.....	67
Figura 85. Interiores de módulos.....	67
Figura 86. Transporte del módulo	68
Figura 87. Módulos abandonados.....	68
Figura 88. Vista general de módulos Kubeflex	68
Figura 89. Planta de módulos Kubeflex	68
Figura 90. Distintas configuraciones de paneles	68
Figura 91. Módulos Expansiva	69
Figura 92. Elementos del sistema	69
Figura 93. Interior de las viviendas	69
Figura 94. Interior de las viviendas	69
Figura 95. Configuración flexible del Sistema	69
Figura 96. Vista general del Moduli 255.....	70
Figura 97. Componentes del Moduli 255	70
Figura 98. Vista estructura + componentes	70
Figura 99. Encajes pilar - viga con conectores metálicos.....	70
Figura 100. Vista general de las Oriental Masonic Gardens	71
Figura 101. Planta en cruz formado por 4 viviendas	71
Figura 102. Montaje de módulo Masonic Garden	71
Figura 103. Vista lateral de la Casa TEST	72
Figura 104. Detalle estructural	72
Figura 105. Interior de vivienda	72
Figura 106. Vista general y actual de la Casa TEST	72
Figura 107. Vivienda Toyota.....	73
Figura 108. Vivienda Toyota.....	73
Figura 109. Estructura de modulo 3D	73
Figura 110. Detalle estructural	73
Figura 111. Módulo acabado.....	73
Figura 112. Colocación de módulos	73
Figura 113. Interiores	74

Figura 114. Interiores	74
Figura 115. Vista exterior.....	74
Figura 116. Sección de la vivienda.....	74
Figura 117. Interior de la vivienda	74
Figura 118. Vistas desde jardín	74
Figura 119. Módulo completo	75
Figura 120. Fachada principal	75
Figura 121. Montaje estructural mediante piezas prefabricadas en “U”	75
Figura 122. Flexibilidad interior. Desplazamiento de cerchas.	76
Figura 123. Flexibilidad interior. Desplazamiento de fachada	76
Figura 124. Vista General.....	76
Figura 125. Vista general	76
Figura 126. Colocación módulos 3D.....	76
Figura 127. Módulo en cadena de fabricación.....	76
Figura 128. Vista general de la comunidad IKEA.....	77
Figura 129. Barrio de Strand East	77
Figura 130. Edificaciones diversas.....	77
Figura 131. Módulo Fred.....	77
Figura 132. Módulo SuSi	77
Figura 133. Módulo compacto	78
Figura 134. Módulo extendido	78
Figura 135. Planta módulo Fred	78
Figura 136. Fabricación de módulo.....	78
Figura 137. Planta de distribución	78
Figura 138. Vista general	79
Figura 139. Vista interior	79
Figura 140. Vista general	79
Figura 141. Fases de ejecución. Fabricación, montaje y colocación de elementos	80
Figura 142. Montaje de la vivienda.....	80
Figura 143. Vista general del d21 System	80
Figura 144. Plantas.....	81
Figura 145. Colocación de vigas de madera.....	81
Figura 146. Composición del forjado.	81
Figura 147. Elevación de los módulos 3D.....	82
Figura 148. Módulo 3D en fabricación.....	82
Figura 149. Interior de modulo baño	82
Figura 150. Vista interior	82
Figura 151. Vista general de los Proyectos de la exposición.....	83
Figura 152. Vista general. Micro home	84
Figura 153. Planta de la vivienda	84
Figura 154. Interior de la vivienda	84
Figura 155. Agrupaciones	85
Figura 156. Vista general de la Cellophane house.....	85
Figura 157. Paneles de fachada	85
Figura 158. Fabricación Off-site	85
Figura 159. Montaje. Fuente: Imágenes recuperadas de	86
Figura 160. Elevación de módulo.....	86
Figura 161. Vista general System-3	86
Figura 162. System 3. Módulo 1	87
Figura 163. System 3. Módulo 2	87
Figura 164. Agregación colectiva del System-3.....	87
Figura 165. Vista general Burst*008.....	87
Figura 166. Paneles del Burst*008.....	88
Figura 167. Distintas fases de montaje	88
Figura 168. Vista General New Orleans.....	88
Figura 169. Proceso de fabricación de los paneles.	89
Figura 170. Vista interior New Orleans.....	89

Bloque 2. Sistema estructural flexible. SEF

Figura 171. Unidades básicas UBE1 y UBE2	94
Figura 172. Composición de las UBE	95
Figura 173. Sección de las UBE	95
Figura 174. Chapa de las UBE	95
Figura 175. Tipos de UBE con diferentes espesores	97
Figura 176. Tipos de UE	98
Figura 177. Tornillos por cabeza	99
Figura 178. Uniones atornilladas	99
Figura 179. Tipos de elementos estructurales. EE	100
Figura 180. Formación de elementos estructurales	101
Figura 181. Unión de EE por 4 puntos	101
Figura 182. EE fijado entre sí	101
Figura 183. Formación de pórtico estructural. EEh y EEv	103
Figura 184. Encuentro con escuadra de fijación	103
Figura 185. Volumen diáfano estructural. PEe y PEi	104
Figura 186. PEe tipos: 18M, 12M y 6M	105
Figura 187. PEe con EE variables cada 6M	105
Figura 188. PEe. Ejemplo de volumen conformado con EE fijos y variables y, sólo variables	106
Figura 189. Apertura de huecos en vertical (puerta) y horizontal (hueco de escalera)	107
Figura 190. Aberturas máximas de los PEe	107
Figura 191. Unión de EEh en el PEe	108
Figura 192. EEh de rigidización de planta de piso	108
Figura 193. Apertura de huecos en horizontal (hueco escalera)	109
Figura 194. Componentes de unión T1, T2 y T3	109
Figura 195. Escuadra por debajo	110
Figura 196. Escuadra por encima	110
Figura 197. Escuadra en los laterales	110
Figura 198. Diferencia entre unión flexible y semirrigida por medio de escuadra + tornillo. a) Apoyada (con escuadra y sin tornillo), y b) Empotrada (con escuadra y con tornillo)	110
Figura 199. Esquina de la 1ªPlanta	112
Figura 200. Nudo 1- Vista exterior abajo. EEv continuo	112
Figura 201. Nudo 1- Vista interior arriba. EEv continuo	112
Figura 202. Nudo 1- Vista interior abajo. EEv continuo	113
Figura 203. Nudo 1- Vista planta. EEv continuo	113
Figura 204. Nudo 2- Esquina con segunda planta	113
Figura 205. Nudo 2- Vista exterior arriba. EEv continuo	114
Figura 206. Nudo 2- Vista interior arriba. EEv continuo	114
Figura 207. Nudo 2- Vista interior abajo. EEv continuo	114
Figura 208. Nudo 3- Encuentro de PE entre EEv continuo con EEh, sin EEh de planta	115
Figura 209. Nudo 3- Vista planta. EEv continuo	115
Figura 210. Nudo 3- Vista exterior. EEh continuo	115
Figura 211. Nudo 4- Encuentro de PE entre EEv continuo y EEh, sin EEh de planta	116
Figura 212. Nudo 4- Vista exterior. EEv continuo	116
Figura 213. Nudo 5- Encuentro de PE entre EEv continuo y EEh, con EEh de planta	117
Figura 214. Nudo 5- Vista exterior. EEv continuo	117
Figura 215. Nudo 5- Vista en planta. EEv continuo	118
Figura 216. Nudo 5- Vista desde abajo. EEv continuo	118
Figura 217. Nudo 6- Encuentro de PE entre EEv continuo y EEh, con EEh de planta	118
Figura 218. Nudo 6- Vista exterior. EEv continuo	119
Figura 219. Nudo 6- Vista interior. EEv continuo	119
Figura 220. Nudo 6- Vista desde abajo. EEv continuo	119
Figura 221. Nudo 6- Vista en alzado. EEv continuo	119
Figura 222. Encuentro de PE entre EEv discontinuo y EEh discontinuo de planta con EEh de PE en zona intermedia	120
Figura 223. Nudo 7- Vista desde abajo interior. EEv discontinuo	120
Figura 224. Nudo 7- Vista exterior. EEv discontinuo	120

Figura 225. Nudo 7- Vista de planta. EEv discontinuo	121
Figura 226. Nudo 8- Encuentro de PE entre EEv discontinuo y EEh discontinuo de planta con EEh de PE en zona intermedia.....	121
Figura 227. Nudo 8- Vista exterior. EEv discontinuo	122
Figura 228. Nudo 8- Vista desde abajo. EEv discontinuo.	122
Figura 229. Nudo 8- Vista alzado. EEv discontinuo	122
Figura 230. Matriz de volúmenes diáfanos $\leq 48M$	124
Figura 231. Matriz general de posibles volúmenes diáfanos generados por el SEF.....	125
Figura 232. Esquema general de las zonas de los posibles volúmenes diáfanos	126
Figura 233. Imagen en 3D donde se muestra la formación de posibles volúmenes diáfanos como adición de los volúmenes anteriores de menores dimensiones.	127
Figura 234. Proceso de formación de un volumen X:42M e Y:48M.....	128
Figura 235. Perímetro volumétrico (PV), Lx x Ly: 54Mx 48M	128
Figura 236. Volumen diáfano: Lx x Ly x 30M	129
Figura 237. Caras Cx y Cy para los lados Lx y Ly.....	129
Figura 238. Configuración estructural, Lx: 2PE (18M) + R (12M) y Ly : 3PE (18M)	131
Figura 239. Representación estructural mediante PV, Lx: 2PE (18M) + R (12M) y Ly : 3PE (18M)	131
Figura 240. Propuesta estructural: Lx: 2PE(18M)+R(12M) y Ly:3PE(18M)	131
Figura 241. Disposición de los EEh en las dos direcciones posibles para un volumen de la zona común.....	132
Figura 242. Dirección de colocación de los EEh.....	133
Figura 243. Localización del volumen: Vd = Lx (48M) x Ly (42M) x h (30M).....	134
Figura 244. Explicación estructural del PV, para el volumen diafano: Vd= Lx (42M) x Ly (48M) x h (30M), a partir de perímetros volumetricos (Pv) generadores.	135
Figura 245. Propuesta estructural del Pv, para el volumen diafano: Vd= Lx (42M) x Ly (48M) x h (30M), donde vienen representados los EEv	135
Figura 246. Propuesta estructural para la distribución de pórticos, según las caras Cx y Cy del volumen Vd = Lx (48M) x Ly (42M) x h (30M).....	136
Figura 247. Explicación estructural del PV, para el volumen diafano, Vd= Lx (42M) x Ly (48M) X h (30M), a partir de perímetros generadores.....	137
Figura 248. Propuesta estructural del PV para el volumen diafano, Vd= Lx (42M) x Ly (48M) x h (30M) donde vienen representados los elementos estructurales verticales EEv	138
Figura 249. Propuesta estructural para la distribución de pórticos, según las caras Cx y Cy del volumen Vd = Lx (48M) x Ly (42M) x h (30M)	138
Figura 250. Opciones de transformaciones estructurales en horizontal y vertical.....	139
Figura 251. Ejemplo de adición progresiva	140
Figura 252. Ejemplo de volúmenes iniciales y compartidos. Posiciones	141
Figura 253. Perímetro volumétrico (PV) de los volúmenes con PE común (2x18M)	141
Figura 254. Volumen añadido en planta y perspectiva con PE común (2x18M)	142
Figura 255. Ejemplo de volumen añadido con PE común NO completo. Solución NO correcta	142
Figura 256. Sentido de los elementos estructurales horizontales (EEh)	142
Figura 257. Posibles opciones en el diseño del volumen añadido	143
Figura 258. Posibles configuraciones de EEh dentro del volumen 1.....	144
Figura 259. Estructura "L" modificada con EEh $\leq 48M$. A la derecha perspectiva del volumen añadido aislado (sin EEv variables).....	144
Figura 260. Estructura "L". Vistas en planta con distintas direcciones de los EEh y debajo las plantas con sus elementos más representativos.....	145
Figura 261. Volumen en "L" 60x60M.....	146
Figura 262. Formación de los 2 posibles tipos de volúmenes con sus PE interiores. Volúmenes únicamente con sus EE fijos	146
Figura 263. Plantas de los volúmenes independientes con sus EEh posicionados a distancias 6M, así como las direcciones correspondientes de los mismos.....	146
Figura 264. Configuración de la opción con los 3 volúmenes y planta con sus EEh posicionados a distancias 6M.	147
Figura 265. Ampliación en horizontal de 36X36M a 48X66M.....	148
Figura 266. Dirección de EEh y posición de EEv	148
Figura 267. Montaje correcto de los EE	148
Figura 268. Montaje ordenado de EE.....	149
Figura 269. Volumen 48x66M completado.....	149
Figura 270. Sustracción de un volumen diáfano.....	149

Figura 271. Avance en X ó Y	150
Figura 272. Sustracción de un volumen, según sus direcciones X o Y.	151
Figura 273. Proceso de avance en la sustracción de un volumen	152
Figura 274. Proceso de adición vertical de unos volúmenes cualesquiera	153
Figura 275. Posibles volúmenes en adición vertical.....	153
Figura 276. Formas y posiciones de los volúmenes en adición vertical	154
Figura 277. Planta del volumen añadido en vertical (36x54M) y el volumen inicial (48Mx66M)	155
Figura 288. Volumen inicial (66x48M).....	155
Figura 279. Volumen de 2ª planta (54x36M)	155
Figura 280. Volumen inicial (66x48M).....	156
Figura 281. Volumen inicial (66x48M), vista posterior	157
Figura 282. Proceso de desmontaje y montaje del entramado AA.	158
Figura 283. Estructura con EEh de atado a nivel 3,00m.....	159
Figura 284. Plantas a nivel 0,00m, +3,00m y +6,00m.....	159
Figura 285. Volumen con todos los EEh y EEv, variables y fijos.....	160
Figura 286. Sustracción de un volumen con dos plantas en altura	161
Figura 287. Volumen diáfano (48M x 48M x 30M), con sus elementos industrializados.....	163

Bloque 3. Sistema de cubierta flexible. SCF

Figura 288. Formación general del sistema de construcción flexible como Σ de sistemas independientes	167
Figura 289. Integración entre el SCF y el SEF	168
Figura 290. Tipos de cubierta en cuanto a la forma.....	169
Figura 291. Tipos de cubierta en cuanto a la altura o nivel	169
Figura 292. Avance en una única dirección.....	170
Figura 293. Avance en dos direcciones	170
Figura 294. Cubierta quebrada. Tipo de esquinas	170
Figura 295. Zona de encuentro	171
Figura 296. Dimensiones de la zona de encuentro	172
Figura 297. Áreas de cubierta.....	172
Figura 298. EC1. Elemento tipo 600x600	173
Figura 299. EC2. Elemento perimetral central 600x450	173
Figura 300. EC3. Elemento de esquina exterior 600x600x450	173
Figura 301. EC4. Elemento de esquina interior 1200x1200x450.....	174
Figura 302. Zona de montaje de elementos de cubierta. EC1	174
Figura 303. Zona de montaje de elementos de cubierta. EC2	174
Figura 304. Zona de montaje de elementos de cubierta. EC4	174
Figura 305. Zona de montaje de elementos de cubierta. EC3	174
Figura 306. Elemento de cubierta tipo sobre panel	175
Figura 307. Elemento tipo descompuesto en unidades de cubierta	176
Figura 308. Perspectiva del SEF y el SCF	177
Figura 309. Vista lateral del SEF y el SCF.....	177
Figura 310. Elemento de cubierta tipo sobre panel	178
Figura 311. Tipos de paneles de aislamiento	179
Figura 312. Colocación a ejes de EEh en planta a ejes de elementos estructurales.....	180
Figura 313. Fijación interior del panel (planta)	180
Figura 314. Colocación en planta a ejes de EEh	181
Figura 315. Fijación interior del panel	181
Figura 316. Fijación interior del panel (planta).....	181
Figura 317. Elemento de cubierta tipo.....	182
Figura 318. Elementos de sustentación ES1, ES2 y ES3.....	183
Figura 319. Elemento de sustentación	183
Figura 320. Fijación a la estructura del ES1 “tipo” mediante pasadores. Colocación central	184
Figura 321. Elementos de sustentación ES1 totalmente fijado.....	185
Figura 322. Fijación a la estructura del ES2 mediante pasadores. Colocación perimetral	185
Figura 323. Elemento de sustentación ES2 totalmente fijado	186
Figura 324. Fijación a la estructura del ES2, mediante pasadores. Colocación esquina exterior.....	186

Figura 325. ES2 totalmente fijado	187
Figura 326. Fijación a la estructura del ES2 y ES3 mediante pasadores. Colocación esquina interior	187
Figura 327. ES2 y ES3 totalmente fijados	188
Figura 328. Composición de la tubería de evacuación	189
Figura 329. Unión entre la bandeja de recogida y la tubería de evacuación	189
Figura 330. Composición de la tubería de evacuación	190
Figura 331. Montaje de tubería tipo sobre elemento de sustentación	191
Figura 332. Tubería apoyada en elemento de sustentación (ES)	191
Figura 333. Composición de la tubería de evacuación (TE)	191
Figura 334. Tubería apoyada en ES2 del panel perimetral	192
Figura 335. Tuberías apoyadas en ES2 del panel de esquina exterior	192
Figura 336. Tuberías apoyadas en ES2 y ES3 del panel de esquina interior	192
Figura 337. Perspectiva del proceso de montaje de tuberías y sus distintos tipos	193
Figura 338. Bandeja de recogida	194
Figura 339. Sección de la bandeja de recogida	194
Figura 340. Tipos de bandejas de recogida (BR)	195
Figura 341. Montaje de la bandeja al pilaruco mediante tornillo	196
Figura 342. Detalle de fijación de la bandeja al pilaruco mediante tornillo	196
Figura 343. Aberturas de recogidas y puntos de fijación en los distintos tipos de bandejas	197
Figura 344. Montaje de BR en EC perimetral	197
Figura 345. Montaje de BR en EC perimetral	198
Figura 346. Montaje de BR en EC de esquina interior	198
Figura 347. Composición de las rejillas de tránsito	199
Figura 348. Tipos de rejillas	200
Figura 349. Montaje de rejilla de tránsito	200
Figura 350. Montaje de RT1 sobre EC1	201
Figura 351. Montaje de RT2 sobre EC2	201
Figura 352. Montaje de RT3 sobre EC3	201
Figura 353. Montaje de RT4 sobre EC4	202
Figura 354. Junta de tubería (JT) universal circular	203
Figura 355. Colocación de la junta y apriete	204
Figura 356. Tipos de tubería y su número de juntas	204
Figura 357. Ejemplo de unión de tuberías en línea	205
Figura 358. Ejemplo de unión de tuberías en cruz	205
Figura 359. Junta lineal	206
Figura 360. Disposición de las juntas entre las bandejas de recogida	207
Figura 361. Composición del cubrejuntas CB1, CB2, CB3 y CB4	208
Figura 362. Tipos de cubrejuntas	208
Figura 363. Proceso de montaje del cubrejuntas	209
Figura 364. Proceso de montaje del cubrejuntas	209
Figura 365. Posición de los puntos de evacuación perimetral o exterior	211
Figura 366. Punto de evacuación perimetral o exterior	211
Figura 367. Posición de los puntos de evacuación interior	211
Figura 368. Composición. Punto de evacuación interior	211
Figura 369. Punto de evacuación interior	211
Figura 370. Distancia máxima entre bajantes	212
Figura 371. Bajantes enfrentadas	213
Figura 372. Cubierta con bajante	214
Figura 373. Limitaciones del SCF y SEF	217
Figura 374. Sistema estructural flexible (SEF)	218
Figura 375. Paneles de aislamiento	218
Figura 376. Panelizado completo de la cubierta	218
Figura 377. Montaje de los elementos de sustentación	219
Figura 378. Montaje completo de los elementos de sustentación	219
Figura 379. Montaje completo de la red de evacuación	220
Figura 380. Montaje de bandejas de recogida	220
Figura 381. Montaje completo de bandejas de recogida	221
Figura 382. Montaje de rejillas transitables	221
Figura 383. Montaje completo de rejillas transitables	222

Figura 384. Cubierta completa	223
Figura 385. Cubierta (54Mx60M). Cubierta montada	225
Figura 386. Cubierta (54MX60M). Juntas circulares para tuberías de evacuación	225
Figura 387. Cubierta (54MX60M). Juntas lineales y cubrejuntas	225

Figuras recuperadas

- Figura 10. Recuperada de <http://quonset-hut.blogspot.com.es>.
- Figura 11. Recuperada de <https://www.southeastaustralianhistory.com.au>
- Figura 12. Extraída de la web de imágenes, <https://www.pinterest.es>
- Figura 13. Recuperada de <https://myframe.co/balloon-frame-building>.
- Figura 14 y 15. Recuperada de <http://infomadera.net>.
- Figura 16. Recuperada de <http://pinterest.es>
- Figura 17 y 18. Recuperada de <http://www.searshomes.org>.
- Figura 19. Recuperada de <https://piapiablog.wordpress.com>.
- Figura 20 y 21. Recuperada de <http://www.historichomeplans.net>.
- Figura 22 y 23. Recuperada de <http://images.lib.ncsu.edu>
- Figura 24. Recuperada <https://www.urbipedia.org>
- Figura 25. Recuperada de <https://www.mimoo.eu>
- Figura 26 y 27. Recuperada de <http://urban-networks.blogspot.com>
- Figura 28. Recuperada de <http://www.urbipedia.org>.
- Figura 29. Recuperada de <https://proyectos4etsa.files.wordpress.com>
- Figura 30. Recuperada de <https://www.harvardartmuseums.org>.
- Figura 31. Recuperada de <https://www.pinterest.se>.
- Figura 32, 33 y 34. Recuperada de <https://www.plataformaarquitectura.cl>.
- Figura 35, 36 y 37. Recuperada de <https://es.wikiarquitectura.com>
- Figura 38 y 39. Recuperada de <http://quonset-hut.blogspot.com.es>.
- Figura 40 y 41. Recuperada de <https://www.harvardartmuseums.org>.
- Figura 42 y 43. Recuperada de <https://dprbcn.wordpress.com>.
- Figura 44, 45 y 46. Recuperada de <http://images.lib.ncsu.edu>.
- Figura 47. Recuperada de <http://www.capecodbuilders.org>.
- Figura 48. Recuperada de <https://commons.wikimedia.org>.
- Figura 49. Recuperada de <http://www.oldhouseweb.com>
- Figura 50. Recuperada de <http://statemuseumpa.org>.
- Figura 51. Recuperada del libro: Oliveri M. (1972). *Prefabricación o metaproyecto constructivo*. Gustavo Gili, Barcelona.
- Figura 52. Recuperada de <http://internetcurtains.blogspot.com.es>.
- Figura 53. Recuperada del libro: Oliveri M. (1972). *Prefabricación o metaproyecto constructivo*. Gustavo Gili, Barcelona.
- Figura 54, 55 y 56. Recuperada de <https://the189.com>
- Figura 57. Recuperada de <http://www.eichlernetz.com>
- Figura 58. Recuperada de <https://www.houzz.com>.
- Figura 59 y 61. Recuperada de <http://www.eichlernetz.com>.
- Figura 60 y 62. Recuperada de <http://drloihjournal.blogspot.com.es>
- Figura 63. Recuperada de <https://www.handeyesupply.com>
- Figura 64. Recuperada de <http://wosu.org>
- Figura 65. Recuperada de <https://www.handeyesupply.com>
- Figura 66. Recuperada de <https://www.failedarchitecture.com>.
- Figura 67. Recuperada de <https://es.wikiarquitectura.com>
- Figura 68. Recuperada de <https://www.pinterest.es>.
- Figura 69. Recuperada de <http://culturebox.francetvinfo.fr>.
- Figura 70. Recuperada de <http://astudejaoublie.blogspot.com.es>.
- Figura 71. Recuperada de <https://www.pinterest.es>
- Figura 72. Recuperada de <https://www.livinspaces.net>
- Figura 73. Recuperada de <https://www.archdaily.com.br>.
- Figura 74. Recuperada de <http://www.voicesofeastanglia.com>.
- Figura 75 y 76. Recuperada de <https://www.plataformaarquitectura.cl>.
- Figura 77. Recuperada de <https://inhabitat.com>.

Figura 78. Recuperada de <https://www.metalocus.es>.
 Figura 79, 80 y 81. Recuperada de <https://thethinkingarchitect.wordpress.com>.
 Figura 82. Recuperada de <http://www.archh.com>.
 Figura 83. Recuperada de <https://www.metalocus.es>.
 Figura 84. Recuperada de <https://www.archdaily.com/>
 Figura 85. Recuperada de <http://www.enattendantmieux.org>
 Figura 86 y 87. Recuperada de <https://www.archdaily.com>
 Figura 88 y 89. Recuperada de <http://arxiubak.blogspot.com.es>
 Figura 90. Recuperada de <https://danish.tm>
 Figura 91, 92, 93, 94 y 95. Recuperada de <http://www.utzonphotos.com>
 Figura 96, 97, 98 y 99. Recuperada de <http://tectonicablog.com>.
 Figura 100 y 101. Recuperada de <https://www.lib.umassd.edu>
 Figura 102. Recuperada de <https://dome.mit.edu/handle/1721.3/29757>
 Figura 103, 104, 105 y 106. Recuperada de <https://www.schulitz.de>
 Figura 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113 y 114. Recuperada de <http://www.toyotahome.co.jp>
 Figura 115. Recuperada de la web del estudio de <http://www.hopkins.co.uk>
 Figura 116. Recuperada de <https://www.architectsjournal.co.uk>.
 Figura 117 y 118. Recuperada de <http://www.hopkins.co.uk>
 Figura 119. Recuperada de <http://www.oicosriflessioni.it>
 Figura 120 y 121. Recuperada de <http://arquiciutat.blogspot.com.es>
 Figura 122 y 123. Recuperada de <http://casa-abierta.com>
 Figura 124 y 125. Recuperada de <https://www.boklok.com>
 Figura 126. Recuperada de <http://www.zigersnead.com>
 Figura 127. Recuperada de <https://group.skanska.com>.
 Figura 128. Recuperada de <https://www.e-architect.co.uk>.
 Figura 129 y 130. Recuperada de <https://yonder.e20.org/t/strand-east-e15-landprop-holding-b-v-inter-ikea-group/1702>
 Figura 131 y 132. Recuperada de <http://kaufmannzimmerei.users.aboliton.at/>
 Figura 133. Recuperada de <https://www.ecovidahomes.com>
 Figura 134. Recuperada de <http://kaufmannzimmerei.users.aboliton.at/>
 Figura 135. Recuperada de <https://www.nextroom.at>
 Figura 136 y 137. Recuperada de <http://kaufmannzimmerei.users.aboliton.at/>
 Figura 138 y 139. Recuperada de <http://www.lot-ek.com>.
 Figura 140, 141 y 142. Recuperada de <http://eentileen.dk/projekt/villa-asserbo/>
 Figura 143. Recuperada de <https://proyectos4etsa.wordpress.com>
 Figura 144. Recuperada de <https://www.pinterest.de>.
 Figura 145. Recuperada de <http://www.aq.upm.es>
 Figura 146. Recuperada de <https://infomadera.net>.
 Figura 147. Recuperada de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>.
 Figura 148. Recuperada de <http://www.aq.upm.es>
 Figura 149 y 150. Recuperada de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>
 Figura 151, 152 y 153. Recuperada de <http://www.solaripedia.com>
 Figura 154. Recuperada de <http://www.microcompacthome.at>
 Figura 155. Recuperada de <http://www.solaripedia.com>
 Figura 156. Recuperada de <https://kierantimberlake.com>
 Figura 157 y 158. Recuperada de <https://michitecture.com/2011/02/05/cellophane-house-at-moma/>
 Figura 159. Recuperada de <http://www.vitruvius.com.br/>
 Figura 160. Recuperada de <https://kierantimberlake.com>.
 Figura 161. Recuperada de <https://www.kaufmannzimmerei.at>.
 Figura 162. Recuperada de <https://www.moma.org>.
 Figura 163 y 164. Recuperada de <http://www.dbz.de>
 Figura 165. Recuperada de <http://www.nyartbeat.com>.
 Figura 166. Recuperada de <https://www.nysun.com/>
 Figura 167. Recuperada de <https://inhabitat.com>.
 Figura 168. Recuperada de <http://www.cambridge2000.com>
 Figura 169. Recuperada de <http://digitaltectonics.org>
 Figura 170. Recuperada de <http://detnk.com>

Índice de tablas del sistema de construcción flexible

Bloque 1. Sistema de construcción flexible

Tabla 1. Viviendas y arquitectos. Proyecto Weissenhof	50
---	----

Bloque 2. Sistema estructural flexible. SEF

Tabla 2. Tipos y dimensiones UBE	96
Tabla 3. Tipos de UBE con diferentes espesores	96
Tabla 4. Formación de las UE	98
Tabla 5. Composición de los elementos estructurales (EE).....	100
Tabla 6. Tipos de elementos estructurales (EE) y funciones	102
Tabla 7. EE y sus posibles montajes dentro del SEF.....	102
Tabla 8. Aperturas máximas en el SEF	107
Tabla 9. Casos posibles de uniones	111
Tabla 10. PEe dimensiones posibles.....	130
Tabla 11. Variantes de volúmenes con PE compartido	140
Tabla 12. Proceso de sustracción de un volumen	151
Tabla 13. Tipos de volúmenes de 2ª planta	154
Tabla 14. Proceso del entramado AA	157
Tabla 15. Unidades de elementos industrializados a utilizar	163
Tabla 16. Catálogo de productos	164

Bloque 3. Sistema de cubierta flexible. SCF

Tabla 17. Tipologías de las cubiertas	169
Tabla 18. Tipos de EC.....	173
Tabla 19. Unidades integrantes de los elementos de cubierta (EC).....	175
Tabla 20. Tipos de paneles, dimensiones y zonas de montaje.....	178
Tabla 21. Tipos de elementos de sustentación, dimensiones y zonas de montaje	182
Tabla 22. Tipos de tuberías de evacuación (TE) y elementos de cubierta (EC) que integran la cubierta	190
Tabla 23. Tipos, dimensiones y posición de las bandejas de recogida (BR)	192
Tabla 24. Tipos y relación de rejillas con los elementos de cubierta (EC) que los integran.....	199
Tabla 25. Tipos de tubería y sus unidades de junta universal.....	204
Tabla 26. Tipos de juntas de bandeja y sus medidas	206
Tabla 27. Relación entre los tipos de cubrejuntas y las unidades de bandejas que protege.....	208
Tabla 28. Relación entre bajantes y superficie de cubierta.....	215
Tabla 29. Unidades de elementos industrializados a utilizar	226
Tabla 30. Catálogo de productos	227

Índice de ecuaciones del sistema de construcción flexible

Bloque 1. Sistema de construcción flexible

Bloque 2. Sistema estructural flexible. SEF

Ecuación 1. Progresión aritmética del sistema estructural flexible (SEF) en la creación de volúmenes diáfanos	124
Ecuación 2. Distribución de los pórticos estructurales exteriores (PEe) en los lados del perímetro volumétrico (PV)	130
Ecuación 3. Volúmenes diáfanos.....	133
Ecuación 4. Distribución de los elementos estructurales verticales (EEv) en los lados Li.....	143

Bloque 3. Sistema de cubierta flexible. SCF

Acrónimos

SEF	Sistema estructural flexible
UBE	Unidades básicas estructurales
UE	Unidades estructurales
EE	Elementos estructurales
PE	Pórticos estructurales
SCF	Sistema de cubierta flexible
PEi	Pórticos estructurales interiores
PEe	Pórticos estructurales exteriores
Pv	Perímetro volumétrico
Cx	Cara eje x
Cy	Cara eje y
R	Resto
Vi	Volumen inicial
EC	Elemento de cubierta
ES	Elemento de sustentación
BR	Bandeja de recogida
RT	Rejilla de tránsito
JT	Juntas de tubería
JB	Juntas de bandeja
CB	Cubrejuntas de bandeja de recogida

I. Introducción

I.I. Introducción general a la Tesis

Observando el entorno que nos rodea y motivados por la necesidad de encontrar respuestas, nos persigue la inquietud por la desconexión que existe entre la sociedad – construcción – tecnología, nos llama la atención la enorme distancia que separa la producción de un elemento tan común para todos nosotros como podría ser un vehículo con la elaboración casi “artesanal” de una vivienda. Entre uno y otro observándolos con detenimiento, ambos productos por y para la sociedad, los distancian procesos de producción pertenecientes a etapas distintas, conviviendo ambos en la misma época, ¿a que se debe?, ¿cual es la causa?, ¿hay solución?; estos interrogantes son la base del sistema propuesto para la Tesis, el poder diseñar una construcción de viviendas más acorde con los tiempos y procesos industriales, que con la tecnología actual se nos permite, sin denostar ni el diseño ni la variabilidad arquitectónica, pero sí permitiendo el “cambio”, ese cambio o flexibilidad tan poco asociado a las viviendas y tal fulgurante en la sociedad del siglo XXI.

Estos interrogantes movieron sin duda esta investigación que aquí exponemos, no se pretende criticar distintas alternativas que actualmente existen, ni restar importancia a la multitud de ideas, proyectos y sistemas que preceden a este a lo largo de la historia, simplemente y desde la humildad queremos y pretendemos crear, reforzar o hacer pensar que otros caminos son posibles en la construcción de viviendas, que otros métodos pueden sustituir a los presentes por estar más acordes con las realidades y necesidades actuales y, porque la sociedad es cambiante y así deben de ser las técnicas y sistemas de producción que respondan a las exigencias actuales y se adapten a la futuras.

Actualmente las técnicas del “Do it yourself” están redireccionando el enfoque de los productos hacia técnicas de fabricación sencillas que permiten al propio comprador/usuario montarse su propio objeto/producto, siendo esta relación entre necesidad – sencillez – montaje el camino hacia nuevas técnicas de producción donde se priorice el diseño en detrimento de la fabricación entendiéndose como mano de obra.

Esta Tesis incidirá por tanto en este enfoque basado en la optimización de recursos y la sencillez de ejecución, siendo el usuario el vínculo entre idea y creación.

I.II. Objetivos y alcance del estudio

La presente Tesis nace de una investigación llevada a cabo desde la Escuela Politécnica de Ingenieros de Gijón¹ donde nos planteamos la posibilidad de industrializar la vivienda desde un punto de vista global, pero no como un único producto volumétrico repetitivo sin posibilidad de transformación, sino todo lo contrario, desde la perspectiva de crear un “todo” formado por elementos de dimensiones reducidas, manejables por 2 personas máximo y con capacidad de montaje y desmontaje, todo ello en seco.

Ante estas premisas iniciales nos preguntamos ¿Y como empezar?, pues bien, lo primero clasificando la vivienda en partes donde cada una de ellas fuera un Sistema independiente y al mismo tiempo una parte más del “todo”, ese “todo” que se adapta a los cambios y se transforma ante cualquier modificación en alguna de sus partes, como un ente vivo que debe absorber en conjunto sus transformaciones.

Esta descomposición de la vivienda en sistemas constructivos nos lleva a plantear una clasificación inicial y actual (no definitiva) tal y como sigue:

¹ Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación de la Universidad de Oviedo

1. Cimentación
- 2. Estructura. Sistema estructural flexible (SEF)**
3. Cerramiento
4. Acabados interiores
5. Escaleras
- 6. Cubierta. Sistema de cubierta flexible (SCF)**
7. Instalaciones

En vista de la clasificación y de la envergadura de lo planteado nos propusimos desarrollar dos de los 7 puntos iniciales que serían el nº2 estructura y el nº6 cubierta, y ¿porque estos puntos?, se podría explicar como sistema inicial la estructura, ya que en este se centra todo el sistema y la cubierta se desarrolla como complemento de esta. En términos generales cualquier vivienda con capacidad de transformación deberá de poseer un esqueleto que se adapte a cualquier modificación y que englobe por si solo, y de soporte, todos los demás sistemas independientes o subsistemas del todo, debe de ser la pieza principal sobre lo que todo gire, y a partir de aquí la investigación se encamino hacia lo que dio como resultado y se muestra en la Tesis propuesta.

El plantear esta investigación viene de percibir alrededor de nuestro entorno lo manejable, lo personalizable, lo sencillo y lo realizable por nosotros mismos, aquí dejamos una puerta abierta a otra forma de “construir”, de habitar un espacio, de crear un volumen y de modificarlo, espero que sea el inicio no se si de futuras realizaciones, pero sí de futuras ideas.

El objetivo es brindar a las personas, al público en general la capacidad de montarse su propia vivienda de manera sencilla y económica, ¿esto es posible?, de alguna manera esta investigación me ha abierto a una manera muy distinta de percibir la formación de las viviendas y me ha planteado importantes dudas ¿acaso una vivienda ha de ser perpetua e inmóvil? ¿única? ¿y realmente se adaptará a mí para siempre?. A estas preguntas la Tesis espera dar respuesta desde una visión en el diseño y, con el máximo rigor, hemos creado estos 2 sistemas independientes anteriores, la estructura se ha dado a conocer de una manera más amplia a través de un artículo² publicado en la revista *Advances in Civil Engineering* y la cubierta mediante una patente española³

I.III. Estructuración de la tesis

La presente tesis al tratar sobre el desarrollo de un sistema de construcción para viviendas nos plantea, debido a su envergadura, acotar la tesis a 2 de los sistemas independientes inicialmente planteados, siendo estos el sistema estructural flexible (SEF) y el Sistema de cubierta flexible (SCF), tal y como se indicó anteriormente (I.II. Objetivos y alcance).

A su vez la Tesis para su correcta explicación e interpretación se estructura en 4 bloques generales, exponiendo en cada uno de ellos una parte importante e independiente del trabajo de investigación.:

- Bloque 1. Línea de investigación. Estado del arte
- Bloque 2. Sistema de estructural flexible (SEF)
- Bloque 3. Sistema de cubierta flexible (SCF)
- Bloque 4. Conclusiones y líneas futuras de investigación

² *Advances in Civil Engineering*. “Design of Flexible Structural System for building”.

³ Patente Española ES2610203B2. http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/61/02/ES-2610203_B2.pdf

El primer bloque trata la introducción a la industrialización mediante una serie de proyectos que nos situarán en contexto con la idea general del trabajo, marcando así un punto de partida desde el que se inicia toda la tesis. A continuación, se analizarán las necesidades, se expondrán las hipótesis y se barajarán las propuestas que crearán y reconducirán las líneas de investigación sobre las que se diseñan los siguientes bloques.

El segundo bloque que llevará por título sistema estructural flexible (SEF), hará referencia a la parte estructural y a los elementos que conforman esa estructura, por medio de explicaciones e imágenes, al final del bloque se completará con un sencillo ejemplo que ilustrará de manera resumida el concepto al que se llegó.

El tercer bloque que llevará por título, sistema de cubierta flexible (SCF), trata sobre la cubierta, otra parte o subsistema fundamental en la que esta dividida la vivienda, de la misma manera por medio de explicaciones e imágenes se describirán cada uno de los elementos que la integran, y al igual que para el bloque 2, al final se muestra un ejemplo que completará y reforzará el concepto que se pretende transmitir.

Por último, el bloque cuarto nos presenta las conclusiones de la Tesis planteada y nos abre la mirada hacia futuras líneas de investigación como continuación en el desarrollo de esta tesis, o como enfoque hacia otras oportunidades que su investigación y la curiosidad puedan suscitar.

Bloque 1.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN. ESTADO DEL ARTE

Capítulo 1. Línea de investigación

1.1. Introducción a la industrialización de viviendas

El sistema que se diseña y se describe en esta Tesis es un trabajo de investigación comenzado años atrás y del que en su elaboración nos hemos visto involucrados en innumerables idas y venidas de pensamientos e ideas contradictorias, callejones sin salida, rediseños constantes, mutaciones arquitectónicas sin fin, y sobre todo ilusión y constancia para mostrar los resultados actuales que no finales, puesto que, eso en los sistemas generativos (Morales, P. 2005) como éste será difícil de predecir.

La investigación trata sobre la transformación a la que se ve concebida la vivienda y el afán por desposeerla de ese carácter eterno e inmóvil a lo que lo tradicional nos ha llevado a lo largo de los años. Se propone un nuevo enfoque desde un punto de vista más actual a la sociedad del siglo XXI, desde la movilidad, la flexibilidad, y la actualización a los incontables cambios en el estilo de vida, de ello consta quizás, el imaginar y diseñar la vivienda como un elemento contiguo a la persona y no como una adaptación de la persona a la vivienda.

La sociedad presenta una clara tendencia a consumir productos fabricados en grandes series y, por tanto, relativamente económicos, pero también se está imponiendo la posibilidad de personalizar estos productos (mass customization). En esta sociedad ya no se premia una larga vida útil, sino más bien el cumplimiento de un ciclo de vida perfectamente adaptado a un producto concreto, en este ciclo de vida entran variables tales como: el cambio constante de tendencias, la economía, las modas, las influencias, además de la propia calidad innata del producto.

Estamos en un mercado global donde los productos fabricados en un lugar concreto pueden llegar a ser utilizados en cualquier parte del mundo, así pues, si pretendemos diseñar productos para ser utilizados por consumidores en lugares alejados, con culturas diferentes, debemos de dotarlos de flexibilidad, sobre todo si queremos introducir el criterio de la personalización. En este contexto puede resultar de gran interés que en un proceso general de diseño introduzcamos el concepto de "Do It Yourself", puesto que este planteamiento nos va a permitir que el propio consumidor sea parte fundamental del proceso de creación del producto y, por tanto, conseguir esa ansiada personalización.

Partimos de la hipótesis según la cual nos complace "crear", ser nosotros mismos los creadores, así nos deleitamos en el proceso íntegro de construir, cuyo diseño final lo hayamos realizado nosotros mismos, pero eso sí, también queremos que este proceso sea sencillo, fácil y económico.

El instinto de jugar (Huizinga, J. 2007), de jugar a construir, consideramos que debe ser el gran estímulo a explotar en el siglo XXI, actualmente ya existen unos claros indicios de esta tendencia y así podemos ver compañías como IKEA y LEGO que han entendido perfectamente esta idea, y donde su filosofía se basa precisamente en el "do it yourself".

Llevados estos conceptos al mundo de la construcción, podemos plantear la autoconstrucción como un proceso mediante el cual podemos edificar nuestras propias viviendas, o parte de ellas, con un alto grado de personalización a un precio razonable y con gran facilidad de ensamblaje. Este concepto nos impone utilizar elementos industrializados que presenten la característica de "Ready to assemble".

Flexibilizando y ampliando el concepto de autoconstrucción, pretendemos obtener no solamente viviendas autoconstruidas, sino también obtener la capacidad de transformación de la vivienda a lo largo del tiempo, durante su ciclo de vida, se busca establecer una relación vivienda-usuario

que refleje la personalidad de este y además que se adapte mejor a las necesidades del momento. Entonces y en este justo momento, habremos imaginado una nueva forma de vivienda.

1.2. Necesidad y propuesta de una industrialización arquitectónica

Observando el dinamismo y cambio continuo existente en la sociedad actual y comparándolo con la construcción tradicional, podemos apreciar una gran discrepancia. Esta comparación es propicia para plantear nuevas formas de construcción. Dentro de este contexto, proponemos un nuevo sistema que permita una gran flexibilidad volumétrica.

Actualmente existen distintas clasificaciones en cuanto a los posibles procesos industrializados en la construcción de viviendas (Smith, R 2011), siendo aceptado en nuestro caso las dos siguientes:

- a) Elementos
- b) Componentes
- c) Paneles 2D
- d) Módulos 3D

En consonancia con esta anterior podemos hablar de otra clasificación (Reyes JM,2012) en función del sistema de producción del edificio:

- a) Sistemas a base de panel / panel
- b) Sistemas a base de retícula estructural + paneles
- c) Sistemas a base de componentes 3D

Ahora bien, sintetizando las características comunes a estos tipos de sistemas propuestos, como son:

1. Utilización de elementos prefabricados y/o industrializados
2. Fabricación off-site
3. Montaje on-site
4. Diminución de los tiempos de ejecución
5. Aumento de la calidad
6. Formas sencillas, similares a prismas

Por otra parte, observando el mundo de la industria en general, y en particular la construcción de sistemas de almacenamiento industrial (figura 2), podemos apreciar que existen sistemas de estanterías industriales, que presentan unas características muy peculiares, pero que van a resultar de gran interés para este trabajo. Entre las características de estos sistemas podremos destacar las siguientes:

1. Conjunto finito de elementos industrializados diferentes
2. Capacidad de adaptación a los volúmenes de almacenamiento
3. Sencillez en las uniones
4. Ligereza de las piezas
5. Gran facilidad de montaje y desmontaje (figura 1)



Figura 1. Flexibilidad estructural con sistemas de estanterías. Elementos definidos.
Fuente: Elaboración propia



Figura 2. Construcción mediante un sistema estructural tipo estanterías
Fuente: Elaboración propia

Pues bien vamos a intentar recoger todas estas características generales, de ambos grupos para intentar obtener un nuevo Sistema de construcción flexible cuyo concepto general se basa en:

Utilizando un conjunto finito de elementos industrializados diferentes, con compatibilidad de ensamblaje entre ellos, obtener la construcción deseada.

El Sistema de construcción flexible permitirá una construcción industrializada de edificios con las siguientes características:

- Edificios de 1 ó 2 plantas
- Sobrecargas de uso bajas o medias
- Vanos máximos de 4,8 metros
- Alturas de 3 metros

Por tanto, el uso de estas edificaciones podría estar destinado a:

- Residencial
- Edificaciones temporales y/o estacionales
- Educativas
- Sanitarias
- Otros usos singulares

1.2.1. Características del sistema de construcción flexible

Se consideran una serie de características generales en base a las cuales se diseñaron todas y cada una de las unidades del sistema, estos requerimientos iniciales nos proporcionan seguir una línea común, describiéndose de tal forma que los conceptos se vayan de lo general al detalle y no al contrario, esta manera de actuar lleva aparejada una reinterpretación constante de los elementos, proporcionando un rediseño de cada uno de ellos, a medida que surgen disconformidades en el “todo”, hasta llegar al más adecuado y equilibrado entre las diferentes partes.

Las características iniciales de partida para este diseño son:

1. Sencillez de cada una de las unidades diseñadas, teniendo en cuenta:
 - Fabricación
 - Puesta en obra
 - Intuición

2. Flexibilidad de cara a la variación arquitectónica,
 - Composición y descomposición de volúmenes
(Para que este punto sea una realidad más que una utopía, nos centramos en el concepto de la movilidad.)
3. Unidades montables y desmontables.
4. Montaje en seco sin ningún componente húmedo
5. La intuición del sistema se conseguirá en base de la unificación de las distintas funciones.
 - a. Uniones iguales y sistemáticas
 - b. Catálogo de elementos limitado (véase capítulo 6.1 y 12.2)
6. Flexibilidad arquitectónica que posibilita una combinación casi infinita entre sus elementos finitos.

Un nº limitado de elementos para una combinación infinita de los mismos será conseguido gracias a la modulación de las partes, que se traducirá en una flexibilidad arquitectónica real.

7. El transporte será un factor fundamental en un sistema que quiera ser “flexible” la palabra y significado de flexibilidad lleva implícita que se pueda mover y, para ello, habrá que tener en cuenta:
 - Dimensiones
 - Cargas
 - Formas

Estas premisas anteriores serán las encargadas de guiar el diseño de las diferentes partes integradoras (Salas,J 1981) del sistema de construcción flexible y, teniendo en cuenta la magnitud del mismo, parece razonable dividirlo en 7 sistemas independientes:

1. Cimentación
- 2. Estructura. Sistema estructural flexible (SEF)**
3. Cerramiento
4. Acabados interiores
5. Escaleras
- 6. Cubierta. Sistema de cubierta flexible (SCF)**
7. Instalaciones

En esta Tesis Doctoral se tratarán solamente dos de los subsistemas independientes propuestos del sistema de construcción flexible para viviendas, dando solución a modo de propuesta real, siendo estos:

- 1. Sistema estructural flexible (SEF)**
- 2. Sistema de cubierta flexible (SCF)**

Dada la gran amplitud de los sistemas a desarrollar, en este trabajo únicamente serán estos dos sistemas los que definan la Tesis Doctoral sobre industrialización y flexibilidad arquitectónica de viviendas unifamiliares aisladas, tratando de manera pormenorizada cada uno de estos grupos y profundizando en los elementos y composiciones de los mismos. Es importante detallar de antemano que por ser un sistema cada uno de los elementos deberá de integrarse en el “todo”, que viene a denominarse Sistema global de edificación flexible (SGEF), el “todo” debe ser el fin, estando diseñado para absorber cualquier modificación en cada uno de los grupos del sistema.

1.2.2. Etapas desde el inicio al fin del sistema de construcción flexible

No menos importante es diseñar en función de un ciclo de vida sostenible, donde se interprete el sistema como una integración con el medio ambiente, ya no sólo en el aprovechamiento de materiales debido a mejores procesos de planificación, fabricación, etc., sino que de alguna manera, estos elementos puedan integrarse en un ciclo cerrado, donde o bien se reciclen, o se reutilicen, volviendo a el sistema con una generación mínima de residuos.

Este proceso concebido desde el primer momento se matizó en base a unos elementos cuyo montaje se realizarán en seco (figura 4) con posibilidad de desmontaje posterior individualizado, fomentando y haciendo posible un reciclado real y efectivo, o una reutilización total o parcial de unidades.

El ciclo de vida completo (figura 3) de las edificaciones del Sistema de construcción flexible se integran dentro de las etapas de:

1. Diseño
2. Compra de unidades básicas
3. Transporte
4. Montaje in situ
5. Modificaciones
6. Desmontaje
 - a. Reparación – Mantenimiento - Reutilización.
 - b. Reciclaje
7. Vuelta al ciclo

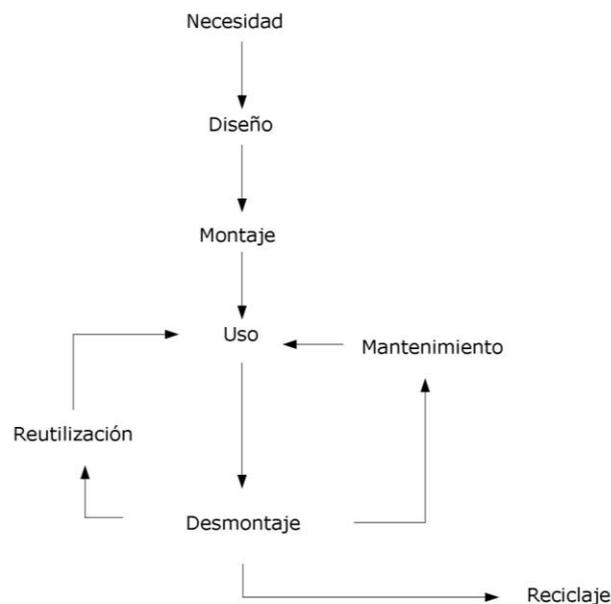


Figura 3. Gráfico general del proceso del sistema de construcción flexible
Fuente: Elaboración propia

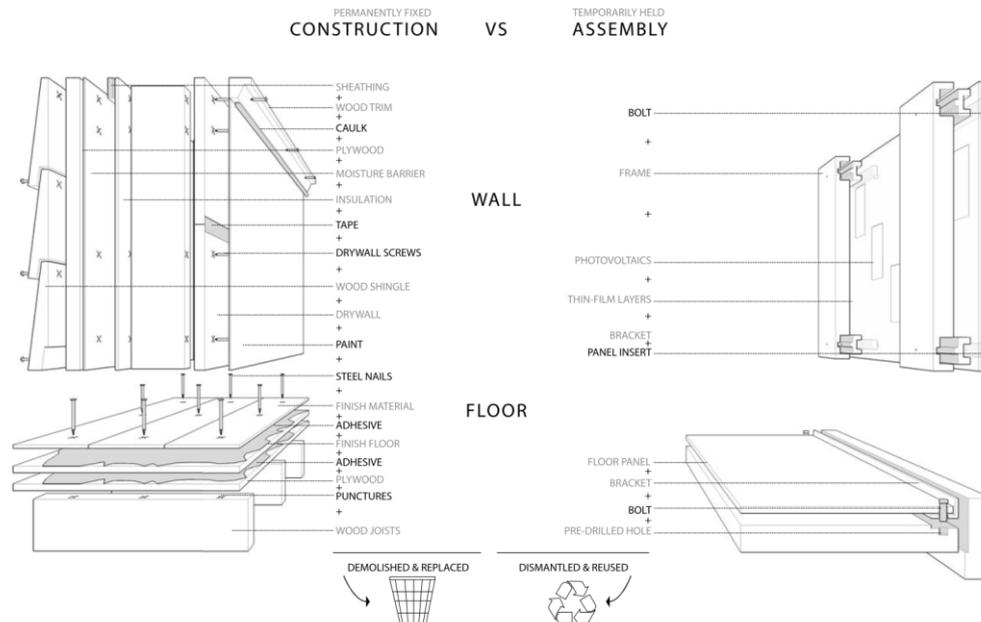


Figura 4. Construcción tradicional vs construcción del montaje

Fuente: Recuperado del libro Smith, R. (2011)

Este ciclo de vida y su cierre de materiales se plantea con un reciclaje y una reutilización selectiva de los elementos (figura 4). En la imagen anterior se observan las diferencias fundamentales entre la construcción tradicional y el montaje por elementos, llegando a plantearse, desde el punto de vista de la sostenibilidad, el impacto ambiental de la edificación es consecuencia del proceso de construcción.

Lo que pretende a su vez el sistema de construcción flexible es contribuir de manera eficaz a la sostenibilidad, proponiendo un posible cierre de ciclo de los materiales, pues al ser en su totalidad un sistema montado, un reciclaje o reutilización posterior se presenta como una posibilidad factible, además el sistema se diseñó para un desmontaje (Paris, O. 2014), lo que en sí mismo contribuye de manera muy eficaz a una posible idealización en torno al aprovechamiento eficiente de recursos y, su posterior cuidado medioambiental, (Maccarini, L. 2011) como así se cita:

Calkins afirma que “los materiales que tienen una determinada función, pero que al final de su vida útil se pueden recoger y reutilizarse en otra ubicación; puede que no sean verdes en sí mismo, pero tienen el gran valor añadido de su flexibilidad en el montaje”.

Este punto de vista refuerza la idea de la industrialización en la construcción, ya que los edificios industrializados se proyectan para ser montados y desmontados según su necesidad.

Crowther asegura que el principal problema que encontramos para reutilizar los materiales de construcción es la dificultad para extraerlos en buenas condiciones; ya que los métodos actuales de construcción dependen mucho de las uniones químicas. Este tipo de soluciones implican en su mayoría la demolición como solución final.

Lo que confirma el buen hacer del sistema de construcción flexible y, no solo eso, sino que está constituido a modo de “pieles” (Maccarini, L. 2011), según tal y como indican diferentes autores:

Los aspectos clave para proyectar edificios pensando en la deconstrucción, son la *independencia* y la *intercambiabilidad* de las partes de un edificio (Durmisevic, 2003). La independencia es la identificación de las partes un edificio como si se encontraran separadas de la estructura principal; se puede conseguir mediante una jerarquía abierta, es decir, con diferentes capas en las que cada una tiene una configuración específica.

En vista a estos comentarios anteriores, el sistema de construcción flexible para viviendas por sus procesos de fabricación y, sobre todo su diseño de montaje y desmontaje contribuye activamente al cuidado por el medio ambiente.

1.2.3. Hipótesis de diseño en el sistema de construcción flexible.

Para el desarrollo de este concepto, nos basamos en la modelización de un edificio como un conjunto de cuerpos sencillos similares a prismas de bases cuadradas o rectangulares, interactuando entre sí, y con todos los lados ortogonales. Estos prismas pueden ser descompuestos en elementos de menores dimensiones ya sean lineales o, por medio de unidades integradas modulares como conjunto de distintos elementos unitarios. Además, se estandariza cada uno de estos elementos industrializados, de manera que el conjunto de estos sea mínimo. similar a la Teoría de los Policubos (Feijoó, E. 2012), según citan los arquitectos Roberto H. Serrentino y Hernán Molina en el texto que sigue, donde se trata la arquitectura modular (Quezada, D y Burneo, E. 2012) en base a esta Teoría.

El trabajo modular tridimensional tiene en los cubos y policubos su expresión de mayor simplicidad fundamentalmente por dos razones: (1) la direccionalidad de sus aristas corresponde al sistema de coordenadas de mayor difusión (cartesiano ortogonal), y (2) es el cuerpo sólido que más sencillamente rellena modularmente el espacio tridimensional, sin dejar huecos y sin superponerse.

Esta modelización en los prismas nos permite obtener las siguientes características geométricas:

- 6 caras que van a ser siempre rectángulos o cuadrados
- 8 encuentros en los vértices todos iguales
- 12 aristas todas idénticas
- Ángulos de 90° en todas las intersecciones entre planos

A estos prismas vamos a añadir una nueva premisa, según la cual las dimensiones seguirán una modulación $6M$ ($M=100$ mm)

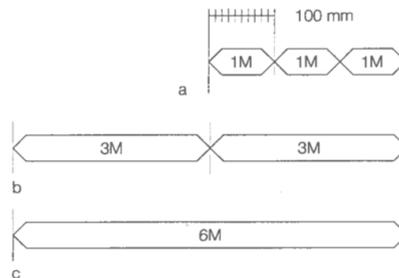


Figura 5. Clasificación del módulo. Módulo básico y multimódulo.

Fuente: Extraído del libro, Staib, G. Dorrhöfer, A. & Rosenthal, M. (2008)

Así pues, la propuesta para la constitución de una vivienda se basará en la formación de una retícula ortogonal basada en la serie M , en cada uno de los ejes X , Y y Z , con lo que la volumetría contendrá una modulación integral que facilitará, a su vez, el encaje de la misma con cada uno de los elementos integradores del sistema de construcción flexible, estas dimensiones de acuerdo a una relación entre cada una de las partes, dotando de flexibilidad al conjunto, así mismo, todas y cada una de las uniones de elementos entre los distintos planos formarán ángulos de 90° , que simplificarán los encuentros, adoptando su sistematización y posibilitando el tratamiento adecuado por medio de las juntas.

El sistema integra dos tipos de retículas moduladas diferentes (figura 6):

1. Ejes:

Será la encargada de fijar las dimensiones a ejes de la estructura.

2. Caras:

Las dimensiones de los elementos se obtienen en función de las anteriores, pero en este caso se fijan a caras interiores o exteriores de los mismos.

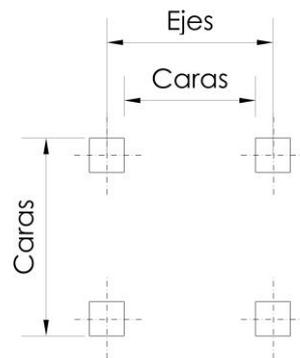


Figura 6. Tipos de retículas: ejes y caras
Fuente: Elaboración propia

Manteniendo estos criterios entre los diferentes elementos, obtendremos el sistema de construcción flexible, cuya modulación permitirá combinar los diferentes elementos finitos, y así obtener un número infinito de formas arquitectónicas.

1.2.4. Condicionantes de los sistemas constructivos en general

En la elección de un sistema industrializado se plantean una serie de inconvenientes, características o condicionantes que reorientan de uno u otro modo el sistema a elegir dentro de la variedad que se describió anteriormente (elementos, paneles, módulos, etc.) y hay una serie de puntos de diversa índole y de gran importancia inicial que se deberán de tener en cuenta antes de diseñar cualquier sistema industrializado, como serían:

1. Dimensiones
2. Transporte

Estas dos características definen el tipo de metodología industrializada a diseñar y a utilizar y, a raíz de esta elección, cada uno de los sistemas propuestos tendrán sus puntos fuertes y débiles. Estos dos condicionantes anteriores son los más determinantes, y a continuación, de manera generalista, iremos ampliando las demás características intrínsecas que llevarán asociadas. Es a través de analizar estas dos variables y sus condicionantes asociados cuando, desde un punto de vista objetivo, se deberá de buscar una tipología industrializada acorde con el tipo de viviendas a desarrollar y, no antes.

1. Factores dimensionales

En este punto tratamos la volumetría de los productos industrializados acabados y su influencia de cara a su manejo, que estará muy relacionado con el segundo apartado a considerar que es el transporte.

Los aportes o relaciones que conllevarán serán los siguientes:

- A mayor dimensión, mayor peso y menor radio de acción de transporte.

- A mayor dimensión, mayor nivel de acabados y menores tiempos de montaje. Mayores dificultades en las uniones (Bernard, P. 1982).
- A menores dimensiones mayor manejabilidad (escala humana), mayor duración de montaje, mayor personalización, mayor facilidad de reutilización y reciclaje.
- A menores dimensiones mayor facilidad de desmontaje y montaje, mayor facilidad de mantenimiento y sustitución, y menores condicionantes para la utilización de medios auxiliares.
- Como inconveniente destacable se podría citar que, a elementos menores, más uniones, más juntas y, por tanto, más tiempo de montaje.

Es relevante la inquietud y la controversia que esto plantea en algunos autores como Julián Salas (1981) cuando plantea ya una serie de condicionantes que influyen en la elección del sistema de construcción más adecuado:

- El peso o el tamaño que pueden manejar manualmente 1 ó 2 operarios
- Las dimensiones funcionales dictadas por las actividades de uso cotidiano
- Los gálibos del transporte
- Ciertas características resistentes y de fabricación
- Etc.

Estos y más, como muy bien citaba Julián Salas, nos restringen las elecciones y de ahí, la dificultad en el diseño de un “Sistema ideal”.

2. Transporte

El transporte es fundamental para el correcto desarrollo de un sistema de construcción industrializada, por:

- Su radio de acción
- Por su viabilidad económica a la hora de distribuir el producto
- Análisis del ciclo de vida “ACV”.
- La externalización a otros países.
- La rapidez de respuesta, etc.

Por esta razón, siempre que nos planteemos el diseño de un sistema industrializado habrá que tener en cuenta no solo el tipo de sistema a utilizar, sino las dimensiones de los productos, a sabiendas que habrá que transportarlos, influyendo esto directamente en el coste, según *Seaker and Lee* (2006) se estima un radio de acción de aproximadamente 150-200 millas (300km) desde la fábrica hasta el lugar de ocupación para que se encuentre controlado el gasto por transporte, este dato indicativo nos orientará de manera general sobre la viabilidad de determinados proyectos que básicamente no serían “rentables” por su transporte, preguntándonos: ¿se puede transportar nuestro producto de manera viable?

La respuesta a la pregunta se plantea con un “nuevo” concepto de sistema de industrialización que será el diseñado en esta investigación, donde se intenta crear un equilibrio entre la capacidad de la industrialización aplicada a la arquitectura de viviendas, la conjunción de esta con la variabilidad de las mismas, la facilidad en la sencillez del montaje-desmontaje, la flexibilidad de cara a posibles cambios y transformaciones, y su posibilidad de transporte a casi cualquier lugar. La combinación de estas premisas nos llevó a plantearnos elementos dimensionales tales que pudieran ser movidos por 2 personas máximo, tanto en volumen como en carga, aplicando este factor a la industrialización, los elementos-componentes planteados se acercarían más a elementos de pequeñas dimensiones y finitos, de manera que estos mismos sean lo más universales posibles, pudiendo fabricarse en serie, reduciendo así los costes en virtud de lo indicado en las gráficas siguientes:

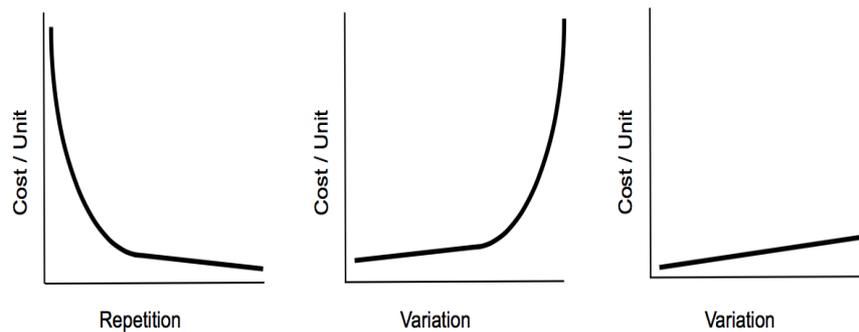


Figura 7. Gráfica de coste/unidad en relación a tres variantes como son la repetitividad de elementos, las variaciones y la variación personalizada. Fuente: Extraído del libro: Smith, R. (2011).

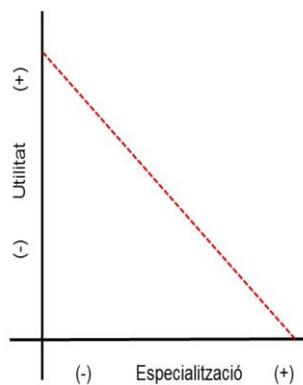


Figura 8. Gráfica de utilidad/especialización

Fuente: Extraído del Proyecto de investigación post doctoral: Paris, O. (2014)

El coste por unidades aumenta de manera exponencial a medida que se introducen variaciones de los elementos (figura 7.b), a raíz de esto se observa que la complejidad o especialización en los elementos reduce la utilidad de los mismos (figura 8), por eso cada uno de ellos deberá ser lo más sencillo y universal posible para la reducción de costes, en cambio la personalización (figura 7.c) en los elementos provoca un coste – variación asumible dentro de las posibles variaciones de los elementos.

Según estas cuatro gráficas anteriores se puede concluir que tan importante es un diseño de elementos sencillos, como dotarlo de una producción seriada, en el sistema de construcción flexible la sencillez unida a la variabilidad proporciona en la combinación de sus elementos, un acercamiento a la universalidad de sus unidades.

3. Tiempo de montaje

Este condicionante no es especialmente relevante si tenemos en cuenta que serían los usuarios quien monten la propia vivienda.

1.3. Propuesta del sistema de construcción flexible para viviendas

En vista a los planteamientos anteriores y en virtud de ofrecer una solución industrializada a la construcción de viviendas, el sistema de construcción flexible se asemeja por un lado a los sistemas de mecanos y, por otro lado, comparte el sistema de proceso a base de estructura más paneles de dimensiones reducidas que citamos anteriormente en apartado 1.2, quizás el sistema de construcción flexible no promulgue como un sistema abierto puro en tanto en cuanto, no se produce una libertad infinita en el proceso productivo, pero sí establece una libertad acotada o condicionada a una serie de factores dimensionales, volumétricos y, en base a la construcción, con unos patrones o reglas establecidos, condicionado a no variar la modulación establecida y la correspondencia con las distintas disposiciones de los sistemas independientes que lo integran, configurando el “todo” del sistema de construcción flexible, a favor de esto el sistema quizás alcance la categoría de abierto no de manera infinita, pero sí condicionada, desde dos vertientes o partes:

1. Parte física o interna: Eliminación de muros de carga por estructura independiente y portante, abriendo la planta libre hacia el exterior de modo que genera flexibilidad. El propio sistema se diseñó para el montaje y desmontaje, y la intercambiabilidad de sus elementos.
2. Parte externa: Compatibilidad con distintas marcas comerciales, siempre y cuando se establezcan pautas acotadas por el sistema de construcción flexible y en base a las cuales se cree un auténtico sistema constructivo industrializado. (Salas, J. 2008)

El hecho de ser un sistema abierto no contempla la obligatoriedad de la flexibilidad del sistema, este es un gran inconveniente del término, si bien su compatibilidad no garantiza una correcta flexibilidad e integración real con el todo, eso se logra en base a la fijación de antemano de un sistema puro y concreto, que si bien se puede exteriorizar también se debe acotar. Libertad acotada

Desde la parte interna, la estrategia estructural planteada se basa en la distribución de cargas independientes a los distintos sistemas, que no son más que la división de las partes fundamentales de la edificación, esto hace que cada uno de ellos sea un sistema independiente al “todo”, pero dependiente de él, de manera que provocará una flexibilidad individualizada e industrializable.

La segunda parte, más externa, viene a reivindicar como alcanzará a ser universal a las distintas marcas comerciales, como llegará a ellas sin necesidad de restricciones o imposiciones de elementos especiales u específicos, debido a las numerosas dificultades se podrán establecer unos nexos comunes que deberán preservar las distintas empresas suscritas a este tipo de industrialización y serán:

1. Dimensionales. Coordinación modular y dimensional
2. Sistemas de fijación o unión.
3. Formas volumétricas a crear.

El establecimiento de estos criterios iniciales es un inicio de cara a fijar una metodología más universal, partiendo inicialmente de las formas cúbicas o prismáticas para sus desarrollos, y obteniendo por parte de las empresas una metodología de trabajo, se fijan estos patrones para establecer unas premisas iniciales tal y como se han llevado a cabo en el sistema de construcción flexible a una escala menor, pero en convencimiento con lo anteriormente descrito y bajo unas hipótesis de actuación claras, en fin de obtener o desarrollar un sistema lo más abierto posible. Generalizando conceptos y en vista a las posibles opciones que la historia de la arquitectura nos ha brindado en el siglo pasado y que seguirán haciéndolo en este venidero.

1.3.1. Referencias arquitectónicas de interés para este trabajo

Se destacan sobre todo dos obras, que si bien no han utilizado un sistema por componentes compatibles (S3C) puro (Reyes, JM. 1985), sí que su espíritu transmite esta esencia de libertad compositiva del sistema de construcción flexible, se tratan de:

1.3.1.1. Espansiva de Jorn Utzon (1969)

Observamos en esta experimentación de Utzon (véase proyecto 2.26) la configuración de un modelo de viviendas aditivo, configurable y “expansivo”, industrializado y flexible, donde por un lado la estructura, los elementos exteriores configurables, y los modelos (4 en total), configuran la idea de viviendas con crecimiento, los elementos finitos se podrán combinar entre sí, acoplándolos a sus diferentes modelos volumétricos y propiciando auténticos núcleos habitacionales, esta variabilidad e intercambiabilidad trae consigo una arquitectura espontánea y mutacional, destacable por la personalización de las viviendas a través de elementos finitos y de reducidas dimensiones, este proyecto contiene y transmite la esencia de lo flexible y adaptativo del sistema de construcción flexible que tratamos.

1.3.1.2. Case Study N°8 de los Eames

En esta segunda obra (véase proyecto 2.17) se observa perfectamente una estructura a base de perfilería de acero estandarizado con un recubrimiento posterior a base de paneles traslucidos u opacos que configura la envolvente de la edificación.

Esta separación entre estructura y cerramiento será la línea de los sistemas independientes y auto funcionales que marca el sistema de construcción flexible, en el cual, cada uno de los sistemas que configurarán el “todo” será independiente al resto, pero en global combinará con sus interrelaciones correspondientes entre cada uno de ellos, la propuesta final. Este proyecto fue uno de los más sencillos en el montaje y más rápidos en su ejecución, lo que ayudó a ser uno de los más destacados del Case Study.

La simbiosis entre estas dos obras muestra un claro ejemplo hacia donde se encamina el sistema de construcción flexible que planteamos en la investigación con sus dos sistemas

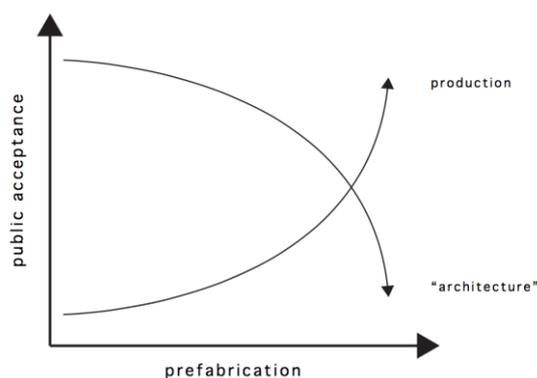


Figura 9. Relación entre la prefabricación con la aceptación por parte de la sociedad
Fuente: Recuperado de un proyecto de: Cordell C. (2011).

independientes, el sistema estructural flexible (SEF) y el sistema de cubierta flexible (SCF), siendo un claro ejemplo de una industrialización por elementos modulados y finitos.

A raíz de la figura 9, hay una creencia que sitúa a las edificaciones industrializadas en la estela de la temporalidad, acaso, ¿tiene algún sentido?, este gráfico anterior muestra la apreciación de la gente de cara al concepto “prefabricación” por asociarlo a algo temporal y de baja calidad, a

sabiendas que está comprobado que las construcciones diseñadas de antemano bajo técnicas prefabricadas o industrializadas aumentan en las calidades, mejoran tiempos y respetan más el medio ambiente, ¿qué razón hay para ser consideradas como temporales?, por ejemplo, hay numerosos ejemplos de edificaciones industrializadas que se construyen para una estancia prolongada, por no decir permanente, porque es aquí la diferencia con la construcción tradicional, que no ofrece la posibilidad de la temporalidad, debido a la escasa o la nula respuesta frente al cambio y la flexibilidad, considerándose como una “arquitectura rígida”, a modo de ejemplo se puede citar cualquiera de las construcciones permanentes de Toyota (véase proyecto 2.30) e Ikea (véase proyecto 2.33), simplemente por ser estas empresas conocidas.

A su vez, si así se requiere, las edificaciones basadas en los conceptos de industrialización de cualquiera de los tres grupos anteriores (véase apartado 1.2) se pueden diseñar de tal manera que ofrecen una temporalidad, por ejemplo, para construcciones basadas en la estacionalidad (playas), a utilizar en lugares de especial cuidado medioambiental (parques naturales) o en edificaciones para dar una rápida respuesta a situaciones de emergencia (desastres naturales).

El sistema de construcción flexible adopta las dos posibilidades dada su ligereza, facilidad de montaje/desmontaje, sistematización, etc., esto se debe a que el sistema de construcción flexible no se diseñó para un tipo determinado de edificaciones o no se introdujo como hipótesis en su diseño inicial ningún aliciente que tuviera en consideración el tiempo de vigencia de la edificación, por lo tanto, el sistema se diseñó en cuanto a características más en la línea de la flexibilidad, y por este motivo la ligereza y adaptación son cualidades de amplio espectro.

Capítulo 2. Estado del arte

2.1. Introducción

El capítulo que iniciamos es la continuación a la introducción inicial donde se expusieron de manera general las ideas, objetivos, alcances, así como la estructuración de la presente Tesis, conviene recordar que la siguiente investigación es un camino más de los muchos que se han iniciado a lo largo de la historia de la industrialización – prefabricación de viviendas y, por tanto, debemos de partir de un estado actual con las experiencias pasadas muy presentes, puesto que gracias a ellas, se puede ir avanzando y perfeccionando las técnicas. Todos en mayor o menor medida contribuimos a crear con nuestras ideas un laboratorio de la vivienda, pasada, actual y venidera, de ahí, que los proyectos que se exponen a continuación permiten mostrar la evolución hasta nuestros días.

En una sociedad tecnológicamente avanzada como es la actual, resulta interesante y enriquecedor preguntarse, ¿por qué no puede crearse un proceso industrial que genere unas edificaciones de calidad, sostenibles y adaptables a las necesidades de las personas?, a pesar de que la pregunta parece muy actual, el concepto, en menor o mayor medida ya ha sido estudiado en determinados periodos de la historia y lleva desde finales del siglo XIX siendo motivo de desarrollo e investigación, la mejora en sus procesos de fabricación, en los rendimientos de producción, en el aumento de la calidad y sostenibilidad, y en su facilidad de montaje, en definitiva, esa inquietud por la vivienda asequible ha suscitado un enorme interés desde tiempos tempranos y, por lo tanto, realizaremos un recorrido por la historia para mostrar de manera resumida esa evolución y preocupación por la este tipo de viviendas.

Los trabajos seleccionados pretenden seguir una evolución a lo largo de los años, no pretenden estar catalogados por bloques o temáticas sobre distintas técnicas a utilizar, sino mas bien están expuestos cronológicamente a como han sido creados en el transcurso de la historia. ¿Y por que hemos optado por exponerlos así?, pues bien, aunque es cierto que se observan unas líneas generales o vertientes, muchas técnicas se solapan entre sí o se combinan siendo difícil establecer distinciones, pero se observan al principio de los proyectos iniciativas motivadas, en su momento, por la expansión o conquista de territorios donde se desarrollaron métodos constructivos ligeros, por piezas que se transportaban a otros países, continuando en el devenir de los años la búsqueda por una vivienda única, a la que se aplicaron las técnicas de construcción en serie para cada uno de sus elementos y así, reducir los costes globales y aumentar la rapidez de ejecución. En la mayoría de los casos, la mano de obra era muy elevada, subsanable por su reducido coste.

Una vez que las técnicas mejoran se plantearon proyectos con la misma filosofía, pero con una mayor variabilidad arquitectónica, aprovechando distintos elementos para diseños diferentes. Estas técnicas podían ser ligeras o pesadas, siendo las pesadas las que se impondrían inicialmente tanto bajo sistemas in situ de módulos 3d como elementos prefabricados pesados de hormigón. Así se llegaron a proyectos con una tendencia ligera, donde priman la variabilidad arquitectónica y la flexibilidad estructural, ya sean bajo técnicas computerizadas o en la línea de los componentes compatibles.

2.2 Casas Coloniales Transportables. 1833-1840

(Inglaterra. John Manning)

Las primeras viviendas surgen de la expansión a la que se vio encaminado el Imperio Británico en 1830 (Kronenburg, R. 2014) en sus territorios, como consecuencia de estos asentamientos, que debían de establecerse de forma rápida e inmediata, generaron un tipo de edificación, mediante elementos fabricados en Inglaterra y transportados a los nuevos territorios (figura 10). A destacar sería esa necesidad de “expansión” y de transporte, (véase apartado 1.2.4), relacionado con la volumetría y ligereza de las partes, lo que condicionado a llegar “mas lejos” provoca una reducción de las dimensiones, incluso los conceptos de estandarización y variabilidad compositiva ya estaban presentes. La evolución posterior de los tipos de viviendas estaba más encaminada, ya no tanto hacia la utilización de madera, sino de acero.

En estas viviendas se aprecia un concepto muy importante como es la capacidad de desmontaje. Parece impensable como una vivienda del año 1850 cumpla ya desde el principio un alto grado de las necesidades constructivas de las viviendas actuales. (figura 11)

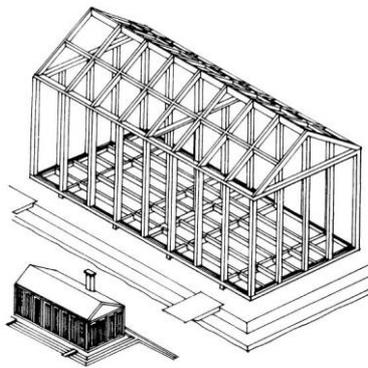


Figura 10. Estructura de madera
Fuente: Imagen recuperada



Figura 11. Vivienda en la actualidad
Fuente: Imagen recuperada

2.3 Balloon Frame. 1833-Actualidad

(EEUU. Augustine Taylor)

El balloon frame es tipo de construcción de madera característico de los Estados Unidos (Davies, C. 2005) (figura 12), consistente en la sustitución de las tradicionales vigas y pilares de madera por una estructura de listones más finos y numerosos (figura 13) que son más manejables y pueden clavarse entre sí. Es una construcción on site con una alta optimización de recursos, estableciéndose una modulación entre los listones de madera de aproximadamente 40cm, siendo interesante destacar la evolución hacia el platform frame (figura 14 y 15) donde se utilizarán los montantes de manera discontinua, y la construcción se realizará por plantas, derivando este sistema hacia la utilización del acero conformado en frío, llamado Steel frame (figura 16).



Figura 12. Vivienda de la época
Fuente: Imagen recuperada



Figura 13. Construcción a base de listones de madera
Fuente: Imagen recuperada

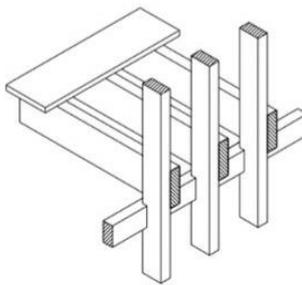


Figura 14. Formación de plantas con listones de una sola pieza
Fuente: Imagen recuperada

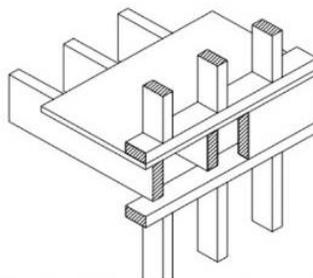


Figura 15. Formación de planta con listones intermedios.
Fuente: Imagen recuperada



Figura 16. Estructura construida mediante steel frame
Fuente: Imagen recuperada

2.4 Casas por Correo y Catálogo. 1908-1940 (EEUU. Sears Roebuck, Aladdin)

Estas viviendas de catálogo “Casas Kit” fueron vendidas por correo en Estados Unidos (figura 17) y, sus materiales eran enviados por ferrocarril al lugar de construcción de las viviendas.



Figura 17. Vivienda de catálogo
Fuente: Imagen recuperada



Figura 18. Vivienda en la actualidad
Fuente: Imagen recuperada

Las viviendas (figura 18) estaban constituidas por una estructura y cerramiento de madera, y utilizaban un 40% (Wadel, G. 2009) menos de mano de obra artesanal que una similar de la época. En 1908 existían 22 modelos (Sears Roebuck) aunque entre sus años de actividad se diseñaron unos 447 modelos diferentes (Bergdoll, B. y Christensen, P. 2008) y se vendieron unas 70.000 a 100.000 unidades, se caracterizaban por un montaje “sencillo” y rápido, donde se destaca una correcta optimización de recursos y una eficiencia en el transporte.

2.5 Proyecto Dom-ino. 1914

(Francia. Le Corbusier)

Le Corbusier pretendía crear un sistema constructivo (Frampton, K. 2000) que se convirtiera en un principio fundamental de construcción, y que pudiese reproducirse hasta convertirse en ciudad. Le Corbusier ideó el sistema aligerando los elementos portantes, sustituyendo los muros de carga por elementos estructurales de cargas concentradas (pilares) (figura 19), liberando así las plantas y dotándolas de flexibilidad.

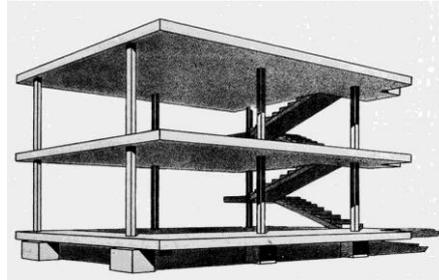


Figura 19. Sistema Dom-ino
Fuente: Imagen recuperada

El concepto destaca porque ejemplifica el significado de la flexibilidad al concentrar las cargas en una estructura independiente, sin necesidad de distribuirlo en un muro que condiciona la capacidad de abrir huecos y por tanto, limita el crecimiento.

2.6 American System Built Houses. 1911-1917

(EEUU. Frank Lloyd Wright)

Las American System Houses (Helfrich, K. y Whitaker, W. 2006) (figura 20 y 21) eran modestas casas diseñadas por el arquitecto Frank Lloyd Wright para cumplir con su interés por la vivienda asequible. Wright diseñó un sistema donde distintas partes del edificio se realizaban de manera industrializada y, donde éstas valdrían para diferentes configuraciones y posibilidades. Destaca su estructura de madera estandarizada, su fabricación off-Site, sus plantas modulares cuadradas y rectangulares, de dimensiones de 2 pies ó 61cm (medidas heredadas de la construcción japonesa), y su cimentación a base de bloques prefabricados.



Figura 20. Vivienda en la actualidad
Fuente: Imagen recuperada

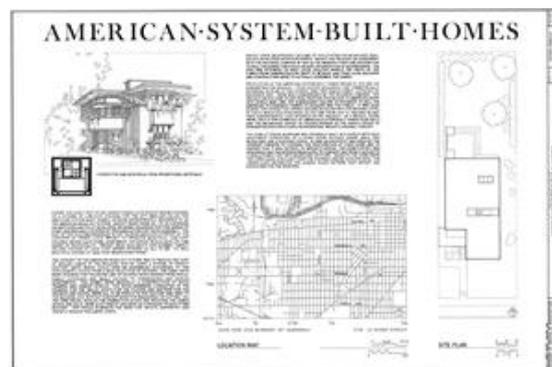


Figura 21. Plano de vivienda
Fuente: Imagen recuperada

2.7 Baukasten. 1922-1923

(Alemania. Walter Gropius y Adolf Meyer)

El sistema Baukasten (Bergdoll, B. y Christensen, P. 2008) fue ideado por Walter Gropius y Adolf Meyer, a través del cual con una serie de modelos prefabricados se conseguiría infinidad de combinaciones (figura 22). Un “juego de niños” según Gropius. El sistema no se desarrolló más que en unas maquetas (figura 23).

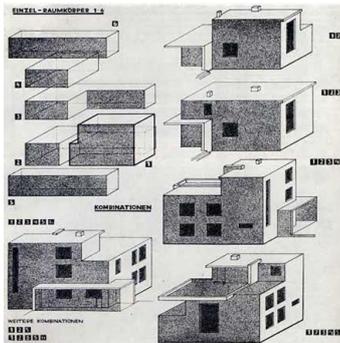


Figura 22. Posibles combinaciones
Fuente: Imagen recuperada



Figura 23. Maquetas con las variaciones arquitectónicas
Fuente: Imagen recuperada

2.8 Casa de Acero. 1926-1927

(Alemania. G. Muehe y R. Paulick)

Es un prototipo de vivienda prefabricada (figura 25) construida en acero y promovido por W. Gropius y la Bauhaus. Se pretendía desarrollar un modelo de vivienda que pudiera ir creciendo a la vez que fuera aumentando el tamaño de la familia (figura 24). A destacar sería su elevada prefabricación, la utilización de perfiles de acero en “L” y “T” (Jackson, N 1996)), la utilización de un módulo de 1,5m, el cerramiento compuesto de planchas metálicas con aislamiento y cámara de aire de 60mm, y la cubierta de plana de doble tablero.

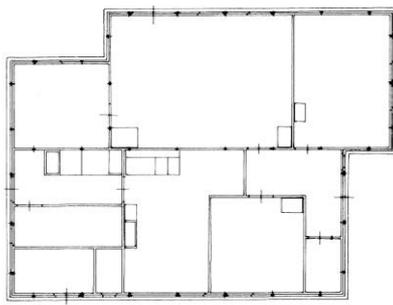


Figura 24. Planta de la vivienda
Fuente: Imagen recuperada



Figura 25. Vivienda en la actualidad
Fuente: Imagen recuperada

2.9 Proyecto Weissenhof. 1927

En Stuttgart en 1927 se realizó un proyecto (Norberg, C. 2005) (figura 26) liderado por Mies van der Rohe cuya iniciativa consistía en reflexionar sobre el problema de la vivienda y contribuir a dar solución a la escasez de ésta, “Políticas de Postguerra”. Los principios adoptados serían la flexibilidad, racionalización, tipificación, economía y calidad en la construcción de viviendas, y en cuanto a los condicionantes en el diseño de estas, habría una libertad total, únicamente la cubierta debería de ser plana.



Figura 26. Vista general de Weissenhof
Fuente: Imagen recuperada

A este proyecto se invitaron a los más renombrados arquitectos modernos de Europa, tal y como se aprecia en la figura siguiente, donde se muestra un plano de la localización de las viviendas y los arquitectos (figura 27) que contribuyeron al proyecto.

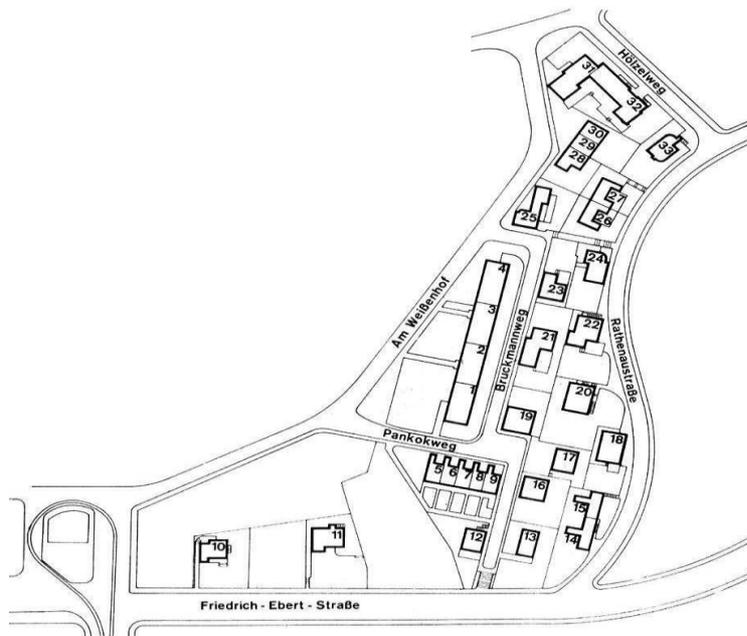


Figura 27. Plano general de Weissenhof
Fuente: Imagen recuperada

Tabla 1. Viviendas y arquitectos. Proyecto Weissenhof

Proyecto Weissenhof	
Nº vivienda	Arquitecto
1 - 4	Ludwing Mies van der Rohe
5 - 9	J. J. P. Oud
10	Victor Bourgeois
11 - 12	Adolf G. Schneck
13 - 15	L.C. y Pierre Jeanneret
16 - 17	Walter Gropius
18	Ludwig Hilberseimer
19	Bruno Taut
20	Hans Poelzig
21 - 22	Richard Döcker
23 - 24	Max Taut
25	Adolf Rading
26 - 27	Josef Frank
28 - 30	Mart Stam
31 - 32	Peter Behrens
33	Hans Scharoun

Fuente: Elaboración propia

De esta urbanización experimental (Giedion, S. 2009) destacaríamos la número 13 de Le Corbusier y la número 17 de Walter Gropius que exponemos a continuación.

2.9.1 Weissenhof N°13 – Citröhan. 1927

(Stuttgart. Le Corbusier)

En la colonia Weissenhoff se le dio la oportunidad a Le Corbusier de poder construir la quinta versión de la Citröhan (Gans, D. 1987) (figura 28), demostrando una vez más, la inquietud por la creación de las casas en serie, "la maquina de habitar", y su interés por la industrialización y la estandarización, en esta versión se muestra los cinco puntos de su arquitectura: los pilotis, el techo jardín, la ventana alargada, la planta libre y la fachada libre.



Figura 28. Vivienda nº13. Le Corbusier

Fuente: Imagen recuperada

2.9.2 Weissenhof N°17.1927

(Stuttgart. Walter Gropius)

La vivienda fue diseñada por W. Gropius (Joedicke, J. 1989) (figura 30) al estilo de la Bauhaus, construida de manera totalmente prefabricada y en seco, intentaba buscar la racionalización en la vivienda unifamiliar y la utilización de materiales modernos.

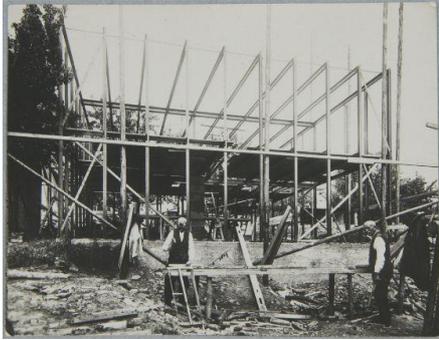


Figura 29. Estructura modularizada de acero
Fuente: Imagen recuperada



Figura 30. Vista exterior de la vivienda
Fuente: Imagen recuperada

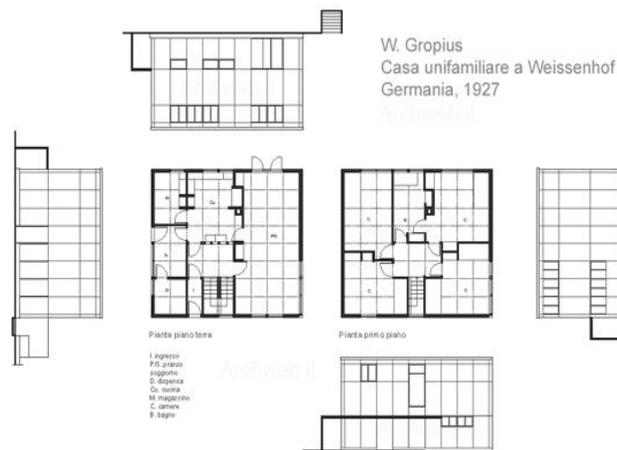


Figura 31. Planta modularizada
Fuente: Imagen recuperada

La vivienda N°17 contenía una estructura de perfiles de acero “Z” y vigas “L” (figura 29), todo ello con una modulización de 1,06m (figura 31), ajustando las puertas y ventanas a estas dimensiones. Destacable es la utilización de corcho y cámara de aire para el aislamiento, estando los paneles del cerramiento constituidos a base de fibrocemento.

2.10 Dymaxion. 1927

(EEUU. Buckminster Fuller)

La Casa Dymaxion (Knaack, U. 2012) fue una vivienda futurista desarrollada por el arquitecto y filósofo práctico Buckminster R. Fuller, deseaba construir una vivienda autónoma, unifamiliar y sostenible, el diseño de la Dymaxion contribuyó a la innovación en el campo de la prefabricación y la sostenibilidad. La vivienda de planta hexagonal (figura 32 y 33) cubría una superficie de 100m², estando sustentada por cables trabajando a tracción, lo que contribuía a la disminución en el empleo de acero, los servicios se encuentran en la zona central generando así una flexibilidad interior. Es destacable el desarrollo del baño para la época de la vivienda,

posteriormente este se patentaría (figura 34) . La casa Dymaxion evolucionaría hacia la casa Wichita de 1944.

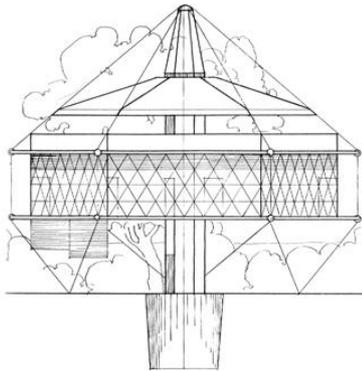


Figura 32. Vista de vivienda
Fuente: Fuente: Imagen recuperada

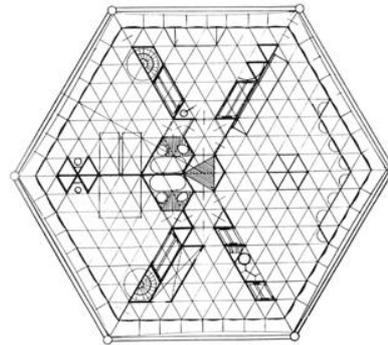


Figura 33. Planta de vivienda
Fuente: Imagen recuperada

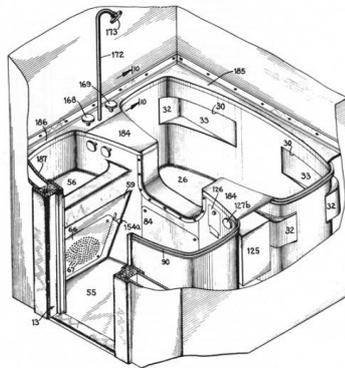


Figura 34. Baño Dymaxión
Fuente: Imagen recuperada

2.11 Casa Wichita. 1944-1946 (EEUU. Buckminster Fuller)

En 1944 Fuller diseña la Casa Wichita, que es una versión más sofisticada del proyecto Dymaxion. La envolvente era de forma cilíndrica compuesta de aluminio con un diámetro de 12m, se encontraba elevada del suelo y con la resistencia suficiente para soportar el peso de 120 personas. La estructura modular de la fachada estaría suspendida de un único mástil central, por cables tensores y 3 anillos de compresión. (figura 35)

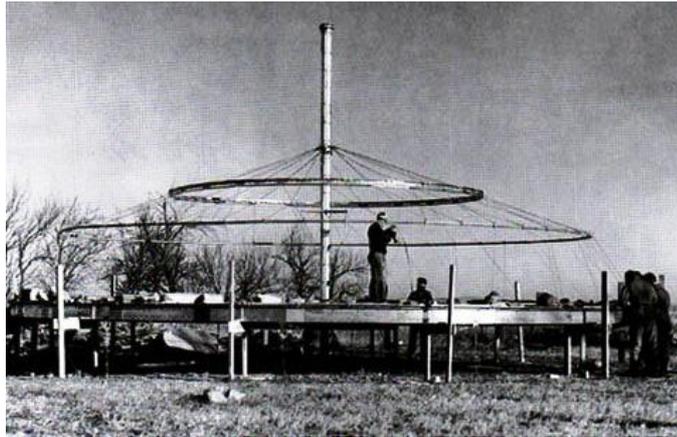


Figura 35. Estructura formada a base de anillos
Fuente: Imagen recuperada

Las características más destacables serían el posicionamiento una vez más de las instalaciones en la parte central (figura 37), y el aprovechamiento del agua de lluvia, la preocupación por las corrientes de aire (figura 36), el confort y la aerodinámica (efecto cúpula). Cabe citar también el baño Dymaxion (patentado) compuesto por materiales plásticos y fibras de vidrio, donde sus encuentros estaban redondeados para una mejor limpieza. Esta vivienda se diseñó en vista de una producción en serie.

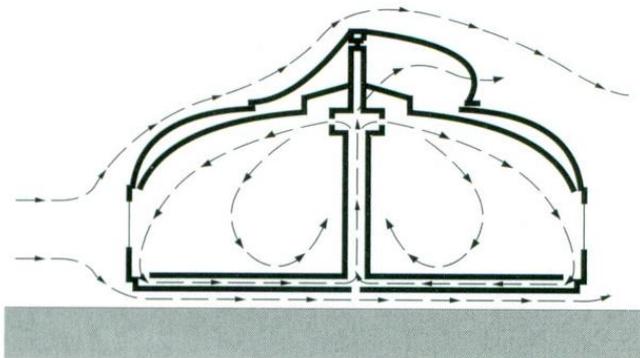


Figura 36. Estudio de corrientes de aire
Fuente: Imagen recuperada



Figura 37. Distribución interior
Fuente: Imagen recuperada

2.12 Quonset Hut. 1941 (EEUU)

Los Quonset Hut (Decker, J. 2005) (figura 38) fue una estructura ligera prefabricada de sección transversal semicircular construida en acero y desarrollada por los EEUU para la 2ª Guerra Mundial. Su uso era múltiple, transportable a cualquier lugar motivado por elementos de reducidas dimensiones, y montado por mano de obra no cualificada. Las características más destacables serían la rapidez de ejecución, economía, ligereza y facilidad de transporte (figura 39, 40 y 41).



Figura 38. Vista general del asentamiento Quonset Hut

Fuente: Imagen recuperada



Figura 39. Montaje estructural



Figura 40. Montaje paneles interiores



Figura 41. Montaje del aislamiento con paneles exteriores

Fuente: Imágenes recuperadas

2.13 Package House. 1941-1952

(EEUU. W. Gropius y K. Wachsmann)

Es un sistema constructivo diseñado por y K. Wachsmann y W. Gropius (Knaack, U. 2012), a base de paneles estándar, manejables y de fácil montaje, que permiten ir construyendo diferentes módulos en función de las necesidades de cada familia.



Figura 42. Vivienda vista exterior

Fuente: Imagen recuperada

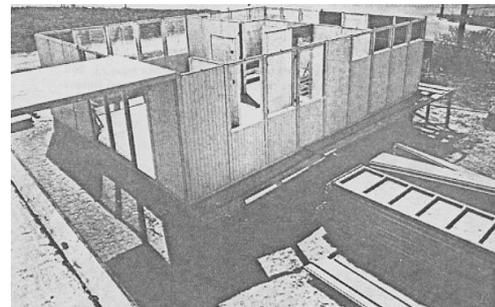


Figura 43. Montaje de paneles

Fuente: Imagen recuperada

La vivienda (figura 42) está compuesta por paneles de madera (figura 43) con una alta prefabricación, con unas dimensiones de modulación de 40 pulgadas (101cm) x 4 pulgadas (10cm) y sus múltiplos, las paredes, suelos y techos se ensamblan con una pieza de conexión única (figura 44 y 45). Este sistema aporta un alto grado de movilidad y facilidad de transporte

por ser sus elementos planos, con un alto índice de adaptación a diferentes climas, y una elevada flexibilidad en la creación de diferentes espacios. El sistema fracasó por problemas técnicos de modulación (Herbert, G. 1984) y políticos (periodo de entreguerras).

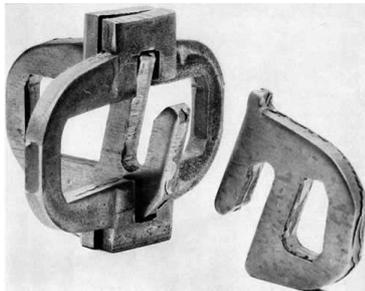


Figura 44. Conexión
Fuente: Imagen recuperada

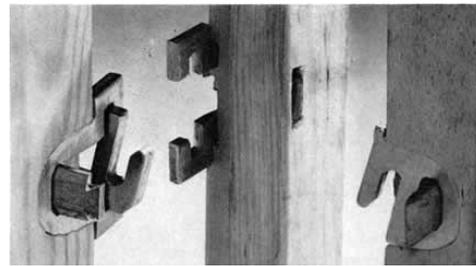


Figura 45. Conexión enganche
Fuente: Imagen recuperada

2.14 Yankee Portables. 1942 (EEUU. Marcel Breurer)

Marcel Breurer basándose en las líneas de producción de Henry Ford, diseña un sistema de construcción prefabricado (Bergdoll, B. y Christensen, P. 2008) que apoyado mínimamente en el suelo es de fácil montaje, ligero, ampliable y desmontable.

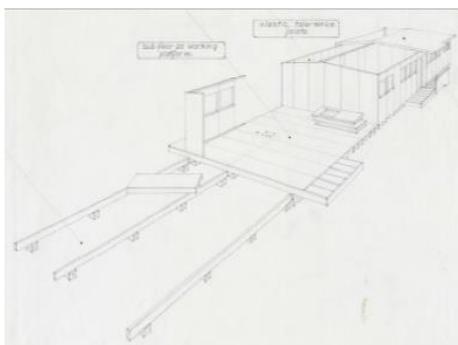


Figura 46. Perspectiva del sistema
Fuente: Imagen recuperada

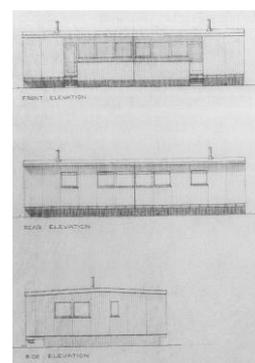


Figura 47. Alzados del sistema
Fuente: Imagen recuperada

La estructura se compone a base de paneles prefabricados portantes (figura 46 y 47) de fácil montaje, con los cuales se conformarán las viviendas de una sola planta, independientes o adosadas, existían 3 versiones de 1, 2 ó 3 habitaciones (figura 48). El fracaso llegó por un desinterés de la agencia estatal de la vivienda de EEUU, y el proyecto acabó únicamente en

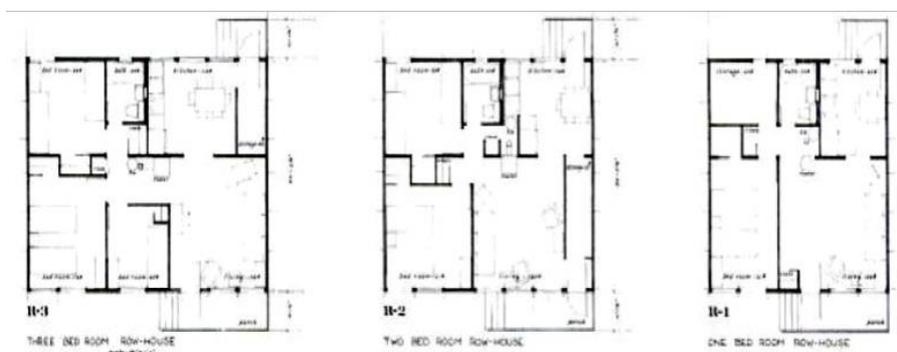


Figura 48. Plantas del sistema
Fuente: Imágenes recuperadas

bocetos.

2.15 Levitt Homes. 1947

(EEUU. Levitt & Sons)

Las Levitt Homes fueron unas viviendas construidas en el periodo de postguerra en EEUU (figura 49), desarrolladas en base a métodos de producción industriales con un elevado porcentaje de mano de obra, llegaron a crear auténticos núcleos urbanos (Wagner, R. y Duckett, A. 2010) (figura 50), se construyeron aproximadamente unas 180.000 unidades (30 unidades/día) destinadas a la clase media Norteamérica de los años 50.



Figura 49. Vista exterior del modelo Levitt
Fuente: Imagen recuperada



Figura 50. Barrios Levittown
Fuente: Imagen recuperada

La estructura estaba constituida de madera (figura 51 y 52) con una fabricación off-site y montaje on-site, siendo la mano de obra poco cualificada. Su precio estaría entorno a los 10.000\$, con una superficie construida aproximada de 75m². Los procesos industriales constaban de 27 operaciones y estaban basados en la experiencia de Levitt en “los Seabees” de la 2ª Guerra Mundial. En 1968 en Francia se realizó el primer proyecto Levitt & Sons en Europa.



Figura 51. Acopio de elementos
Fuente: Imagen recuperada



Figura 52. Etapa de construcción
Fuente: Imagen recuperada

2.16 Sistema Clasp. 1946-1970

(Inglaterra. Autoridades Locales Inglesas)

Es un sistema constructivo (Blanc, A., McEvoy, M. y Plank, R. 1993) de diseño y montaje de edificios prefabricados, para uso en el sector público en Inglaterra, es la evolución de otro sistema anterior SCAPE (1946-50). La estructura es de acero ligero y de fácil montaje, flexible y ampliable, y se basaba en una construcción en seco, destacando la rapidez, economía y la calidad del sistema (figura 53), su uso en principio fue destinado a escuelas, llegando incluso a

la realización de edificios públicos y hasta viviendas (McEvoy, M. 1994) (figura 54).

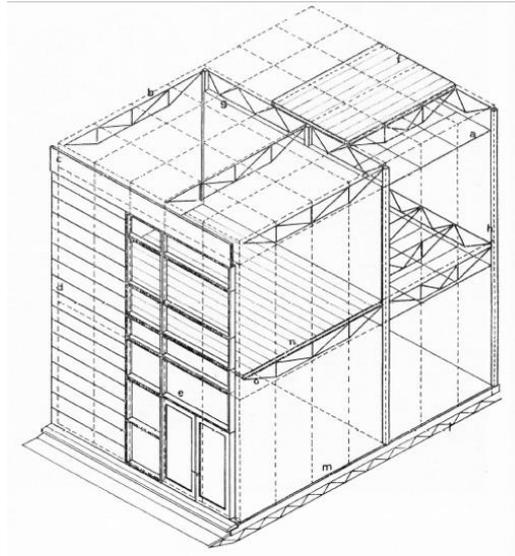


Figura 53. Estructura CLASP

Fuente: Imagen recuperada del libro Oliveri M. (1972)

El sistema estaba basado en una coordinación modular por componentes compatibles (figura 55), siendo la antesala al S3c (Sistema de construcción por componentes compatibles), de esta manera se racionalizaba, estandarizaba y optimizaban el uso de materiales y tiempos.



Figura 54. Diferentes edificios realizados mediante el sistema CLASP

Fuente: Imágenes recuperadas

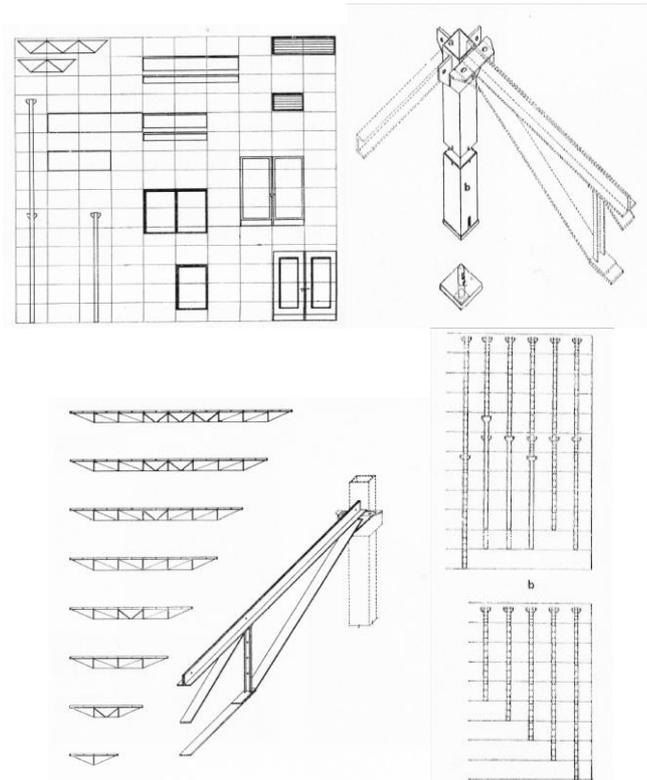


Figura 55. Diferentes elementos compatibles del Sistema CLASP
 Fuente: Imágenes recuperadas del libro Oliveri M. (1972)

2.17 Eames House. 1949

(EEUU. Charles Eames y Eero Saarinen)

Vivienda promovida por la revista americana Arts & Architecture en el denominado Case Study Houses (Steele, J. 2002), siendo un ejemplo de vivienda modular de fácil fabricación y montaje por S3c (componentes compatibles industrializados) (Jackson, N. 1996).



Figura 56. Vista exterior
 Fuente: Imagen recuperada



Figura 57. Vista interior
 Fuente: Imagen recuperada

Los cerramientos estarían constituidos por chapa corrugada, paneles de ferrocemento y carpinterías de ventanas y puertas de aluminio. El exterior de la vivienda (figura 56) está formado por paneles transparentes de vidrio o translúcidos de fibra de vidrio. La estructura se componía de componentes industrializados de catalogo de acero (figura 57 y 58),

aproximadamente el costo se estima en $1\$/m^2$ (acero), en vez de los $12\$/m^2$ que costaría una construcción similar en madera. El montaje de la estructura se estimaba en unos 90 días.



Figura 58. Vista de la estructura de acero

Fuente: Imagen recuperada

2.18 Eichler Homes. 1950

(EEUU. Joseph Eichler)

Eicher Homes (Adanson, P. y Arbunich, M. 2002) (figura 59) diseñó una serie de casas prefabricadas compuestas por pórticos de madera y cerramientos de paneles ligeros, consiguieron que se construyeran más de 10.000 viviendas por el entorno Californiano de la época, su valor rondaría los 12.000\$ y su montaje se estimaba en 15 días. Estas viviendas introducían un diseño americano sofisticado para las clases medias con adaptaciones y ampliaciones a la vivienda, muy en la línea de las viviendas Levitt (figura 49) y Case Study Houses (figura 56).



Figura 59. Vista general de la Eichler Home

Fuente: Imagen recuperada

La estructura era de madera y/o acero con dobles paneles contrachapados y núcleo interior de aislamiento de fibra de vidrio, destacando además sus vigas prominentes (figura 61), aberturas acristaladas, patios interiores (figura 60), pavimentos de hormigón a modo de “Tatami Japonés” y sus cubiertas características con la forma a dos aguas.



Figura 60. Patios interiores
Fuente: Imagen recuperada



Figura 61. Estructura de vigas prominentes
Fuente: Imagen recuperada

2.19 Casas Lustron. 1948-1950 (EEUU. Compañía Lustron)

Las Casas Lustron (Fetters, T. 2002) (figura 62) serían unas viviendas de postguerra de las que se llegaron a construir unas 2.500 unidades, estaban completamente realizadas en acero, y destacaban por poseer un mantenimiento mínimo y un alto grado de durabilidad. Sus características principales serían los cerramientos de chapa de acero vitrificado con ruptura de puentes térmicos, ventanas con perfiles de aluminio, suelo radiante y los paneles sanitarios con las instalaciones incluidas.



Figura 62. Vista general de la Westchester
Fuente: Imagen recuperada

Existían 2 modelos con 2 ó 3 habitaciones (100m²) y con un alto nivel de prefabricación (figura 63, 64 y 65), las viviendas poseían un alto racionamiento de recursos y garantizaban un montaje en 8 días, con un precio estimado en 10.500\$ pretendían competir con las “Levitt”. Su lema ***“Deja la sierra y el martillo, y coge la llave inglesa”***



Figura 63. Elementos transportados en camión
Fuente: Imagen recuperada



Figura 64. Montaje de elementos
Fuente: Imagen recuperada

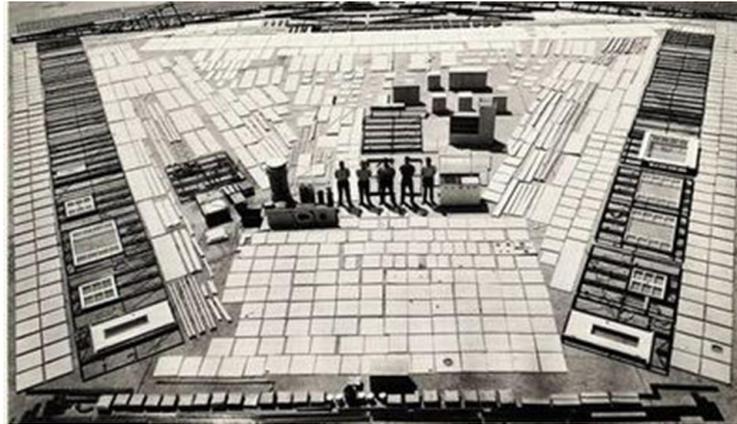


Figura 65. Elementos de la vivienda (Kit de 30.000 unidades)
Fuente: Imagen recuperada

2.20 Maison Tropicale. 1949-1951

(Francia. Jean Prouvé)

Jean Prouvé (Francois, J. 1990) diseñó y fabricó tres prototipos de Maison Tropicale para las colonias francesas en África Occidental (figura 66), consistían en viviendas de fácil montaje y desmontaje conforme a elementos livianos, ninguno pesaría más de 100kg, ni sería de más de 4m de largo, facilitando su transporte por avión.



Figura 66. Vista general de la Maison Tropicale
Fuente: Imagen recuperada

La estructura sería porticada, de acero, con un bastidor articulado en “U” invertida (figura 67) sobre la que se apoya la cubierta, el resto de la estructura es soportado por los paneles del cerramiento compuesto de chapa de aluminio plegado y acero.



Figura 67. Bastidor en "U"
Fuente: Imagen recuperada

En las viviendas se diseñaron una serie de sistemas de protección climática como eran las lamas exteriores para la radiación solar (figura 69), separación de la casa del suelo (figura 68) y una doble piel exterior para generar corrientes ventilación. En cuanto a las dimensiones empleó una modulación de malla 1m x 1m, siendo su núcleo habitable de dimensiones 6x12m más una galería exterior de 1,5m de ancho.



Figura 68. Sección de la Maison Tropicale
Fuente: Imagen recuperada



Figura 69. Detalles de elementos exteriores
Fuente: Imagen recuperada

2.21 Casas Meudon. 1950-1952 (Francia. Jean Prouve)

Viviendas diseñadas por Jean Prouve (figura 70) como encargo del Ministerio de la Reconstrucción Francés para ofrecer vivienda a las familias que hubieran sufrido las consecuencias de la guerra, se pretendía construir 1200 alojamientos, aunque sólo 14 llegaron a materializarse en Meudon (Paris).



Figura 70. Vista general de las viviendas Meudon
Fuente: Imagen recuperada

Destaca la construcción off-site (Armesto, L. 2014) diseñada para llevarse a cabo una producción en serie, la flexibilidad del sistema, la estandarización y la modulación empleada de 1x1m, siendo para ello el sistema ligero en contraposición al hormigón armado que era estricto y pesado. Las características de este serían que las uniones estaban soldadas en taller, la carpintería y revestimientos eran de aluminio y los paneles sándwich llevaban incorporado un aislamiento térmico, además el montaje se llevaba a cabo en 3 días como consecuencia del bastidor con forma en “u” invertida tan característico (figura 71).

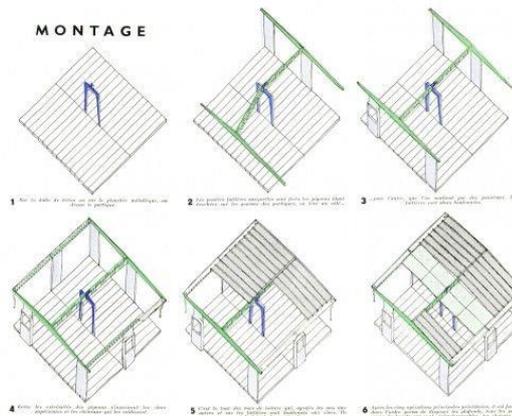


Figura 71. Fases de montaje del bastidor de la vivienda
Fuente: Imagen recuperada

El sistema de construcción se basaba en una investigación de años llevada a cabo también con las Maison Tropicale, reduciendo los procesos constructivos al mínimo y, por tanto, racionalizando la utilización de materiales e incidiendo en una alta eficiencia energética.

2.22 Habitat 67. 1967

(Canadá. Moshe Safdie)

El Habitat 67 fue un complejo de viviendas compuesto por módulos de hormigón para la Expo Mundial de 1967 en Montreal (figura 72), diseñado por Moshe Safdie (Safdie, M. 2009) en un intento por rediseñar la vida urbana, proporcionar vivienda asequible y crear una comunidad completa.



Figura 72. Vista general del Habitat 67

Fuente: Imagen recuperada

El Habitat 67 constaba de 354 módulos autoportantes industrializados on-site (figura 74), siendo su montaje llevado a cabo mediante grúas especiales (figura 73) debido a sus módulos pesados de dimensiones 11,7m x 5,3m x 3m, estos constituirían las 158 viviendas de 1, 2, 3 y 4 habitaciones (60 a 460m²), creando así los 15 modelos diferentes de viviendas. Estas viviendas se componían mediante la agrupación de 1 a 8 módulos (figura 75), estimándose su precio en 140.000\$/vivienda.



Figura 73. Proceso de elevación y colocación

Fuente: Imagen recuperada

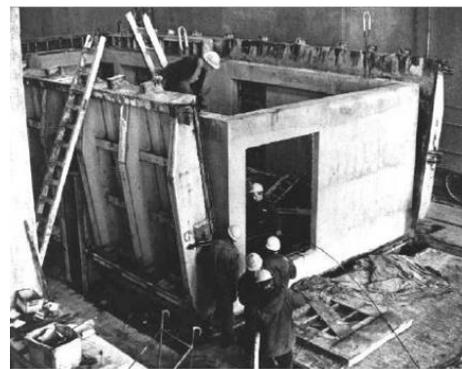


Figura 74. Módulo tipo

Fuente: Imagen recuperada

El Proyecto Habitat 67 fue diseñado con la idea de proporcionar una vivienda sostenible y con la preocupación por la reducción de los costes. Sus características más destacadas serían la orientación de los módulos, que fueron diseñados de manera que 3 de sus lados tuvieran vistas externas y fachadas orientadas de este a oeste para dotarlas de la entrada del sol en invierno, ventilación cruzada debido a la disposición de ventanas en fachadas enfrentadas, ventanas dobles para la mejora del aislamiento térmico, calentadores de agua en todos los módulos, aguas sucias recolectadas y tratadas, recogida de las aguas pluviales, terrazas verdes (figura 76), utilización de materiales duraderos (hormigón), producción en serie para reducir costes, y sobretodo el concepto de construcción en base a módulos 3D (figura 77).

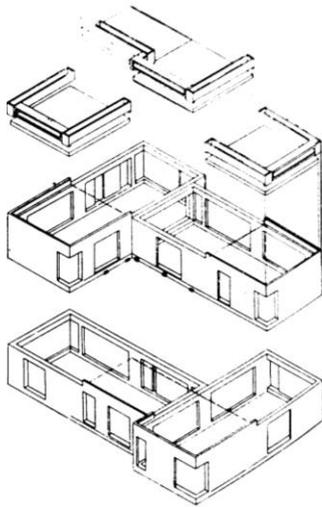


Figura 75. Formación de plantas
Fuente: Imagen recuperada



Figura 76. Terrazas de viviendas
Fuente: Imagen recuperada

El proyecto cuya idea inicial perseguía la sostenibilidad quedó en entredicho debido finalmente al alto coste de ejecución, el presupuesto ascendió a los 21 millones de dólares, que contrarrestaba con esta idea.



Figura 77. Vista general del conjunto del Habitat 67
Fuente: Imagen recuperada

2.23 Torre de Capsulas Nakagin.1968-1972

(Japón. Kisho Kurokawa)

La Torre Nakagin (Knaack, U. 2012) fue diseñada por Kisho Kurokawa dentro del Movimiento Metabolista, a través del cual, las ciudades del futuro estarían compuestas por estructuras “vivas” capaces de evolucionar y adaptarse a las necesidades cambiantes de la ciudad y de sus ocupantes (figura 78).



Figura 78. Vista general
Fuente: Imagen recuperada



Figura 79. Emplazamiento
Fuente: Imagen recuperada

Las características destacables del proyecto girarán en torno a una megaestructura de núcleo rígido compuesta de hormigón armado donde se ubicarían las escaleras, ascensores e instalaciones, fijadas a esta estructura se encuentran las cápsulas de dimensiones 2,3x3,8x2,1m (figura 80) formadas con paneles livianos de acero (figura 81), fabricados off-site y colocados en in-situ, cada una de ellas estaría fijada por 4 puntos y se preveía su reemplazo aproximadamente cada 25 años.

El edificio constaría de 144 cápsulas distribuidas en 14 plantas, equipadas con cocina, tv, nevera, equipo de sonido integrado y baños similares a los de los aviones (figura 82).

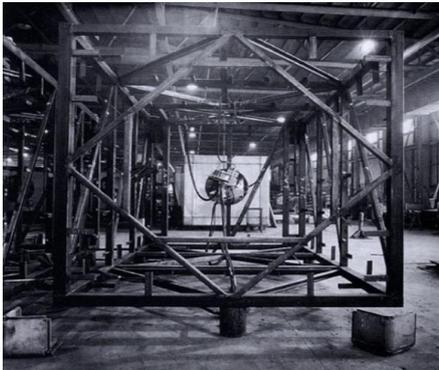


Figura 80. Estructura de acero
Fuente: Imagen recuperada

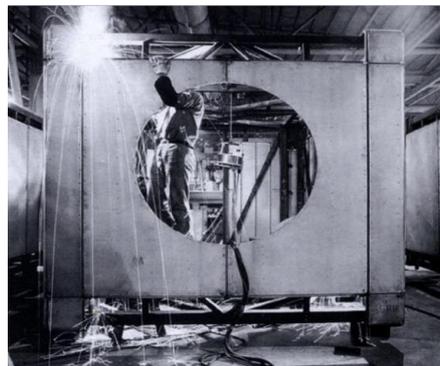


Figura 81. Colocación de paneles
Fuente: Imagen recuperada

Actualmente, la falta de mantenimiento y el mal diseño de la fase del desmontaje de las cápsulas son los dos grandes problemas que presenta el edificio, a parte, de los intereses económicos por la situación de la parcela en el centro de Tokio (figura 79) hacen que se contemple la posibilidad de una demolición de este emblema del movimiento metabolista japonés.



Figura 82. Interior de las capsulas
Fuente: Imagen recuperada

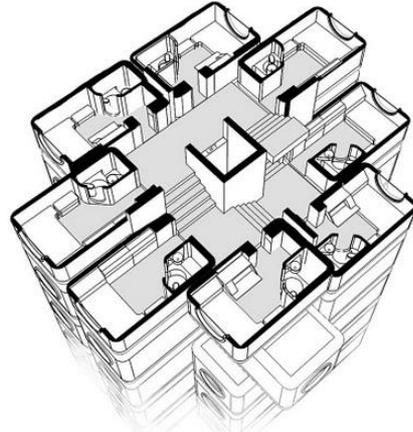


Figura 83. Distribución de plantas
Fuente: Imagen recuperada

2.24 Edificio Experimental SIRH. 1970

(Francia. Claude Prouve)

El edificio del SIRH (figura 84) era una equivalencia en Francia al Metabolismo Japonés, investigaba en aras de construir unidades prefabricadas (figura 86) que se ensamblarían entre sí, llegando a proporcionar configuraciones casi ilimitadas e intentando proporcionar viviendas asequibles.



Figura 84. Edificio SIRH
Fuente: Imagen recuperada



Figura 85. Interiores de módulos
Fuente: Imagen recuperada

Destaca la iniciativa por el desarrollo del concepto de flexibilidad, a través de una producción industrializada off-site, compuesta a base de una estructura metálica a la que se le adosarían los distintos paneles exteriores (figura 85 y 87), esta producción de módulos 3D conlleva un control económico, de tiempos y de materiales.



Figura 86. Transporte del módulo
Fuente: Imagen recuperada



Figura 87. Módulos abandonados
Fuente: Imagen recuperada

2.25 Kubeflex. 1969-1970

(Dinamarca. Arne Jacobsen)

Las viviendas Kubeflex (Sousa, P. 2013) es un prototipo de viviendas prefabricadas para “casa de verano” compuesta por un sistema de módulos acoplables y configurables (figura 88) según las necesidades del usuario, creando de esta manera una arquitectura flexible y económica.



Figura 88. Vista general de módulos Kubeflex
Fuente: Imagen recuperada

Las unidades modulares de dimensiones 3,36 x 3,36m se pueden agrupar en las 3 direcciones, destacando así la estructura de madera laminada con 7 variantes en los paneles de cerramiento (figura 90), de dimensiones 0,90 x 2,00m, respetando, por tanto, la modulación del conjunto de 0,90 x 0,90m (figura 89 y 90). El montaje de las unidades modulares se estimaba en 8 días.

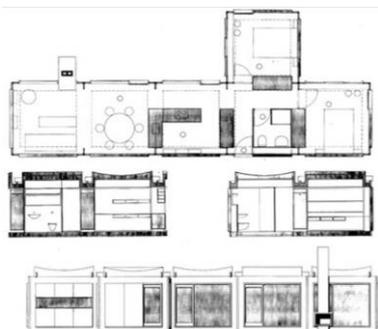


Figura 89. Planta de módulos Kubeflex
Fuente: Imagen recuperada



Figura 90. Distintas configuraciones de paneles
Fuente: Imagen recuperada

2.26 Sistema Espansiva. 1969

(Dinamarca. Jorn Utzon)

Es un sistema modular (Utzon, J. 2009), estandarizado, económico y flexible desarrollado por Jorn Utzon para viviendas de una sola planta, se compone de 4 módulos estándar configurables según las necesidades de cada familia (figura 91). Los módulos de dimensiones que rondarían los 3,0x2,0x3,0 ó 5,0m, según el tipo, se configuraban en base a una estructura de madera laminada

(figura 93 y 94) cuyas cargas se transmitían a 2 vigas hormigón prefabricado. La cubierta era estándar de 17,5° de inclinación y los cerramientos estaban compuestos por paneles exteriores prefabricados de vidrio, madera u hormigón con cierta intercambiabilidad entre ellos (figura 92). La modulación general se realizaba bajo un módulo básico de 120mm.

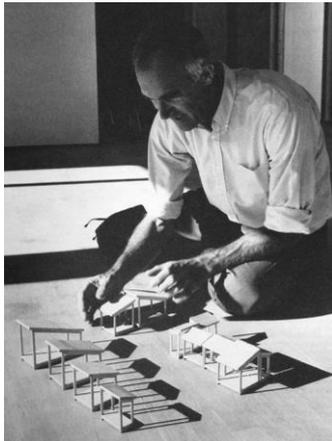


Figura 91. Módulos Espansiva
Fuente: Imagen recuperada

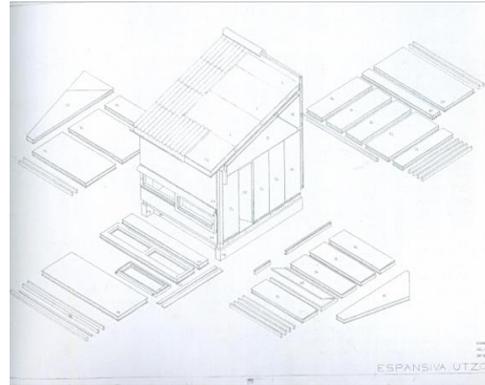


Figura 92. Elementos del sistema
Fuente: Imagen recuperada

Destaca la flexibilidad del sistema (figura 95) debido a las múltiples opciones de configuración, y los procesos de industrialización de sus elementos.



Figura 93. Interior de las viviendas
Fuente: Imagen recuperada



Figura 94. Interior de las viviendas
Fuente: Imagen recuperada

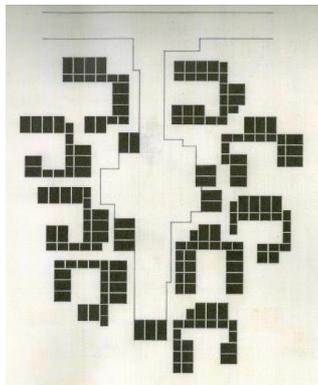


Figura 95. Configuración flexible del Sistema
Fuente: Imagen recuperada

2.27 Moduli 255. 1969-1971

(Finlandia, K. Gullichsen y J. Pallasmaa)

El proyecto Moduli 255 (figura 96) se planteó para industrializar las viviendas de vacaciones y dotarlas de una serie de posibles combinaciones según una estructura modular flexible.



Figura 96. Vista general del Moduli 255
Fuente: Imagen recuperada

La estructura se basaba en una serie de elementos de madera compuesta por vigas y pilares (figura 99) en base a un módulo de 2,25m (figura 98) y un submódulo de 0,75x2,25m de altura para paneles de cerramiento, a su vez, estos se presentaban en diferentes tipos que posibilitaban su intercambiabilidad (figura 97). La cubierta plana del sistema apoyaría sobre la estructura anterior estando compuesta a su vez por un panelizado doble con aislamiento intermedio.

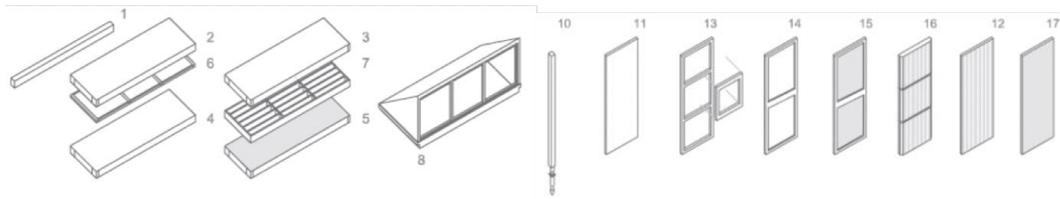


Figura 97. Componentes del Moduli 255
Fuente: Imágenes recuperadas

En total se construyeron aproximadamente 60 viviendas Moduli, en la que destacaron su flexibilidad y la industrialización en sus elementos integrantes.

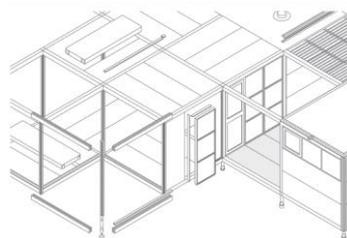


Figura 98: Vista estructura + Componentes
Fuente: Imagen recuperada

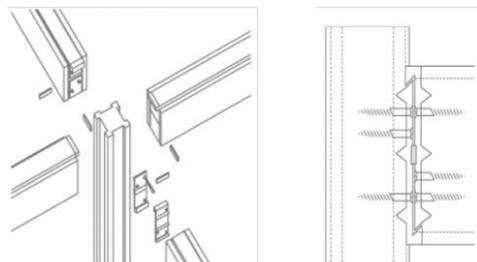


Figura 99. Encajes pilar - viga con conectores metálicos
Fuente: Imagen recuperada

2.28 Oriental Masonic Gardens. 1970

(EEUU. Paul Rudolph)

Las viviendas Oriental Masonic Gardens (Rotan, T. 2014) (figura 100) sería un proyecto que permitió a las móviles homes crecer como elemento constructivo propio.

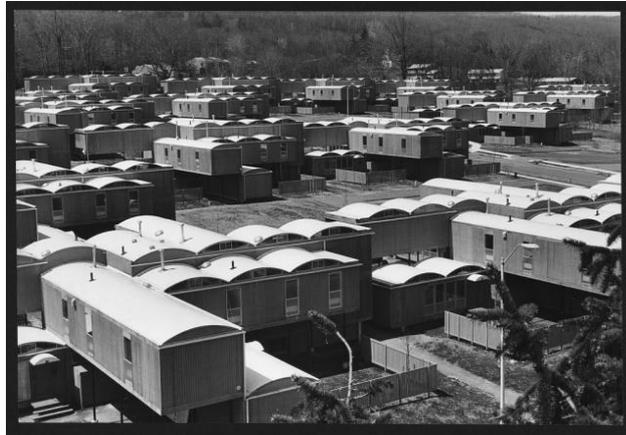


Figura 100. Vista general de las Oriental Masonic Gardens
Fuente: Imagen recuperada

La composición de las unidades se basaba en una estructura de madera de dimensiones 3,7 x 8/12 ó 15m de largo, protegidas por una panelizado exterior. Estas unidades se agrupaban hasta formar núcleos habitacionales de 4 viviendas (figura 101) colocadas en cruz, cada vivienda estaría formada por 2 ó 3 módulos con su parcela propia (figura 102).

Las Oriental Masonic Gardens fue una iniciativa precursora de los componentes 3D, llegaron a construirse unas 148 unidades, con un precio que rondaría los 21.000 a 23.000\$. Destinadas a inquilinos con ingresos medios y bajos. En 1981 estas viviendas fueron demolidas.

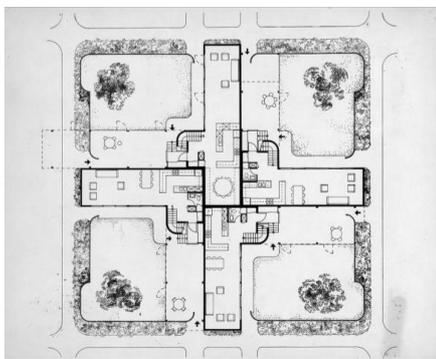


Figura 101. Planta en cruz formado por 4 viviendas. Fuente: Imagen recuperada



Figura 102. Montaje de módulo Masonic Garden
Fuente: Imagen recuperada

2.29 Casa TEST. 1975

(EEUU. Helmut C. Schulitz)

Vivienda desarrollada por Helmut C. Schulitz para el Programa TEST (Team Experimental Systems an Building Techniques) de la Universidad de California (Jackson, N. 1996), la construcción se basaba en componentes compatibles S3c del mercado de EEUU (figura 103).



Figura 103. Vista lateral de la Casa TEST
Fuente: Imagen recuperada

La vivienda se compone de una estructura metálica reticular de gran flexibilidad en donde sus elementos se encuentran atornillados, sin soldaduras, diseñados para un posterior desmontaje. Los cerramientos de vidrio ó chapa grecada se fijan a la estructura (figura 104), también las puertas o ventanas correderas, prevalecen los pilares sobre las vigas, y se estimaba una duración de dos días para el montaje estructural de unos 200m² de superficie. La vivienda alcanzaría un coste de 76.000\$.



Figura 104. Detalle estructural
Fuente: Imagen recuperada



Figura 105. Interior de vivienda
Fuente: Imagen recuperada

La separación entre pisos se constituye a base de vigas de celosía sustentando el forjado correspondiente (figura 105), montado todo ello a base de componentes compatibles en seco, estos elementos destacan por su racionalidad y economía dotando a la vivienda de una industrialización elevada (figura 106).



Figura 106. Vista general y actual de la Casa TEST
Fuente: Imagen recuperada

2.30 Toyota Home – Viviendas. 1975-Actualidad

(Japón)

Toyota Home lleva desde 1975 construyendo viviendas industrializadas (figuras 107 y 108) aplicando los procesos de fabricación de los automóviles. Las viviendas son de fabricación off-site (figura 109 y 110) llegando a alcanzar un alto grado de industrialización, un 85% aproximadamente. Su fabricación se basa en el concepto “Just inTime” consiguiendo tiempos de entrega menores a 45 días.



Figura 107. Vivienda Toyota
Fuente: Imagen recuperada



Figura 108. Vivienda Toyota
Fuente: Imagen recuperada

La composición de los módulos se basa en una estructura de acero de hasta 6,0m de largo, requiriéndose de 6 a 12 módulos por vivienda (figuras 111 y 112).



Figura 109. Estructura de modulo 3D
Fuente: Imagen recuperada



Figura 110. Detalle estructural
Fuente: Imagen recuperada



Figura 111. Módulo acabado
Fuente: Imagen recuperada



Figura 112. Colocación de módulos
Fuente: Imagen recuperada

El coste será aproximadamente para una vivienda de 90m² con altas prestaciones y resistencia a los terremotos, su valor es de 150.000€ y ofrece una garantía de 60 años, el doble de la vida útil de una vivienda en Japón (figura 113 y figura 114).



Figura 113. Interiores
Fuente: Imagen recuperada



Figura 114. Interiores
Fuente: Imagen recuperada

2.31 Casa Hopkins. 1976

(Inglaterra. Michael & Patty Hopkins)

Michael y Patty Hopkins diseñaron un edificio destinado a casa y estudio (figura 115), el diseño se basaba en una vivienda constituida por acero y vidrio de elementos de hangares industriales (figura 117).



Figura 115. Vista exterior
Fuente: Imagen recuperada

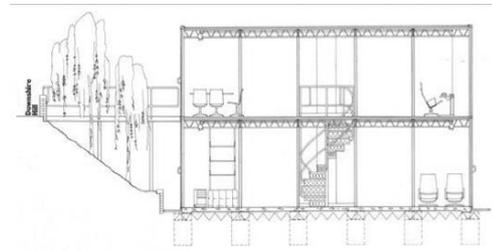


Figura 116. Sección de la vivienda
Fuente: Imagen recuperada

La vivienda de dimensiones 10x12m está formada por 2 plantas (figura 116) con una modulación estructural 4x2m, diseñada para alojar a 5 personas, destaca por su flexibilidad de espacios (figura 117 y 118) y su carácter industrializado, muy similar a proyectos como la casa Test, el sistema Clasp, o la vivienda de Charles y Ray Eames para el Case Study, entre otros. Esta vivienda fue premio RIBA 1977.



Figura 117. Interior de la vivienda
Fuente: Imagen recuperada

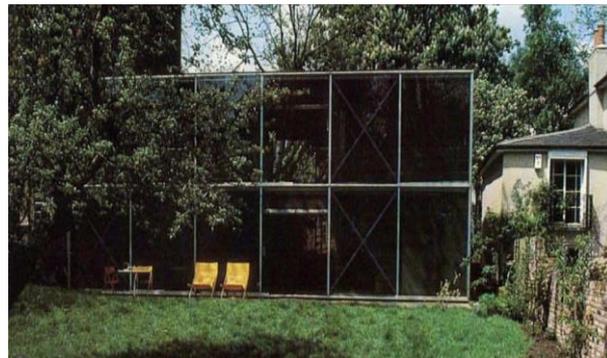


Figura 118. Vistas desde jardín
Fuente: Imagen recuperada

2.32 Casa Evolutiva. 1978

(Italia. Renzo Piano)

La Casa Evolutiva (Piano, R. 1978) es proyecto experimental para un plan de viviendas públicas basadas en la idea de la evolución - crecimiento de los hogares (Dardi, C., Pedio, R, y Piano, R. 1982) y la modificación libre de los interiores de las mismas por parte de los usuarios (figura 119 y 120).



Figura 119. Módulo completo
Fuente: Imagen recuperada



Figura 120. Fachada principal
Fuente: Imagen recuperada

Las viviendas se componen de una estructura a base de piezas prefabricadas de hormigón (figura 121) en forma de “U”. Los interiores se configuran con 1 ó 2 plantas a base de una estructura ligera de cerchas que apoyan en la estructura principal de hormigón, lo que permite un desplazamiento horizontal (figura 122) y acompaña también a la posibilidad de un movimiento en la fachada (figura 123).

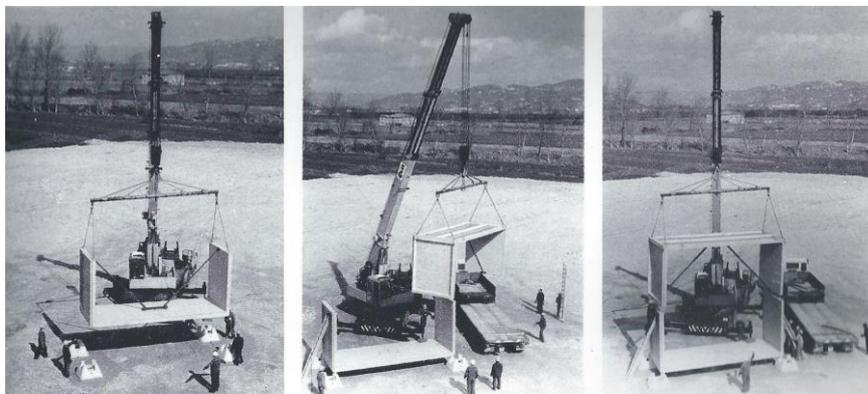


Figura 121. Montaje estructural mediante piezas prefabricadas en “U”
Fuente: Imagen recuperada

Destaca la variabilidad de las configuraciones interiores debido a su flexibilidad compositiva por desplazamiento de elementos, la rapidez de ejecución y la economía de las viviendas montadas a base de componentes prefabricados e industrializados.

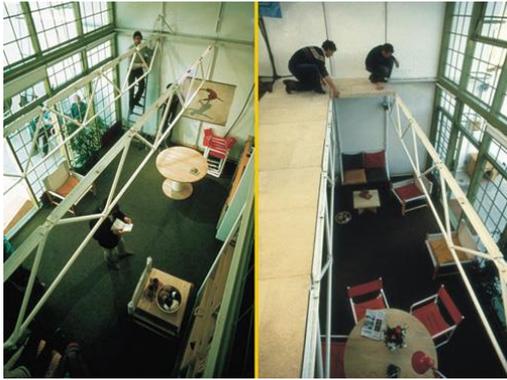


Figura 122. Flexibilidad interior.
Desplazamiento de cerchas.
Fuente: Imágenes recuperadas



Figura 123. Flexibilidad interior.
Desplazamiento de fachada
Fuente: Imagen recuperada

2.33 IKEA – Viviendas. 1996-Actualidad (Países Escandinavos)

Las viviendas comercializadas por IKEA (figura 124 y 125) se fabrican a base de módulos 3D en una cadena de producción en serie (figura 126 y 127), son viviendas dotadas de un alto grado de eficiencia energética y se componen de una estructura de entramados de madera con 2 ó 3 módulos por apartamento, generalmente son viviendas de 2 plantas con forma en “L” (figura 128), lo que permite un diseño ideal para una posterior ampliación hasta convertirse en “U”.



Figura 124. Vista general
Fuente: Imagen recuperada



Figura 125. Vista general
Fuente: Imagen recuperada

Estos módulos de vivienda poseen un alto grado de personalización y sus dimensiones variarán en el entorno de los 46m²-52m², dependiendo si son de 1 ó 2 dormitorios, en Gran Bretaña rondan aproximadamente los 120.000-150.000€.



Figura 126. Colocación módulos 3D
Fuente: Imagen recuperada



Figura 127. Módulo en cadena de fabricación
Fuente: Imagen recuperada

Ikea diseña estas distribuciones de edificios en “L” para crear un patio semicerrado con la idea de integración y socialización entre los vecinos dando lugar a auténticas comunidades (figura 128).



Figura 128. Vista general de la comunidad IKEA
Fuente: Imagen recuperada

En 2012 Ikea planteó para Londres su proyecto de mayor envergadura consistente en la reurbanización del barrio de Strand East (figura 129 y 130), abandonado desde hace más de 60 años. En esta zona se proyectó la construcción de aproximadamente 1.200 viviendas asequibles con capacidad para 6.000 personas. El presupuesto se estimaba en unos 45 millones de euros, ocupando una superficie de 26 hectáreas, siendo este todo un proyecto integral de recuperación urbana, social y económica.



Figura 129. Barrio de Strand East
Fuente: Imagen recuperada



Figura 130. Edificaciones diversas
Fuente: Imagen recuperada

2.34 Fred y Su-Si. 1999-2009

(Austria. Kaufmann 96 Architektur)

Fred (1999) y Su-Si (2009) son dos prototipos modulares diseñados por Kaufmann96 (figura 131 y 132), siendo ambos ejemplos de una arquitectura móvil y flexible.



Figura 131. Módulo Fred
Fuente: Imagen recuperada



Figura 132. Módulo SuSi
Fuente: Imagen recuperada

El módulo Fred (figura 133) de dimensiones 3,0x3,0x3,0m es un módulo expansivo, en el cual un volumen interior se desplaza hacia el exterior provocando un crecimiento de la vivienda, de fabricación off site, este módulo llega a alcanzar una superficie de 15m² (extendido) (figura 134 y 135) y se compone de una estructura de madera y un cerramiento formado por tableros contrachapados con un aislamiento a base de lana de roca.



Figura 133. Módulo compacto
Fuente: Imagen recuperada



Figura 134. Módulo extendido
Fuente: Imagen recuperada

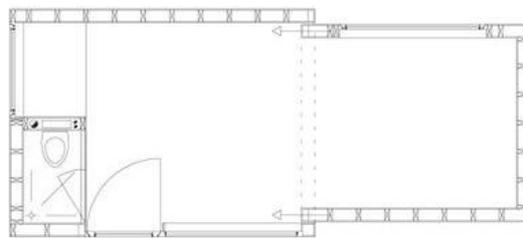


Figura 135. Planta módulo Fred
Fuente: Imagen recuperada

Susi (figura 136) es un módulo 3D de dimensiones 3,5x12,5x3,0m y su peso rondaría las 10t, el módulo esta constituido por una estructura de madera mediante vigas y pilares que se recubre con tableros aislantes a base de lana de roca. EL cerramiento se compone de unos pies derechos separados entre sí 0,80m y las instalaciones se configurarán en los extremos, lo que permitirá mantener un volumen central libre (figura 137).



Figura 136. Fabricación de módulo
Fuente: Imagen recuperada



Figura 137. Planta de distribución
Fuente: Imagen recuperada

2.35 Mobile Dwelling Unit. 2003

(EEUU. Lok-Et)

Mobile dwelling unit (MDU) (figura 138) es un contenedor de transporte marino adaptado para ser una vivienda modular, transportable y con capacidad de crecimiento, conseguido a base del desplazamiento de sus ocho módulos internos (figura 139) hacia el exterior, configurando de esta manera el baño, cocina, comedor, dormitorio, etc. Esta vivienda de fabricación off-site representa un ejemplo de arquitectura de transformación y aprovechamiento de módulos destinados a otro uso del inicial, destacando a su vez la industrialización a la que se ve sometida este tipo de arquitectura 3D.



Figura 138. Vista general
Fuente: Imagen recuperada



Figura 139. Vista interior
Fuente: Imagen recuperada

2.36 Villa Asserbo. 2012- 2013

(Dinamarca. Eentileen Architects)

La Villa Asserbo (figura 140) es una vivienda diseñada aplicando las técnicas de prototipado rápido CNC., ésta se compone de una estructura de madera (bosques sostenibles) y de acero estructural.



Figura 140. Vista general
Fuente: Imagen recuperada

El proceso de fabricación CNC (figura 141) provoca que estos elementos de madera se puedan realizar en cualquier lugar del mundo, únicamente con sus archivos digitales correspondientes. Las piezas desarrolladas que se fabrican para el montaje de la vivienda se pueden transportar por dos personas (figura 142) y poseen una numeración de manera que su colocación se realiza de forma ordenada y en el lugar exacto. La vivienda de superficie aproximada 116m² se monta en 6 semanas.



Figura 141. Fases de ejecución. Fabricación, montaje y colocación de elementos
Fuente: Imágenes recuperadas

La Villa Asserbo destaca por su movilidad y su ciclo de vida, estando diseñada para un mantenimiento constante de la misma y una posterior reutilización de sus elementos, o en su caso, un reciclaje ordenado en el proceso de deconstrucción, dadas sus características se pueden montar para dar solución a desastres naturales o situaciones de emergencia.



Figura 142. Montaje de la vivienda
Fuente: Imágenes recuperadas

2.37 Domino 21 “d21-System”. 2004

(España 2004. ETSAM)

El Domino 21 (d21-System) (figura 143) fue un prototipo montado a base de componentes compatibles de catálogo S3C como iniciativa para la construcción de viviendas flexibles, adaptables a las necesidades de sus ocupantes y con un alto grado de flexibilidad, construido en Madrid para la feria de Construtec en la edición de 2004 a cargo de el Profesor José Miguel Reyes y un grupo de estudiantes de la propia ETSAM (Reyes, JM. 2005).



Figura 143. Vista general del d21 System
Fuente: Imagen recuperada

El proyecto estaría formado por 4 plantas (figura 144), una planta baja destinada a exposición de aproximadamente 285m², y dos plantas superiores destinadas a 5 viviendas y usos comunes, destinándose 350m² a viviendas y 140m² a usos tanto de escaleras como de exposición, además en la zona superior se montó una cubierta transitable.



Figura 144. Plantas
Fuente: Imagen recuperada

Los forjados estarían montados a base de vigas de madera de 6,5m de luz (figura 145) y unidos mediante herrajes estándar a la estructura metálica (figura 146), sobre las vigas y viguetas de madera se montarán los tableros contrachapados dando por terminado el piso del forjado.



Figura 145. Colocación de vigas de madera
Fuente: Imagen recuperada



Figura 146. Composición del forjado.
Fuente: Imagen recuperada

Se integraron a mayores 25 módulos 3D fabricados off site (figura 147 y 148), donde se equiparon cocinas, baños (figura 149), terrazas, etc., pudiéndose intercambiar de forma rápida, conectándose de forma sencilla a la estructura y a las instalaciones definidas en la construcción principal.



Figura 147. Elevación de los módulos 3D
Fuente: Imagen recuperada



Figura 148. Módulo 3D en fabricación
Fuente: Imagen recuperada



Figura 149. Interior de modulo baño
Fuente: Imagen recuperada

En cuanto a las instalaciones se proyectaron de manera que fueran registrables y, por lo tanto, quedarán a la vista para un correcto mantenimiento y conexión entre sí.

Los interiores en cuanto al equipamiento se constituyen a base de paneles deslizantes y armarios rodantes, dotando a los espacios de mayor flexibilidad compositiva (figura 150).



Figura 150. Vista interior
Fuente: Imagen recuperada

Las características a destacar serían el montaje en seco, consiguiendo un montaje completo con cabinas (módulos 3d) y cerramientos en 10 días, flexibilidad estructural debido a su mecano –abierto, economía motivada por la compatibilidad entre sí de elementos de distintas marcas comerciales fabricados en serie (S3C) (Altozano, F. y Reyes, JM. 2008) y, consiguiendo en general un alto nivel de industrialización dando lugar a una rapidez y sencillez estructural.

2.38 Exposición MOMA – Home Delivery. 2008

(EEUU. MOMA New York)

Exposición celebrada en el MOMA–NY entre junio a octubre del 2008 (Bergdoll, B. y Christensen, P. 2008), en ella se mostraron una serie de proyectos basados en la industrialización de elementos en mayor o menor grado y cuyo objetivo sería mostrar distintas posibilidades de viviendas, con la idea de dar una respuesta digna a millones de personas que sufren las consecuencias de las catástrofes naturales y, de los problemas de acceso a una vivienda originado por las Crisis Mundiales.

Los proyectos (figura 151) que en ella se mostraron serian:

- A. Micro-Home** (Universidad de Múnich y Cherry Lee Architects)
- B. Cellophane House** (Stephen Kieran y James Timberlake)
- C. System-3** (Leo Kaufmann & Albert Rűf)
- D. Burst*008** (Jeremy Edmiston & Douglas Gauthier)
- E. New Orleans** (Lawrence Sass-MIT)

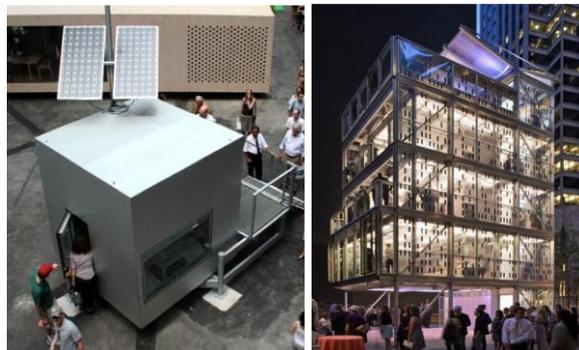


Figura 151. Vista general de los Proyectos de la exposición

2.38.A Micro Home. 2008

(Alemania. H. Cherry Lee Architects + Univ. Múnich)

Vivienda compacta y ligera para 1 ó 2 personas, diseñada para adaptarse a diferentes lugares y circunstancias (figura 152).

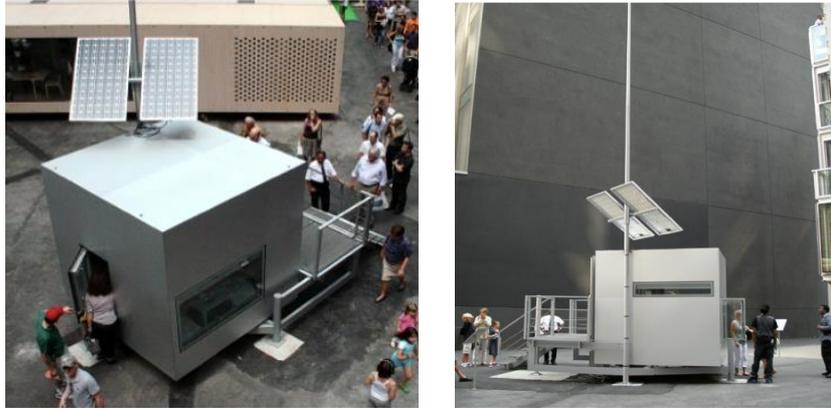


Figura 152. Vista general. Micro home
Fuente: Imágenes recuperadas

En el diseño del interior compacto (figura 153 y 154) se aplicó la tecnología de los aviones para su configuración, siendo el resultado una vivienda eficiente y adecuada para el uso.

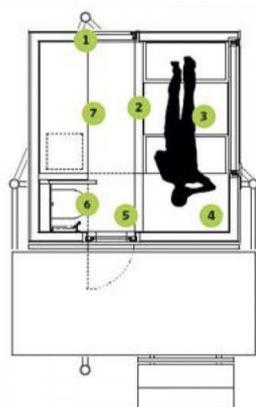


Figura 153. Planta de la vivienda
Fuente: Imagen recuperada



Figura 154. Interior de la vivienda
Fuente: Imagen recuperada

Las características más destacables en cuanto a su composición serían la estructura a base de entramado de madera de lado 2,66m, el revestimiento exterior de aluminio anodizado proporcionando una alta durabilidad. La energía se obtiene de los paneles solares y la turbina de viento que lleva incorporado el modulo, en cuanto a las instalaciones destaca la alarma anti-incendio, el detector de humo y el equipo de control térmico.

Debido a su ligereza y autonomía se puede llegar a transportar a cualquier lugar creando diferentes agrupaciones entre sí (figura 155), y su precio podría oscilar entre los 25.000 - 30.000€.



Figura 155. Agrupaciones
Fuente: Imágenes recuperadas

2.38.B Cellophane House. 2008

(EEUU. Stephen Kieran y James Timberlake)

El proyecto trata la vivienda unifamiliar (figura 156) que no pretende permanecer inalterada más de 10 años, pudiéndose desplazar o crecer según sus necesidades de los usuarios

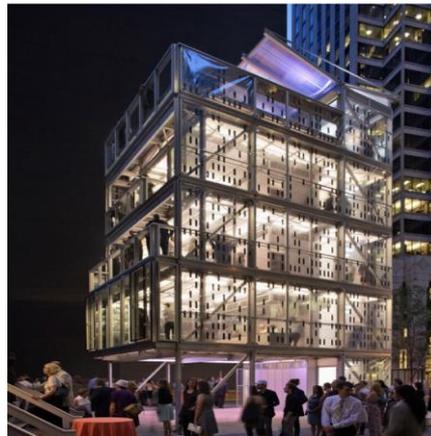


Figura 156. Vista general de la Cellophane house.
Fuente: Imagen recuperada

El edificio está diseñado para la captación máxima de la radiación del sol, a base de paredes transparentes y paneles de fachada de propileno con aislante translúcido y un film plástico con células fotovoltaicas (figura 157).



Figura 157. Paneles de fachada
Fuente: Imagen recuperada



Figura 158. Fabricación Off-site
Fuente: Imagen recuperada

Este proyecto destaca también por sus posibilidades de personalización debido a la industrialización abierta con que fue diseñada, sus cortos periodos de fabricación y montaje (figura 158), situándolos en 13 semanas para su construcción off site y 16 días para en el montaje de sus elementos (figura 159 y 160), el ensamblaje se realiza en seco proporcionando la posibilidad del desmontaje de manera rápida y sencilla.



Figura 159. Montaje. Fuente: Imagen recuperada



Figura 160. Elevación de módulo. Fuente: Imagen recuperada

2.38.C System-3. 2008

(Austria. Leo Kaufmann & Albert Rűf)

Prototipo de vivienda modular (figura 161), basando su idea en la separación del edificio en espacios de servicios (serving space) y en espacios desnudos (naked space).



Figura 161. Vista general System-3. Fuente: Imagen recuperada

La vivienda se divide en 2 módulos fabricados en taller (figura 162 y 163), un módulo “Espacio Servidor” al que pertenecen las instalaciones, escaleras, baño y cocina que se monta y ensambla en fábrica, y se transporta hasta el lugar (dimensiones contenedor standard), y otro módulo ”Espacio Desnudo” definido por los muebles y que forma el dormitorio y el comedor, este módulo compuesto por paneles, se monta y ensambla “In-Situ” facilitando que las dimensiones puedan ser mayores.

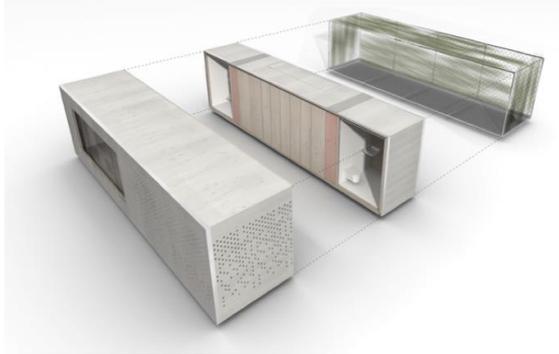


Figura 162. System 3. Módulo 1
Fuente: Imagen recuperada

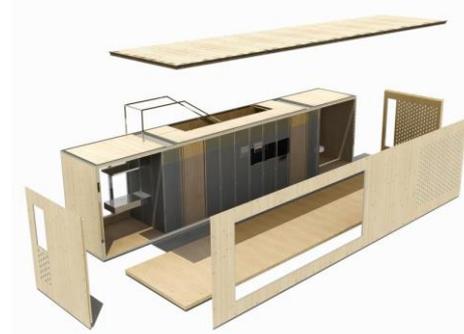


Figura 163. System 3. Módulo 2
Fuente: Imagen recuperada

Las características destacables del proyecto serian su fácil transporte y el montaje en 6 horas, además el System-3 se coloca sobre micropilotes reduciendo así el impacto medioambiental sobre el terreno. Los módulos tienen la posibilidad de colocar paneles fotovoltaicos y la estructura a base de paneles de madera son cortados en fábrica con fresadoras que procesan información CNC (Sistemas Control Numérico).

Los módulos tienen una gran capacidad de crecimiento y agregación (figura 164) entre sí, llegando hasta el apilamiento de 10 plantas de manera sencilla.



Figura 164. Agregación colectiva del System-3
Fuente: Imagen recuperada

2.38.D Burst*008. 2008

(Australia. Jeremy Edmiston & Douglas Gauthier)

Vivienda que combina arquitectura y tecnología (figura 165), diseñada completamente por ordenador y estando sus piezas (más de 1000) fabricadas a las dimensiones exactas para poder encajarse como un rompecabezas 3D (figura 166).



Figura 165. Vista general Burst*008
Fuente: Imagen recuperada

La secuencia en el proceso de diseño de la vivienda sería el siguiente: se diseña mediante un programa informático, se produce una fragmentación en piezas planas, se transportan y se ensamblan in situ colocando una piel de aislamiento (figura 167).



Figura 166. Paneles del Burst*008

Fuente: Imagen recuperada

La estructura consiste en paneles de madera laminada estructural, generalmente, y que se diseñan en ordenador según un conjunto de formulas donde intervienen entre otros, las necesidades del cliente y los condicionantes del lugar

J. Edmiston: “La vivienda prefabricada no trata de ahorrar dinero sino de controlar el riesgo”



Figura 167. Distintas fases de montaje

Fuente: Imágenes recuperadas

2.38.E New Orleans. 2008

(EEUU. Lawrence Sass & MIT)

Proyecto del MIT para recuperar las zonas devastadas por el Huracán Katrina en Nueva Orleans. Es un modelo habitacional estándar, económico y de rápida ejecución al que se le adosa la fachada tradicional de las “Shotgun Houses” americanas (figura 168).



Figura 168. Vista General New Orleans.

Fuente: Imagen recuperada

La vivienda se transforma en 3.000 piezas ranuradas de madera y plástico (figura 169 y 170), cuyo montaje se asemeja a un Lego, estas piezas se obtienen en una fresadora controlada por ordenador. A destacar sería su montaje en 7 días.

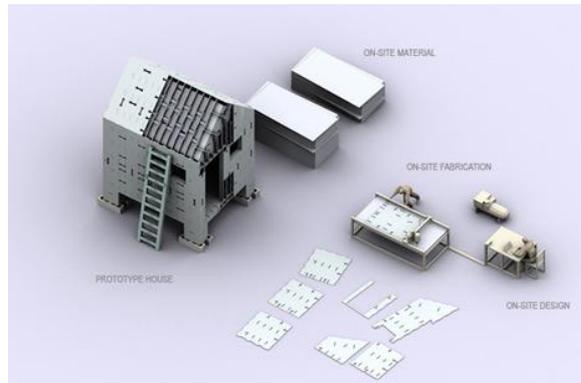


Figura 169. Proceso de fabricación de los paneles
Fuente: Imagen recuperada

Sass: “Estoy tratando de hacer casas de la misma manera que se hacen automóviles, ordenadores y teléfonos móviles, porque es más rápido, más económico y mejor”



Figura 170. Vista interior New Orleans.
Fuente: Imagen recuperada

Bloque 2.

SISTEMA ESTRUCTURAL FLEXIBLE

SEF

SEF

SISTEMA ESTRUCTURAL FLEXIBLE

Capítulo 3. Características generales del sistema estructural flexible (SEF)

3.1. Objetivo del sistema estructural flexible (SEF)

El Sistema Estructural Flexible (SEF) surge como respuesta al intento de realizar un sistema estructural que admita la posibilidad de realizar cambios, esto es, que tenga capacidad de adaptación a nuevas formas volumétricas. Actualmente existe un inmovilismo en los edificios que hacen que sus sistemas portantes estructurales no se diseñen para adaptarse a los posibles cambios o transformaciones, no permitiendo así un entramado flexible que dé respuesta a distintas necesidades. Por otra parte, también se busca que esas modificaciones y adaptaciones resulten fáciles de ejecutar y, en el mejor de los casos, que sea el propio usuario el que pueda realizarlo a lo largo de la vida útil de la edificación.

Para ello deberá permitir los **10 puntos del Sistema estructural flexible (SEF)**:

1. Crear diferentes volúmenes, con una libertad de diseño modulada.
2. Aumentar o disminuir los volúmenes existentes.
3. Disponer de facilidad de montaje y desmontaje individualizado.
4. Abrir un hueco de paso en cualquier paramento:
 - Paramento vertical: puerta, ventana
 - Paramento horizontal: hueco escalera
5. Generalizar los sistemas de unión
6. Necesitar el menor número de elementos industrializados diferentes.
7. Hacer lo más universal posible cada uno de los elementos industrializados del sistema.
8. Utilizar elementos ligeros a escala humana.
9. Poseer la capacidad de ensamblaje con distintos elementos.
10. Permitir el montaje en seco

El sistema estructural flexible (SEF) está diseñado para ocupar un lugar principal dentro del Sistema de construcción flexible para viviendas, puesto que es el que dirige y organiza a la edificación, no se puede diseñar un sistema flexible sin una estructura flexible o adaptativa, de ahí, que este sistema será el encargado no sólo de adaptarse a las distintas configuraciones que se deban crear desde el punto de vista arquitectónico, sino que será el encargado de fijar los diferentes elementos o componentes al sistema de construcción flexible, a través de la estructura, siendo ésta, en la mayoría de los casos, la encargada de ser el vehículo de apoyo y unión de los diferentes componentes del sistema. Por tanto, es indispensable un alto grado de flexibilidad de la estructura en estas dos vertientes:

1. La portante, con capacidad de resistir y transmitir cargas
2. La de unión, con capacidad para la configuración o soporte del resto de elementos del sistema que se acoplarán a este.

3.2 Aspectos de diseño del sistema estructural flexible (SEF)

En el diseño de los elementos según alguna de las variantes que en la actualidad nos ofrece la industrialización de viviendas, dentro de los 3 grupos generales (véase Bloque 1 – capítulo 1.2), se destacaría como característica común a todos ellos la flexibilidad.

Por tanto, la motivación principal del sistema es indagar en la búsqueda de la flexibilidad estructural y, como consecuencia, posibilitar la creación de un sistema de construcción integral.

Los condicionantes de diseño de los que se parte en referencia a los componentes que integran el sistema estructural flexible (SEF) son aquellos que cumplen con los 10 puntos anteriormente citados.

Una característica a destacar en el Sistema estructural flexible (SEF) es la considerable reducción de las unidades distintas utilizar, únicamente se precisan de dos, para la formación de los distintos elementos estructurales,

3.3 Exigencias a cada unidad industrializada

A. Facilidad de fabricación. La fabricación de los perfiles o cuerpos será con acero laminado en frío y conformado. El acero nos permite procesos de fabricación más industrializados y posibilita la ejecución de formas más complejas, permitiendo plegados y, por tanto, una mayor rigidez estructural con menor cantidad de material. Una buena referencia es el arte del Origami²⁴¹. Esta facilidad de fabricación permitirá reducir costes.

B. La optimización de secciones estructurales se obtiene al variar los espesores de las unidades, manteniendo constante las dimensiones exteriores del perfil (figura 173).

C. Posible utilización de las 4 caras del perfil cerrado. Se presenta la capacidad de incorporar diferentes elementos mediante un fácil ensamblaje sobre las 4 caras, posibilitando a la estructura volumétrica crear formas ortogonales en todos y cada uno de los puntos modulados del sistema,

D. Modulación. Esta forma geométrica permitirá establecer unas medidas moduladas y exactas entre ejes de todos los elementos del sistema propuesto, en base a la modulación internacional “M”, siendo M:100mm, según Norma UNE-EN-ISO 8560:2000.

E. Sistematización de las uniones. Los perfiles van a llevar unos agujeros que permiten diferentes ensamblajes, todas estas uniones (véase apartado 3.4.5) serán conocidas dado su carácter de ortogonalidad. Con la modulación entre elementos estructurales (EE) (apartado 3.4.3.) podemos crear una sistematización real de cada una de ellas y establecer un patrón común de montaje.

F. Facilidad de ensamblaje. Los canales interiores en la sección propuesta permiten alojar la tornillería convencional, facilitando que la unión sea plana entre los elementos estructurales (EE) (figura 179) y/o en su caso, con los elementos de los distintos sistemas independientes que integran el sistema de construcción flexible, permitiendo sencillez y rapidez en los enlaces.

3.4 Composición del Sistema estructural flexible (SEF)

El Sistema estructural flexible (SEF), tal y como citamos anteriormente, estaría constituido de los componentes siguientes, en orden creciente de composición y dimensiones.

1. **Unidades básicas estructurales (UBE)**
2. **Unidades estructurales (UE)**
3. **Elementos estructurales (EE)**
4. **Pórticos estructurales (PE)**
5. **Módulos estructurales diáfanos**

3.4.1 Unidades básicas estructurales. UBE

Las unidades básicas estructurales (UBE) serán los componentes más sencillos del sistema estructural flexible (SEF) encargados de generar todas y cada una de las partes estructurales del sistema, hasta llegar a crear los módulos estructurales diáfanos. Estas unidades básicas son 2 de dimensiones perimetrales iguales en cuanto a su sección transversal (figura 173), pero de dimensiones longitudinales distintas (figura 171).

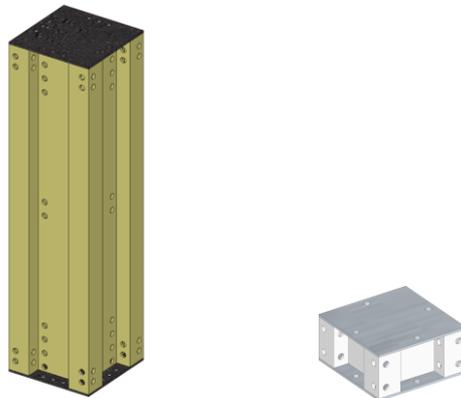


Figura 171. Unidades básicas UBE1 y UBE2
Fuente: Elaboración propia

3.4.1.1 Formación de las unidades básicas estructurales (UBE)

Las unidades básicas estructurales UBE presentan una geometría integrada por dos cabezas y un cuerpo (figura 172).

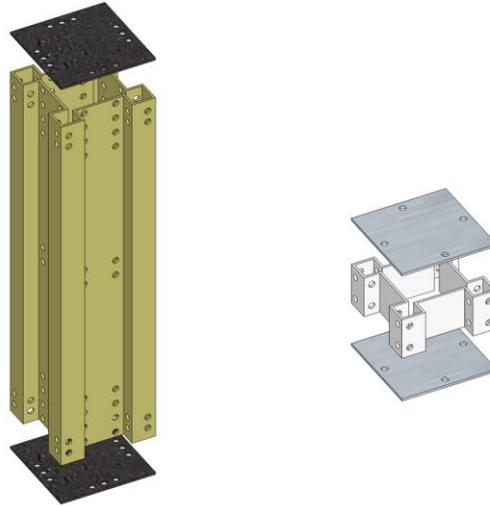


Figura 172. Composición de las UBE
Fuente: Elaboración propia

La cabeza corresponde con los extremos y está formada por una chapa que irá perpendicular al eje longitudinal del perfil y unida a él mediante soldadura, quedando completamente fijado y conformando en un todo las dos chapas y el cuerpo de perfil. A su vez, estas chapas tienen unos agujeros (figura 174) que servirán para alojar la tornillería correspondiente para la unión con otras unidades (figura 181) y, su posterior agrupación en elementos estructurales (EE).

El cuerpo de las UBE se corresponde con el perfil de sección doblemente simétrica expuesta en la figura 173. Las longitudes totales serán las mencionadas en la tabla 2, a estas longitudes habrá que descontar el espesor de la chapa.

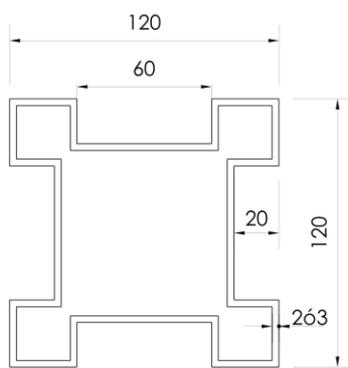


Figura 173. Sección de las UBE
Fuente: Elaboración propia

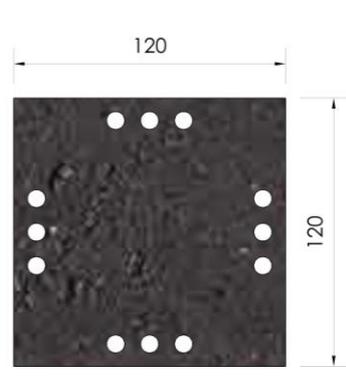


Figura 174. Chapa de las UBE
Fuente: Elaboración propia

Además, a lo largo del cuerpo de cada unidad básica estructural (UBE), se presentan, en sus caras interiores y exteriores, unos agujeros que posibilita un ensamblaje con las otras unidades básicas estructurales (UBE) por sus cabezas.

También estos agujeros van a permitir la fijación de los demás sistemas independientes entre sí, como por ejemplo con el Sistema de Cubierta Flexible (SCF) (bloque 3) y, por tanto, conformar de esta manera el sistema de construcción flexible, estas uniones se realizan mediante tornillería convencional.

La distancia dimensional entre los agujeros nos permite:

1. Integración con la modulación ortogonal M, que se adopta en todo el sistema de construcción flexible para viviendas.
2. Obtener infinidad de combinaciones con un número finito de elementos industrializados diferentes.
3. La posibilidad de acoplamiento de distintos sistemas con el sistema estructural flexible (SEF). De esta forma queda definida la localización de la conexión, así como las características de la unión.
4. Desmontaje de cada una de las unidades en cualquier posición de la retícula ortogonal estructural, de manera individual e independiente del resto del sistema estructural flexible (SEF) con el sistema de construcción flexible para viviendas.

3.4.1.2 Dimensiones de las unidades básicas estructurales (UBE)

Las dimensiones de las unidades básicas estructurales (UBE) se indican en longitud total (canto x ancho x longitud) en mm (tabla 2):

Tabla 2. Tipos y dimensiones UBE

UBE	
Tipo	Dimensiones
UBE ₁	120X120X480
UBE ₂	120X120X60

Elaboración propia

Al ser únicamente dos unidades básicas estructurales (UBE), la producción del sistema estructural flexible (SEF) se basa en ellas, estando la producción en serie garantizada, y con las posteriores combinaciones de estas unidades podremos llegar a crear infinidad de módulos estructurales diáfanos volumétricos (figura 231). Para optimizar el material, en el sistema de construcción flexible se podrán utilizar hasta dos diferentes espesores en los perfiles (tabla 3). Estos espesores los vamos a denominar $e_1=3$ mm, $e_2=2$ mm. El espesor será de 3 mm, espesor distinto a este dependerá de las cargas actuantes en la estructura y de la posición de las unidades dentro de la conformación de los elementos estructurales verticales (EEv) (capítulo 3.4.4.) (tabla 6) y horizontales (EEh), puesto que también sería posible la configuración de estos con espesores diferentes siempre y cuando los cálculos estructurales así lo corroboren, independientemente a la hora de un posible desmontaje se deberá tener en cuenta estas variantes para sus posteriores modificaciones.

Para hacer efectivas estas distinciones entre espesores distintos, se diferenciarán las unidades básicas estructurales (UBE) en base a 2 colores, verde y rojo, siendo el verde el conformado a base de piezas de espesor de 2mm y el rojo a base de piezas de espesor de 3mm (figura 175). Manteniendo este criterio, el sistema estructural flexible (SEF) va a requerir únicamente de **4 unidades industrializadas** diferentes:

Tabla 3. Tipos de UBE con diferentes espesores

Espesores para los UBE			
Tipos	Espesor (mm)	Color	
a	UBE1	3	Rojo
b	UBE2	3	Rojo
c	UBE1	2	Verde
d	UBE2	2	Verde

Elaboración propia

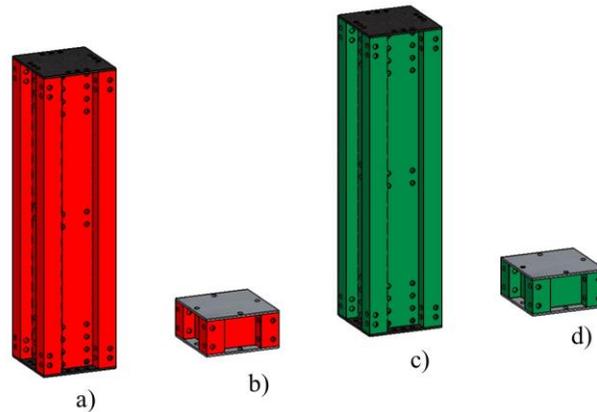


Figura 175. Tipos de UBE con diferentes espesores
Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3 Sección común.

La sección planteada tiene forma perimetral cuadrada, con canales interiores, y de dimensiones externas de 120x120mm (figura 173). La sección surge como resultado de la facilidad que presenta esta geometría para alojar elementos de unión, tipo tornillería o similar, dejar libres las superficies tanto horizontales como verticales, y a su vez facilitar el montaje y sobre todo desmontaje de los diferentes elementos industrializados.

Además, el perfil propuesto, al llevar agujeros de ensamblaje en sus 4 caras y en toda su longitud (figura 171), permite la fácil colocación de los otros elementos industrializados del sistema de construcción flexible.

La sección común en las dos unidades básicas estructurales (UBE) planteadas que formarán todo el sistema estructural flexible (SEF), produce la equidad en todos los elementos de los capítulos posteriores.

Al diseño de esta sección común se ha llegado a través de un proceso de prueba y error trabajando con el programa 3D Sketchup.

Es de especial relevancia el desmontaje de elementos singulares como esquinas y elementos de conexión.

3.4.2 Unidades estructurales. UE

Las dos únicas unidades básicas estructurales (UBE), independientemente de sus espesores, permiten crear bajo una combinación de ambas las 4 unidades estructurales (UE) del sistema, (figura 176) y su composición queda como sigue:

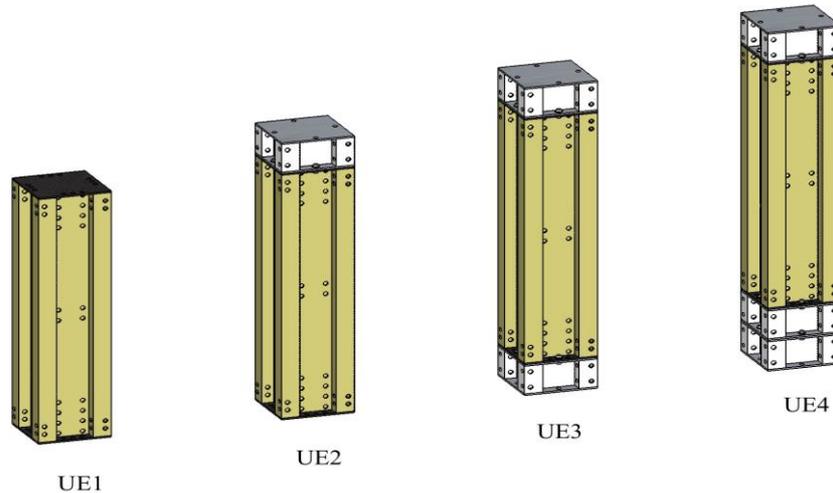


Figura 176. Tipos de UE
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Formación de las UE

Formación UE		
Tipo	Composición	Dimensiones (mm)
UE1	UBE ₁	480mm
UE2	UBE ₁ + 1xUBE ₂	540mm
UE3	UBE ₁ + 2xUBE ₂	600mm
UE4	UBE ₁ + 3xUBE ₂	660mm

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.1 Formación de las unidades estructurales (UE)

La formación de las unidades estructurales (UE) se consigue mediante la unión por sus cabezas de las unidades básicas estructurales (UBE) por medio de tornillería, estas uniones se realizarán siempre por 4 tornillos, uno por cada cara (figura 177), quedando totalmente fijadas sus unidades y permitiendo el desmontaje en caso necesario.

Resulta importante recalcar que la posición que deben ocupar las unidades básicas estructurales (UBE) para la formación de las unidades estructurales (UE) es independiente por tratarse de unidades simétricas, pero siempre cerciorándose del número de las mismas a montar (tabla 4).

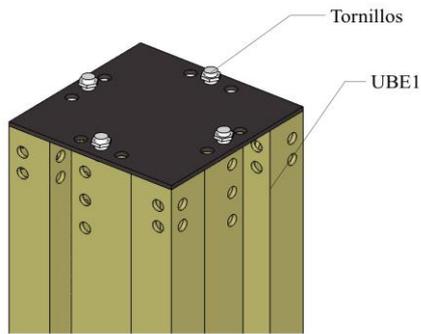


Figura 177 Tornillos por cabeza
Fuente: Elaboración propia

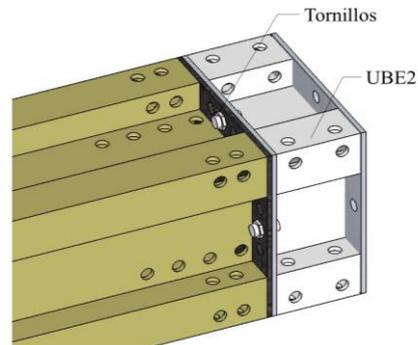


Figura 178. Uniones atornilladas
Fuente: Elaboración propia

3.4.2.2. Dimensiones de las unidades estructurales (UE)

Las dimensiones de las unidades estructurales (UE) se corresponden con las enunciadas anteriormente (tabla 4), observándose en ellas una relación creciente de 60mm, en función del montaje de un mayor número de unidades básicas estructurales (UBE). Estas unidades estructurales (UE) que se forman tienen la cualidad de seguir un patrón general de colocación y montaje que provoca una gran precisión en el sistema, donde se conoce en cada momento su colocación exacta, haciendo posible la sistematización del montaje y en consecuencia su construcción planificada, llegando a conformarse los elementos estructurales (EE) siguientes (tabla 5).

3.4.3 Elementos estructurales. EE

Los elementos estructurales (EE) siguientes se forman en base a las unidades estructurales (UE) citadas en el capítulo anterior.

Tabla 5. Composición de los elementos estructurales (EE)

Elementos Estructurales. EE			
Designación	Composición	Dimensiones	
		Real(mm)	Ejes (M)
EE1	UE1	480	6
EE2	2xUE2	1080	12
EE3	2xUE2 + UE3	1680	18
EE4	2xUE2 + 2xUE3	2280	24
EE5	2xUE2 + 3xUE3	2880	30
EE6	2xUE2 + 4xUE3	3480	36
EE7	2xUE2 + 5xUE3	4080	42
EE8	2xUE2 + 6xUE3	4680	48
EE9	2xUE4+3xUE3 (1ºPlanta)	3120	30*
EE10	1xUE4 + 1xUE2+ 3xUE3 (2ºPlanta)	3000	30

Fuente: Elaboración propia

Estos 10 elementos estructurales (tabla 5) se podrán posicionar tanto de manera horizontal como vertical indistintamente, salvo si adoptamos, como es el caso, una continuidad en los elementos estructurales verticales (EEv) frente a los elementos estructurales horizontales (EEh), por tanto, los elementos EE9 y EE10 se colocarán en posición vertical siempre en la primera y segunda planta respectivamente (figura 179).

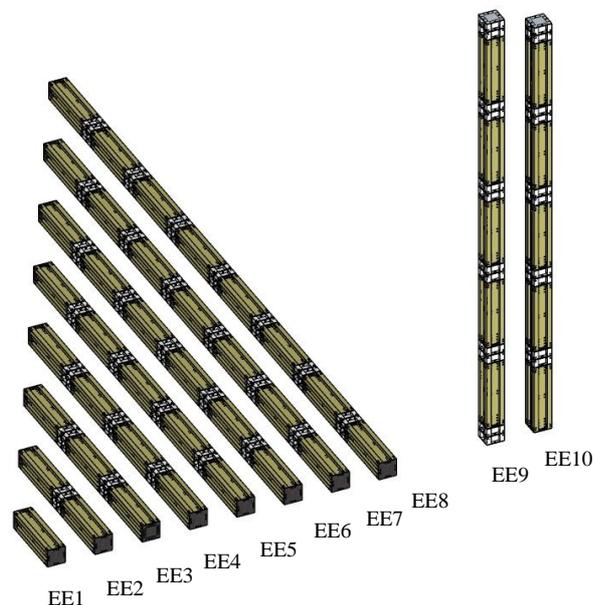


Figura 179. Tipos de elementos estructurales (EE)
Fuente: Elaboración propia

3.4.3.1 Formación de los elementos estructurales (EE)

Los elementos estructurales (EE) se conforman en base a la unión de las unidades estructurales (UE) por sus cabezas mediante tornillería, de esta manera generamos los 12 elementos estructurales necesarios del sistema estructural flexible (SEF) (figura 179). A modo de ejemplo, se puede ver la conformación de un elemento estructural horizontal (EEh) tipo (figura 182), donde aprecia como un elemento estructural estaría formado por "n" unidades estructurales (UE) unidas por su eje longitudinal a través de sus cabezas, con 4 puntos de unión (figura 181).

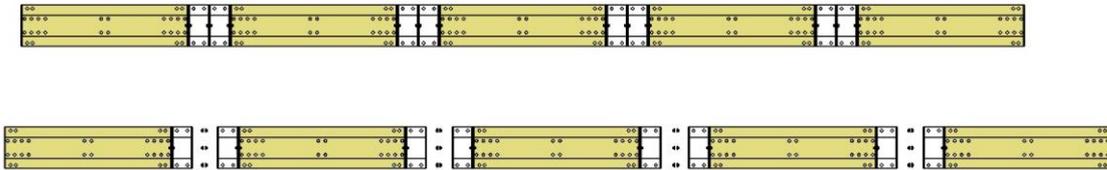


Figura 180. Formación de elementos estructurales
Fuente: Elaboración propia

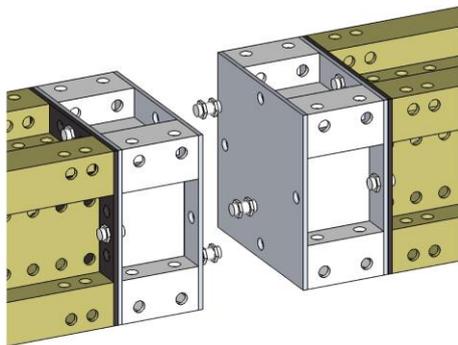


Figura 181. Unión de EE por 4 puntos
Fuente: Elaboración propia

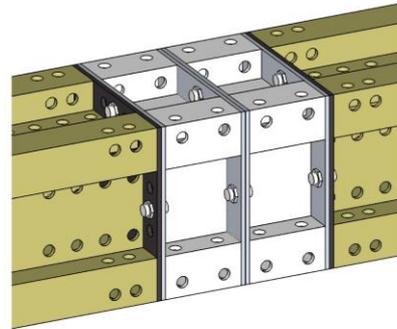


Figura 182. EE fijado entre sí
Fuente: Elaboración propia

3.4.3.2 Dimensiones de los elementos estructurales (EE)

Las dimensiones de la serie de elementos estructurales (EE) se muestra en la tabla 5 anterior donde los elementos se configuran de acuerdo a la modulación internacional "M", siendo el orden de la tabla ascendente en dimensiones de elementos. Habrá que tener en consideración que los elementos estructurales no podrán adoptar medidas exactas de dimensiones reales bajo la modulación "M", puesto que la coordinación dimensional estaría conformada a ejes de estructura, por lo tanto, al ser el elemento pasante vertical, los elementos deberán conectar a él y en consecuencia, sus dimensiones a ejes si serán modulados y sus dimensiones reales serán algo menores a estos, estando en orden a los submúltiplos de "M".

3.4.4 Pórticos estructurales. PE

Los Pórticos Estructurales (PE) serán la combinación de elementos estructurales horizontales (EEh) y verticales (EEv) (véase apartado 3.4.3) en un mismo plano unidos dos a dos (figura 183). Estas uniones posibilitarán la formación de los volúmenes estructurales (véase capítulo 4), siendo, a su vez las funciones principales de los elementos integrantes las siguientes (tabla 6):

Tabla 6. Tipos de elementos estructurales (EE) y funciones

Elementos estructurales (EE)	
Tipos	Funciones
EEv	Transmitir las cargas en el sistema estructural flexible (SEF), marcando la prioridad, según se había comentado con anterioridad, convirtiéndose en los elementos pasantes.
	Unión a ellos de distintos sistemas independientes
EEh	Reparto de cargas hacia los elementos estructurales verticales (EEv) y la formación del entramado de planta que posibilitará disponer de rigidez estructural
	Apoyo a otros sistemas independientes, como es el caso del sistema de cubierta flexible (SCF)

Fuente: Elaboración propia

3.4.4.1 Tipos de pórticos estructurales (PE)

Se distinguen 2 tipos de pórticos estructurales (figura 185):

1. Pórtico estructural interior (PE_i)

Estos pórticos generarán los volúmenes interiores diáfanos.

2. Pórtico estructural exterior (PE_e): Formador del perímetro exterior

Estos pórticos formarán el perímetro de todos los volúmenes diáfanos, estando sus 4 caras configuradas por ellos. Los elementos estructurales horizontales (EEh) que formarán la planta de piso.

Ambos pórticos son perpendiculares entre sí y dotarán al sistema estructural flexible (SEF) de la posibilidad de permitir el paso en cualquier lugar del mismo (véase 3.4.4.4. apertura de huecos). Ambos pórticos compartirán los elementos estructurales verticales (EEv), estableciendo el principio de no repetición de elementos en el sistema (figura 185).

3.4.4.2 Formación de pórticos estructurales (PE)

Los pórticos estructurales (PE) se forman con dos elementos estructurales verticales (EEv) y dos elementos estructurales horizontales (EEh) (figura 183), fijados por medio de tornillería y un nuevo elemento, la escuadra de fijación (figura 194), aunque su descripción se tratará de manera más detallada posteriormente, cabe citarla para mejorar la compresión en la formación de los pórticos estructurales (figura 184).

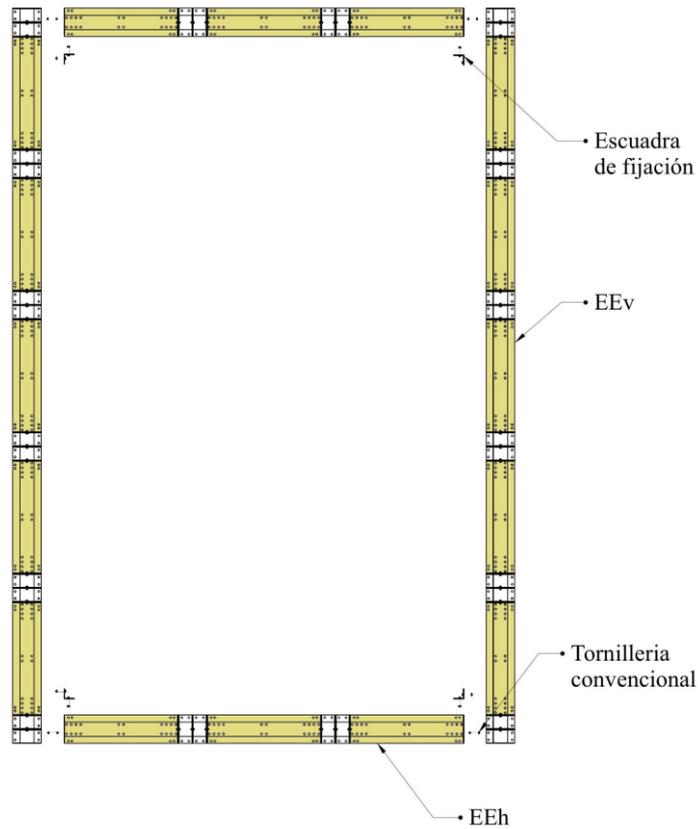


Figura 183. Formación de pórtico estructural. EEh y EEv
Fuente: Elaboración propia

Formado el pórtico estructural (PE) cada uno de los 2 tipos adoptará las dimensiones expuestas en el apartado 3.4.4.3.

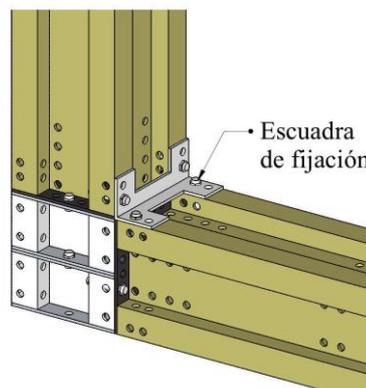


Figura 184. Encuentro con escuadra de fijación
Fuente: Elaboración propia

La integración de estos pórticos entre sí se tratará con la formación de los volúmenes diáfanos (véase capítulo 4). En la figura 185 siguiente se observa la colocación y forma de los pórticos estructurales (PE) en su conjunto como integradores y configuradores de los volúmenes estructurales.

Volúmenes estructurales: $\sum PE$

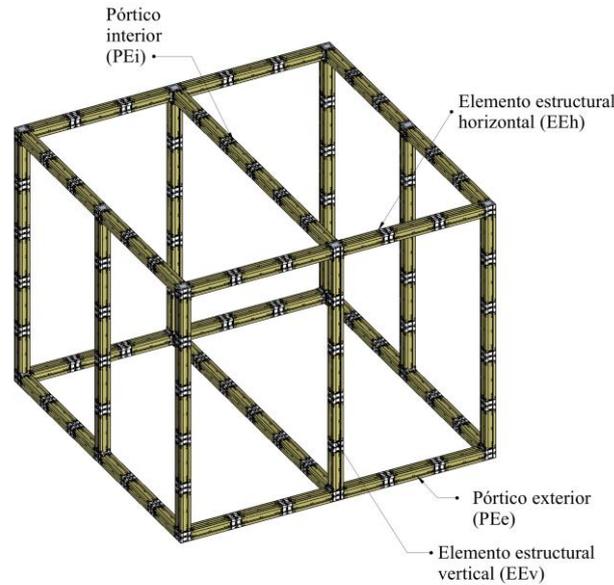


Figura 185. Volumen diáfano estructural. PEe y PEi
Fuente: Elaboración propia

3.4.4.3 Dimensiones de los pórticos estructurales (PE)

Atendiendo a los 2 tipos de pórticos, pórticos estructurales interiores (PE_i) y pórticos estructurales exteriores (PE_e) (figura 185), las dimensiones de cada uno variarán en función de los EE utilizados.

1. PE_i : Adoptará las dimensiones de los elementos estructurales horizontales (EEh) de longitud máxima 48M y de elementos estructurales verticales (EEv) variable en función de los dos tipos que admite el sistema estructural flexible (SEF) (figura 179), según sea para 1ª o 2ª planta en la edificación (tabla 5).
2. PE_e : En este caso, constará de tres posibles dimensiones a ejes en la dirección horizontal (EEh) de 18M, 12M y 6M (figura 186) y de dos dimensiones en el eje vertical (EEv) como en el caso anterior.

Estos dos tipos de pórticos configurarán el volumen estructural diáfano, ahora bien, los espacios entre ellos tanto en el plano vertical (PE_e y PE_i) como en el horizontal (plantas de piso superior e inferior), se completarán mediante elementos estructurales (EE) verticales variables (figura 187) y horizontales variables (figura 188), quedando la separación máxima finalmente entre estos elementos estructurales (EE) en 6M (600mm). Los elementos estructurales “variables” tienen la capacidad de desmontaje directo, dando lugar a la apertura de huecos en casi cualquier lugar, en los planos verticales dando la posibilidad de crear (puertas o ventanas) y en el plano horizontal permitiendo la realización del hueco de escalera.

La tabla siguiente (tabla 7) muestra los distintos elementos estructurales (EE) disponibles (figura 179), y sus posibilidades de colocación. Según se había comentado la universalidad del sistema hace posible que la mayor parte de los mismos se puedan montar tanto como elemento estructural horizontal como vertical, como se observa, la tabla distingue a su vez, entre fijos y variables.

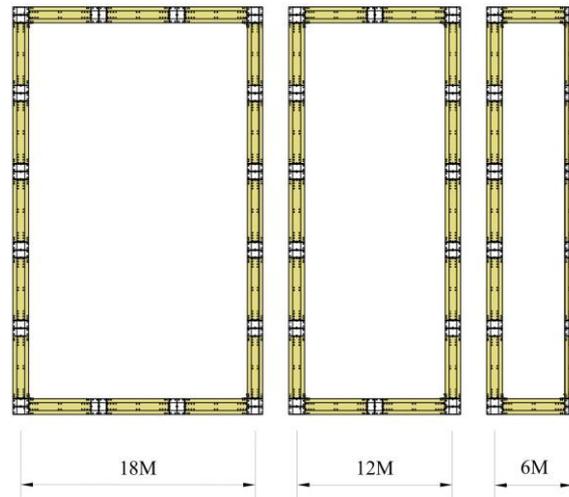


Figura 186. PEE tipos: 18M, 12M y 6M
Fuente: Elaboración propia

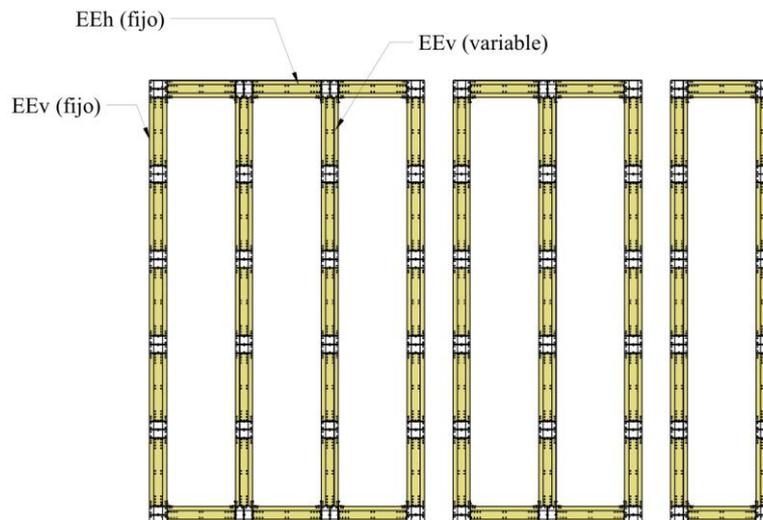


Figura 187. PEE con EE variables cada 6M
Fuente: Elaboración propia

3.4.4.4. Apertura de huecos

El sistema estructural flexible (SEF) al ser un sistema flexible, con capacidad de montaje y desmontaje de sus elementos, crea la posibilidad de abrir un hueco tanto en su:

- Plano vertical**, a través de los elementos estructurales verticales (EEv).
- Plano horizontal**, a través de los elementos estructurales horizontales (EEh) de planta de piso.

El sistema de construcción flexible está diseñado para ser un sistema de autoconstrucción y por consiguiente automodificable ó variable, en pocas palabras auto adaptativo, pero debido a la importancia del sistema estructural flexible (SEF) como sistema compositivo y sobre todo resistente en el sistema de construcción flexible, establecemos unas limitaciones en referencia a la seguridad de las personas, cabe esperar que debido a esto habrá que distinguir entre elementos que requieren una supervisión por parte de técnicos cualificados en las labores de

montaje y desmontaje, y otros que se podrán variar sin tal supervisión por considerarlos de menor incidencia.

Según lo mencionado distinguimos:

a. Elementos estructurales fijos

Elementos estructurales verticales u horizontales que conforman la estructura principal, entendiéndose por principal la que distribuye las cargas, siendo considerados los elementos estructurales verticales (EEv) como elementos pasantes y prioritarios, y que participan en la formación de los pórticos estructurales (PE), como también los elementos estructurales horizontales (EEh) que se unen a estos y conforman la planta de piso con la dirección establecida (figura 188).

b. Elementos estructurales variables:

Serian aquellos elementos estructurales que no poseen la importancia estructural anterior, siendo dispuestos en el interior de los espacios de los elementos estructurales (EE) fijos (figura 188).

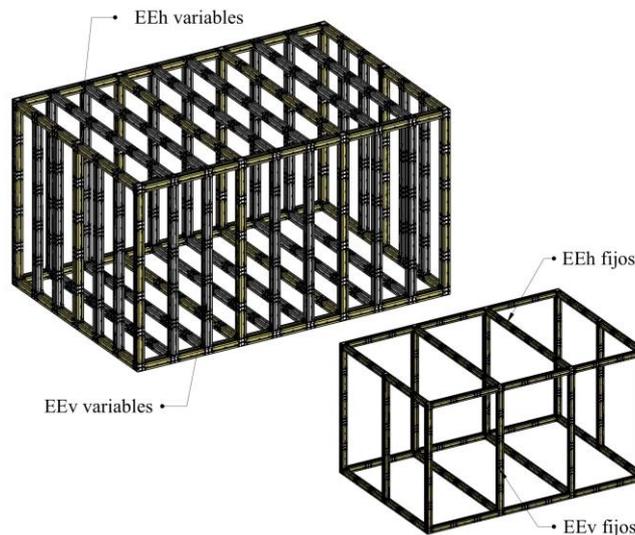


Figura 188. PEe. Ejemplo de volumen conformado con EE fijos y variables y, sólo fijos.

Fuente: Elaboración propia

En relación a los posibles montajes de los elementos estructurales (EE) con las posiciones que deben ocupar en el sistema estructural flexible (SEF), tanto elementos estructurales verticales (EEv) como elementos estructurales horizontales (EEh), las posibles colocaciones de cada uno de ellos se simplifican en la siguiente tabla 7. Debemos tener en cuenta que el sistema estructural flexible (SEF) se diseñó considerando los elementos estructurales verticales (EEv) pasantes y prioritarios frente a los horizontales.

La tabla siguiente (tabla 7) muestra los distintos elementos estructurales (EE) disponibles (figura 179), y sus posibilidades de colocación, según se había comentado la universalidad del sistema hace posible que la mayor parte de los mismos se puedan montar tanto como elemento estructural horizontal como vertical, como se observa, la tabla distingue a su vez, entre fijos y variables.

Tabla 7. EE y sus posibles montajes dentro del SEF

Relación EE – Tipo de montaje				
Tipo EE	Posición			
	Horizontal		Vertical	
	Fijo	Variable	Fijo	Variable
EE1		X		X
EE2	X	X		X
EE3	X	X		X
EE4	X	X		X
EE5	X	X		X
EE6	X	X		X
EE7	X	X		X
EE8	X	X		X
EE9			X	
EE10			X	

Fuente: Elaboración propia

La apertura de huecos tanto en plano horizontal (planta de piso) como en el vertical, pórtico estructural (PE), se muestran en la tabla siguiente (tabla 8), donde se aprecian las dimensiones de apertura máxima. Estos huecos, a su vez, se podrán configurar con elementos estructurales (EE) variables para obtener el entramado adecuado (figura 189).

Tabla 8. Aperturas máximas en el SEF

Huecos			
Posición	Abertura máxima	Utilidad	Dimensiones
Vertical	18Mx30M	Paso de personas Paso de luz	18M ancho máximo PEe 30M altura máxima
Horizontal	18MX48M	Escalera Paso de luz	18M ancho máximo PEe 48M longitud máxima

Fuente: Elaboración propia

3.4.4.4.1 Apertura en el plano vertical

Las aperturas en este plano son posibles por el desmontaje de los elementos estructurales verticales (EEv) variables de los pórticos estructurales exteriores (PEe) (figura 189-190) y como ya se comentó en el apartado 3.4.4.3. cuando se citaron los tipos de pórticos estructurales (PE) y su desmontaje correspondiente.

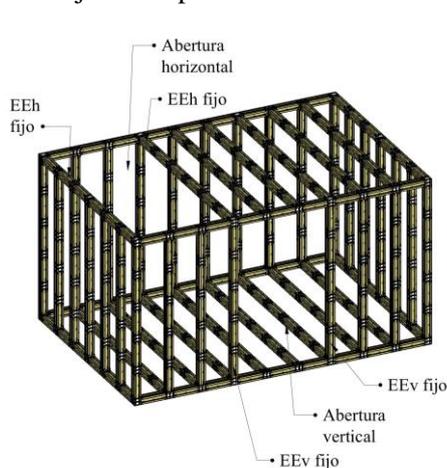


Figura 189. Apertura de huecos en vertical (puerta) y horizontal (hueco de escalera)

Fuente: Elaboración propia

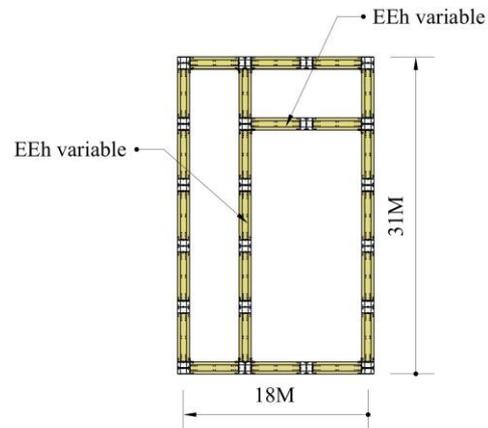


Figura 190 Aperturas máximas de los PEe

Fuente: Elaboración propia

3.4.4.2 Apertura en el plano horizontal

Las aperturas en este plano se realizan a través de los elementos estructurales horizontales (EEh) y su desmontaje correspondiente, al igual que el caso anterior, afectará a aquellos elementos estructurales variables (tabla 7) (figura 188). Un condicionante a destacar de los elementos estructurales horizontales (EEh) que configuran los pórticos estructurales exteriores (PEe) de dimensiones 18M y 12M es que **deberán soportar las cargas que le lleguen a su zona intermedia de los elementos estructurales horizontales (EEh)**, perpendiculares a ellos y pertenecientes a los elementos de planta de piso. **En ningún elemento del sistema estructural flexible (SEF) se permitirán las uniones en las zonas intermedias salvo en estos elementos estructurales horizontales (EEh)** (figura 191) y en los que se les unen los elementos horizontales de rigidización (figura 192).

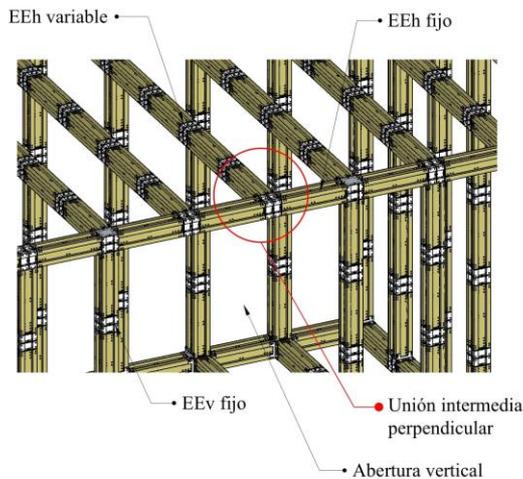


Figura 191. Unión de EEh en el PEe
Fuente: Elaboración propia

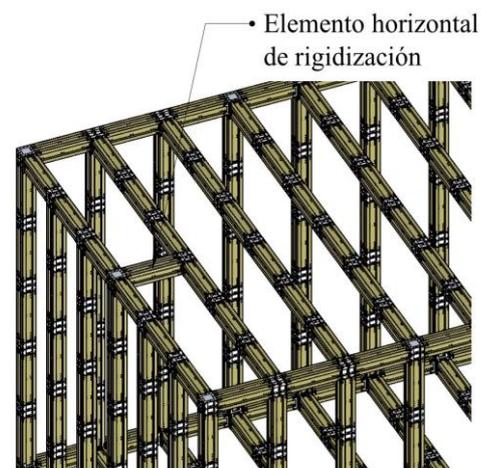


Figura 192. EEh de rigidización de planta de piso
Fuente: Elaboración propia

Los elementos estructurales horizontales (EEh) de las plantas de piso se ensamblarán en las cabezas de los elementos verticales de los pórticos ó en los elementos estructurales horizontales (EEh) de los pórticos estructurales exteriores (PEe) de manera perpendicular entre ellos (figura 191).

Los elementos estructurales horizontales (EEh) que conforman el sistema estructural flexible (SEF) deben ir siempre montados en los pórticos estructurales, la apertura máxima podrá ser de 18M (tabla 8), coincidiendo justamente con los elementos estructurales verticales que serán los encargados de distribuir las cargas. Así para el caso de tener que disponer de un hueco para el paso de escalera, los elementos estructurales horizontales (EEh) intermedios podrán ser desmontados facilitando la apertura entre medias y en cualquier lugar en los vanos correspondientes a la zona intermedia de planta entre elementos estructurales verticales (EEv) (figura 193).

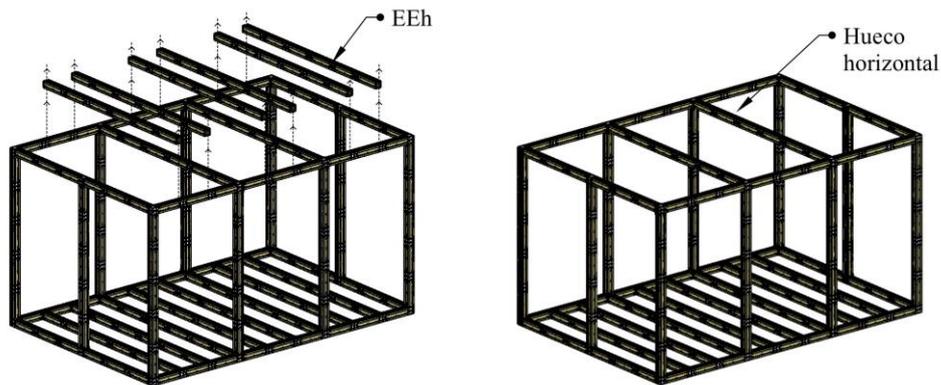


Figura 193. Apertura de huecos en horizontal (hueco escalera)
Fuente: Elaboración propia

3.4.5 Uniones entre los elementos del sistema estructural flexible (SEF). Formación y tipos

Siguiendo con los criterios generales propuestos para el sistema estructural flexible (SEF), las uniones van a requerir unas características acordes con el propio sistema en el que se deben de integrar, por tanto, estas deberán de plantearse de acuerdo con los siguientes principios:

1. Uniones con capacidad de montaje y desmontaje.
 2. Uniones intuitivas para personas sin experiencia en el sector.
 3. El número de nuevos elementos industrializados distintos será mínimo.
 4. Uniones iguales o de características similares para todos los elementos del sistema.
- (Montaje sistemático)**

3.4.5.1. Formación de uniones. Elementos integradores y clases de apoyo

En todas las uniones del sistema estructural flexible (SEF) solamente se utilizarán 3 componentes (figura 194):

- a) Tornillería de \varnothing 8mm x 50mm (T1) y \varnothing 10mm x 180mm (T2)
- b) Escuadra de fijación de e: 3mm. (T3)

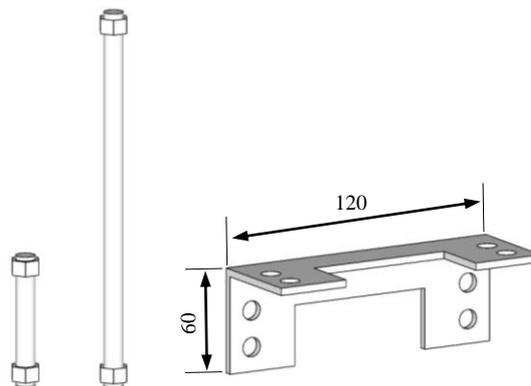


Figura 194. Componentes de unión T1, T2 y T3
Fuente: Elaboración propia

Estas uniones en el sistema estructural flexible (SEF) se realizan de manera directa entre sus elementos estructurales, es decir, no incorpora ningún elemento intermedio y su fijación se

realiza por medio de tornillería, únicamente y como se describirá con más detalle a continuación, en las uniones entre elementos estructurales horizontales (EEh) y elementos estructurales verticales (EEv) incorporamos la escuadra de fijación siguiente:

La escuadra de fijación tendrá 2 posiciones fundamentalmente:

- Posición horizontal por debajo o encima de la cabeza del elemento estructural a conectar o fijar (figura 195) (figura 196).
- Posición vertical en los laterales de las cabezas de los elementos estructurales a fijar para enlazarlos entre sí. (figura 197)

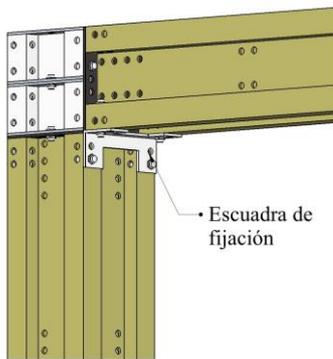


Figura 195. Escuadra por debajo
Fuente: Elaboración propia

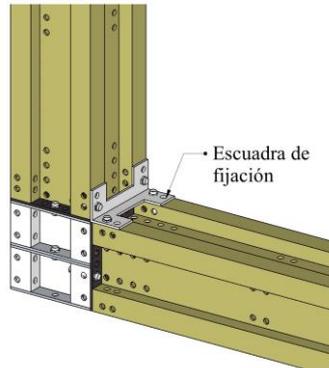


Figura 196. Escuadra por encima
Fuente: Elaboración propia

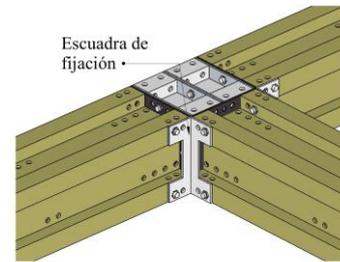


Figura 197. Escuadra en los laterales
Fuente: Elaboración propia

Estos posicionamientos de la escuadra combinados con la utilización o no de la tornillería, pueden crear dos tipos distintos de comportamiento general de la unión entre los elementos estructurales (EE) (figura 198), dependiendo de las exigencias preestablecidas, estos son:

- Unión flexible:** Se basa en la colocación únicamente de una escuadra en posición inferior o superior. (figura 198)
- Unión semirrígida:** Se basa en la colocación de 1 escuadra y la colocación de tornillería independiente de unión entre los dos elementos. (figura 198)

Todas las uniones se realizarán a través de los agujeros diseñados en los perfiles para contribuir a la fijación de los correspondientes elementos.

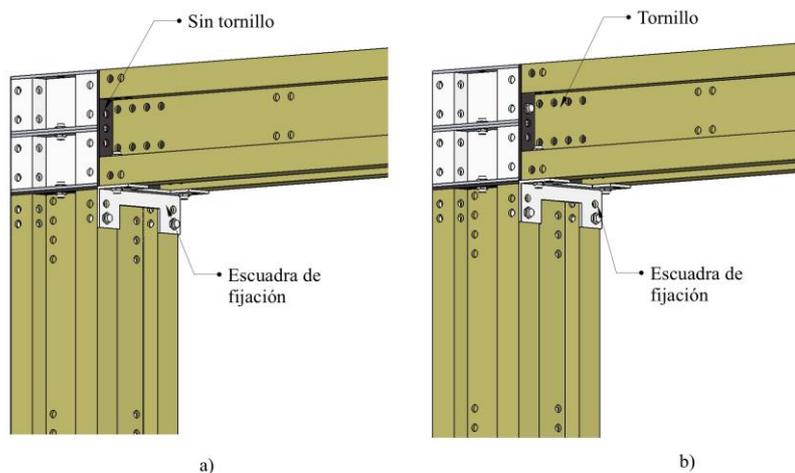


Figura 198. Diferencia entre unión flexible y semirrígida por medio de escuadra + tornillos.
a) Articulada (con escuadra y sin tornillo), y b) semirrígida (con escuadra y con tornillo)
Fuente: Elaboración propia

3.4.5.2. Tipos de uniones del sistema estructural flexible (SEF).

Las uniones a considerar estarán condicionadas por los tipos de elementos a unir y la posición que ocupan estos dentro del sistema estructural flexible (SEF), para facilitar su clasificación se dispone de una tabla (tabla 9) a modo de esquema:

Tabla 9. Casos posibles de uniones

Posibles casos de uniones		Figuras	
1.	Uniones en la misma dirección		
	1.1.	Uniones entre unidades básicas estructurales UBE_1 y UBE_2 dando unidades estructurales (UE) (figura 176)	
	1.2.	Uniones entre unidades estructurales UE dando como resultado los elementos estructurales (EE) (Figura 181) (Figura 182)	
	En ambos casos se realizarán de la misma manera y como ya se comentó en el apartado 3.4.2.1. y 3.4.3.1.		
2.	Uniones en ángulo - Nudos		
	2.1.	Estructura Fija	
		Elementos estructurales verticales (EEv) en continuidad.	
		Elementos estructurales horizontales (EEh) discontinuos.	
	2.1.1.	Esquina	
		1ºPlanta	199-200-201-202-203
		2ºPlanta	204-205-206-207
	2.1.2.	Intermedio sin elemento horizontal de planta	
		1ºPlanta	208-209-210
		2ºPlanta	211-212
	2.1.3.	Intermedio con elemento horizontal de planta	
		1ºPlanta	213-214-215-216
		2ºPlanta	217-218-219-220-221
2.2.	Estructura Variable.		
	Elementos estructurales verticales (EEv) discontinuos.		
	Elementos estructurales horizontales (EEh) discontinuos.		
	2.2.1.	Intermedios a elemento estructural horizontal	
		1ºPlanta	
	2ºPlanta		

La tabla 9 sintetiza todas y cada una de las posibles uniones del sistema estructural flexible (SEF), a continuación, se mostrarán estas uniones para definir las con más detalle:

2.	Uniones en ángulo - Nudos	
2.1.	Estructura Fija	
	Elementos estructurales verticales (EEv) en continuidad.	
	Elementos estructurales horizontales (EEh) discontinuos.	
	2.1.1.	Esquina

1º PLANTA

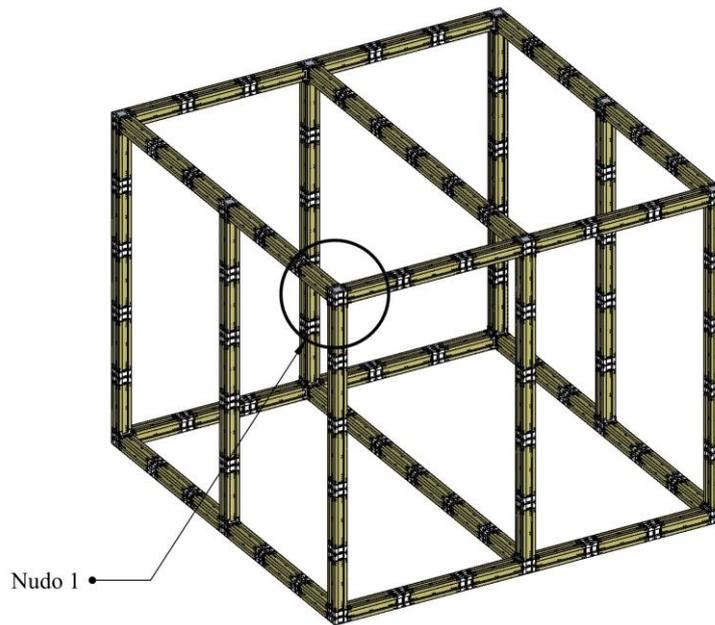


Figura 199. Esquina de la 1ªPlanta
Fuente: Elaboración propia

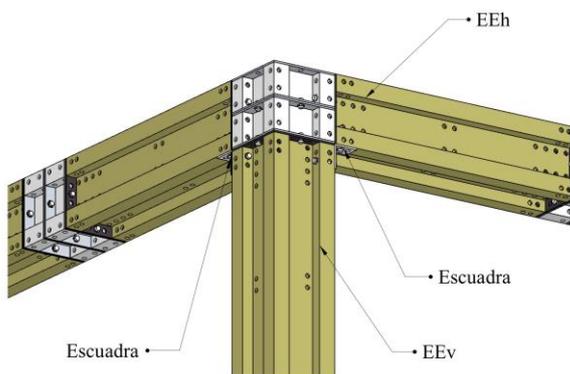


Figura 200. Nudo1-Vista exterior abajo.
EEv continuo. Fuente: Elaboración propia

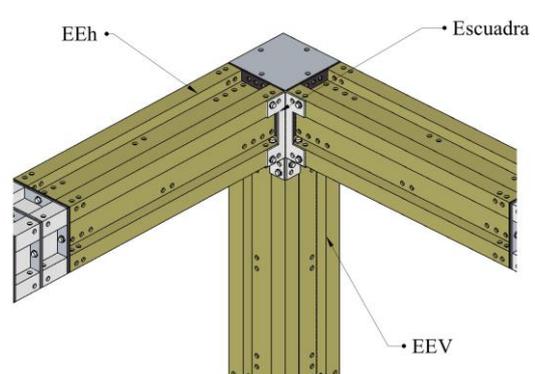


Figura 201. Nudo1-Vista interior arriba.
EEv continuo. Fuente: Elaboración propia

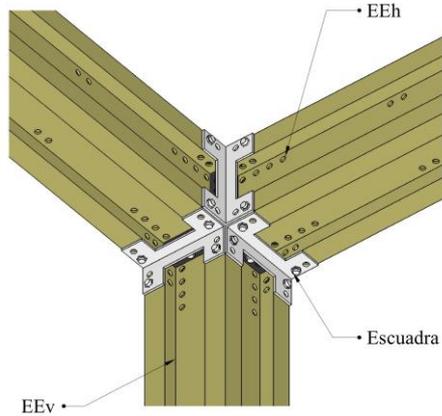


Figura 202. Nudo 1- Vista interior abajo. EEv continuo
Fuente: Elaboración propia

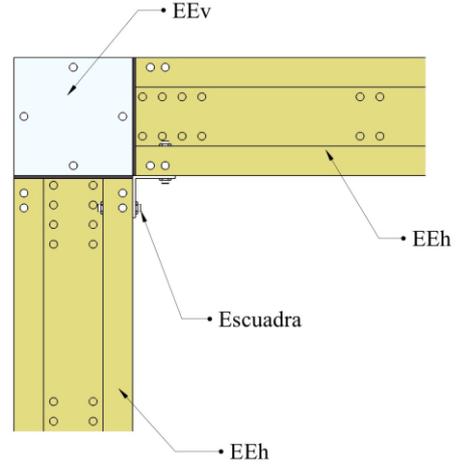


Figura 203. Nudo 1 - Vista planta. EEv continuo
Fuente: Elaboración propia

2º PLANTA

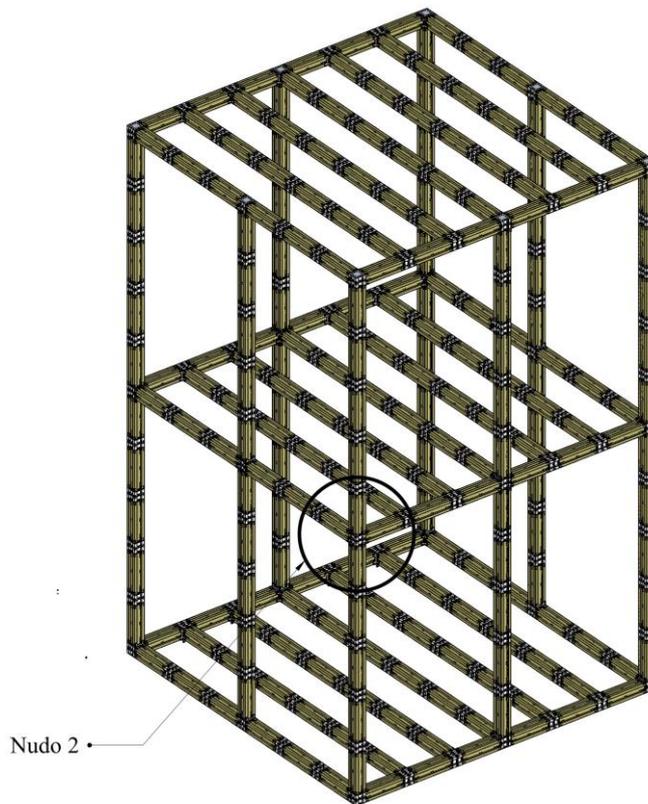


Figura 204. Nudo 2 - Esquina con segunda planta
Fuente: Elaboración propia

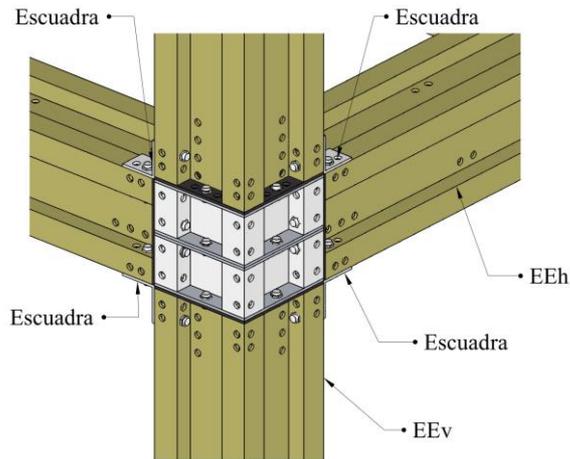


Figura 205. Nudo 2 - Vista exterior arriba. EEv continuo. Fuente: Elaboración propia

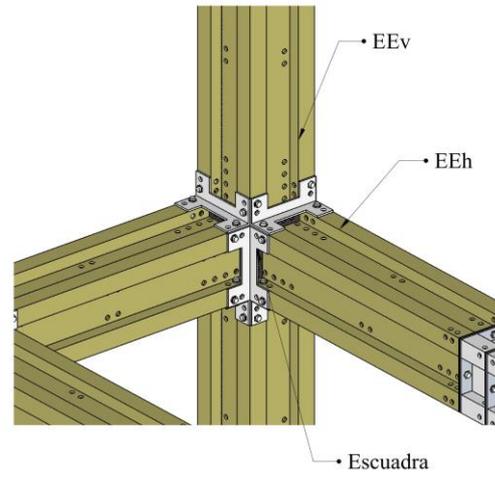


Figura 206. Nudo 2 - Vista interior arriba. EEv continuo. Fuente: Elaboración propia

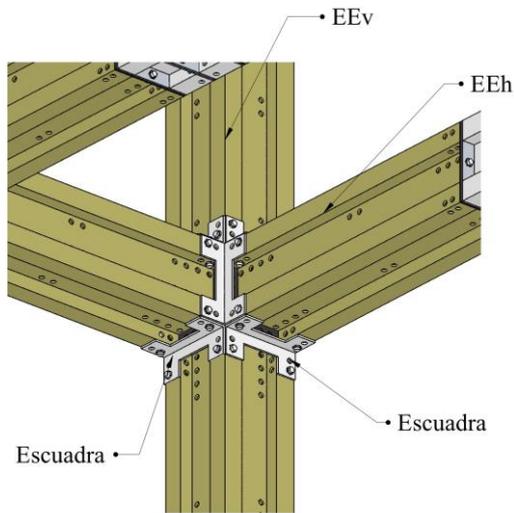


Figura 207. Nudo 2 - Vista interior abajo. EEv continuo. Fuente: Elaboración propia

2.	Uniones en ángulo - Nudos	
	2.1.	Estructura Fija
		Elementos estructurales verticales (EEv) en continuidad.
		Elementos estructurales horizontales (EEh) discontinuos.
	2.1.2.	Intermedio sin elemento horizontal de planta

1º PLANTA

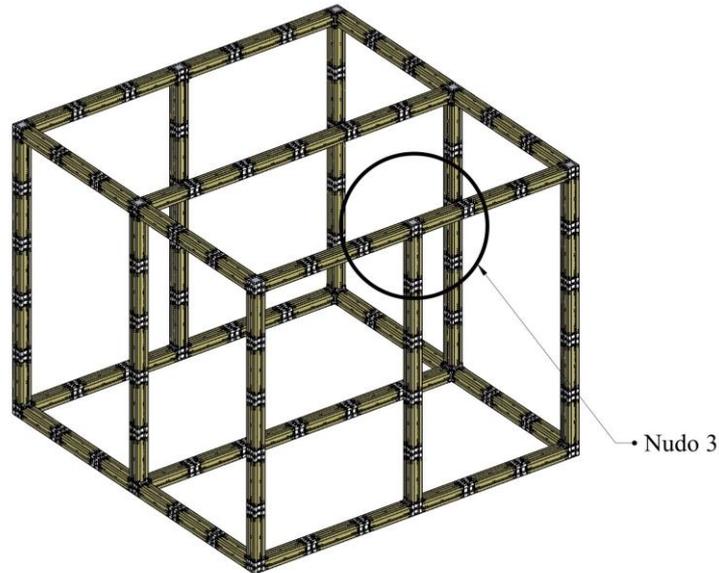


Figura 208. Nudo 3 - Encuentro de PE entre EEv continuo con EEh, sin EEh de planta
Fuente: Elaboración propia

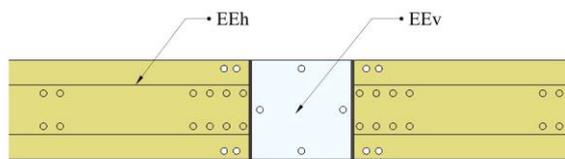


Figura 209. Nudo 3 - Vista planta. EEv continuo
Fuente: Elaboración propia

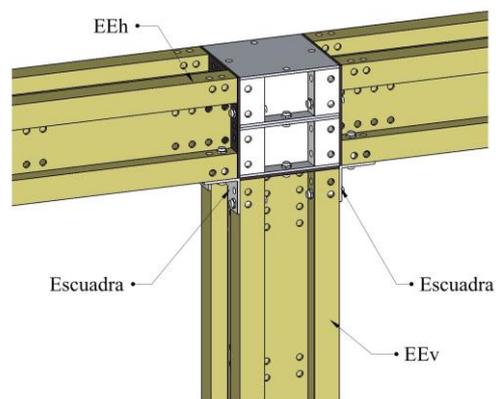


Figura 210. Nudo 3 - Vista exterior. EEh continuo
Fuente: Elaboración propia

2° PLANTA

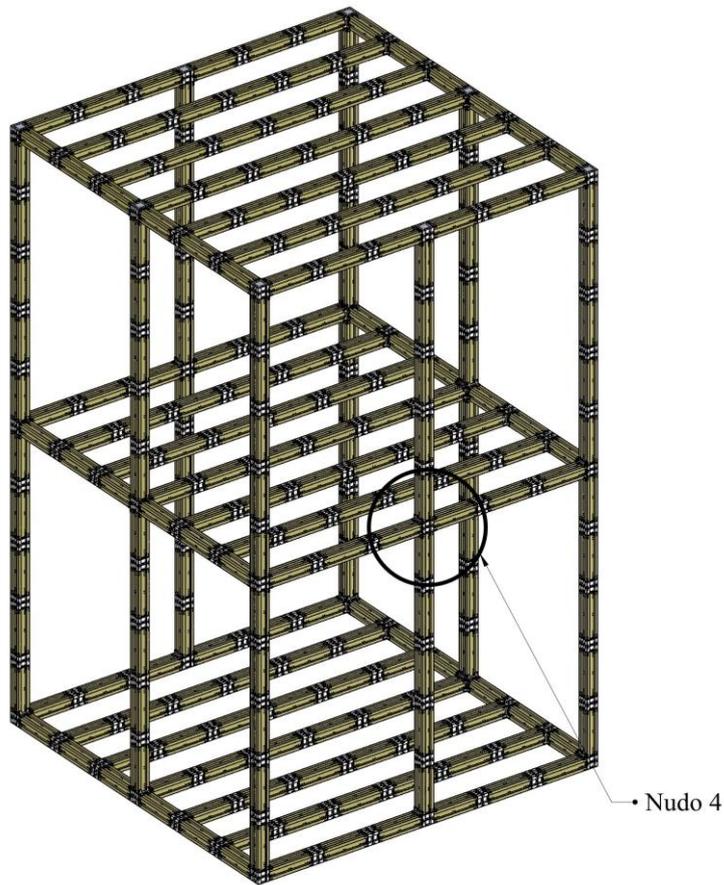


Figura 211. Nudo 4 - Encuentro de PE entre EEv continuo y EEh, sin EEh de planta
Fuente: Elaboración propia

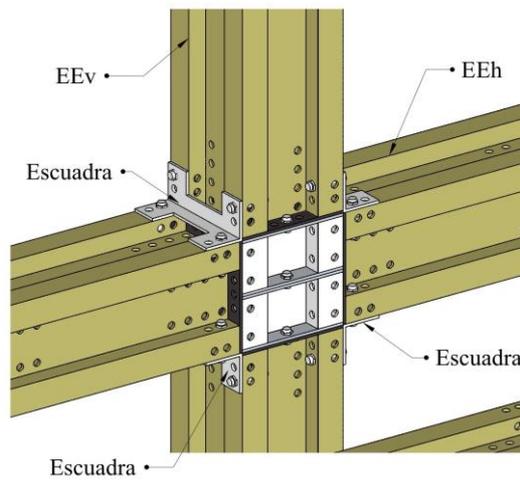


Figura 212. Nudo 4 - Vista exterior. EEv continuo
Fuente: Elaboración propia

2.	Uniones en ángulo - Nudos	
	2.1.	Estructura Fija
		Elementos estructurales verticales (EEv) en continuidad.
		Elementos estructurales horizontales (EEh) discontinuos.
	2.1.3.	Intermedio con elemento horizontal de planta

1º PLANTA

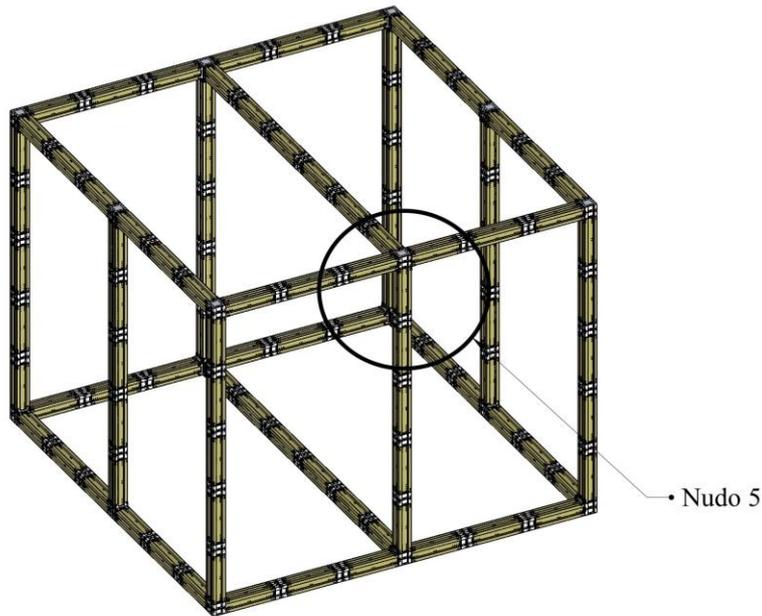


Figura 213. Nudo 5 - Encuentro de PE entre EEv continuo y EEh, con EEh de planta
Fuente: Elaboración propia

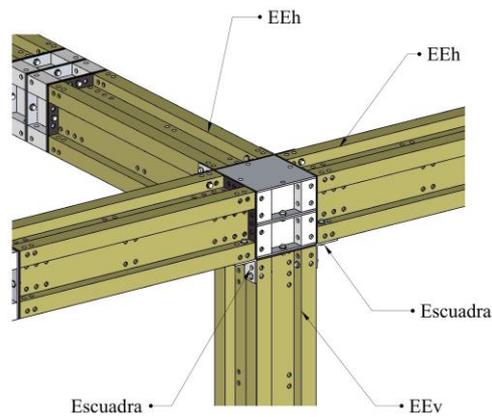


Figura 214. Nudo 5 - Vista exterior. EEv continuo
Fuente: Elaboración propia

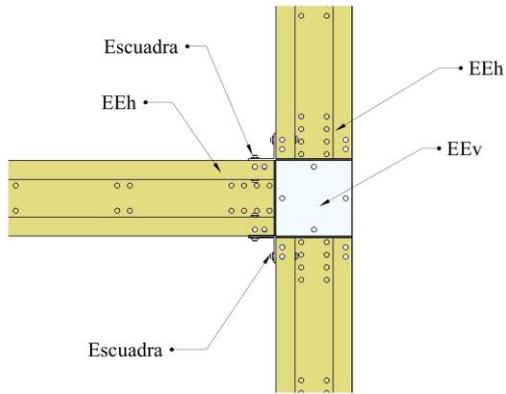


Figura 215. Nudo 5 - Vista en planta. EEv continuo
Fuente: Elaboración propia

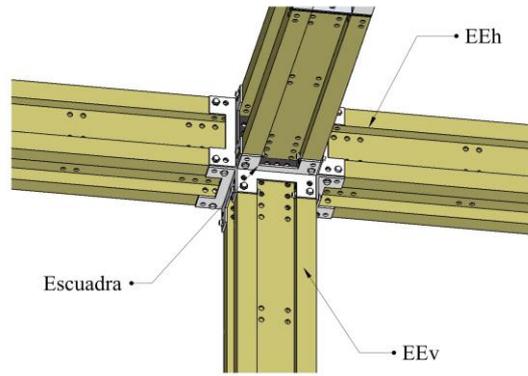


Figura 216. Nudo 5 - Vista desde abajo. EEv continuo. Fuente: Elaboración propia

2º PLANTA

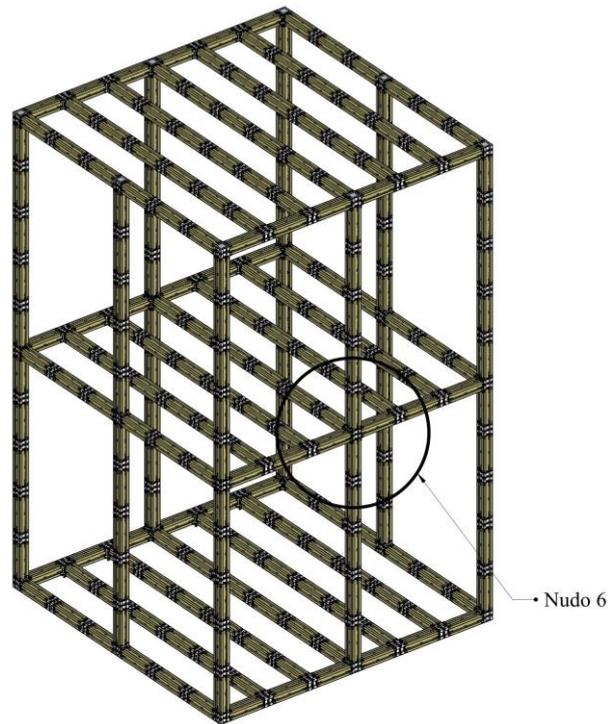


Figura 217. Nudo 6 - Encuentro de PE entre EEv continuo y EEh, con EEh de planta
Fuente: Elaboración propia

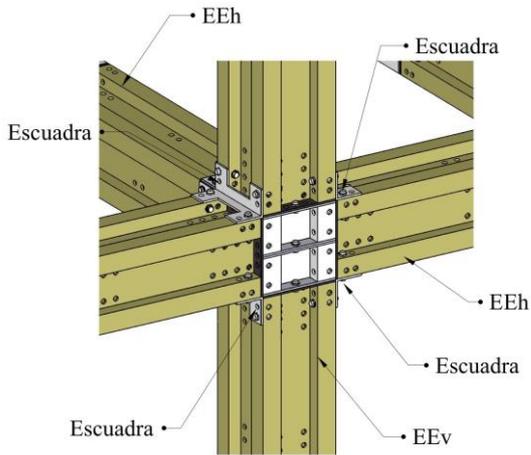


Figura 218. Nudo 6 - Vista exterior. EEv continuo. Fuente: Elaboración propia

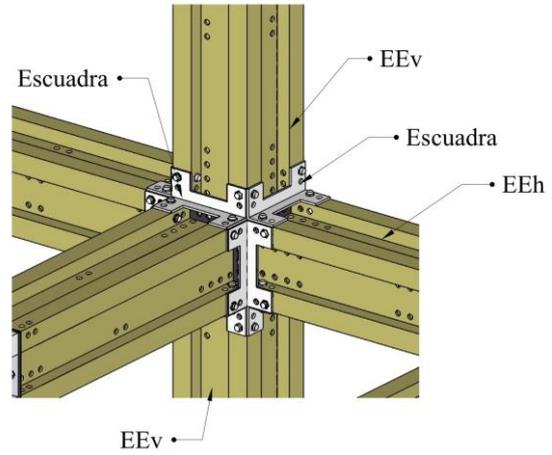


Figura 219. Nudo 6 - Vista interior. EEv continuo. Fuente: Elaboración propia

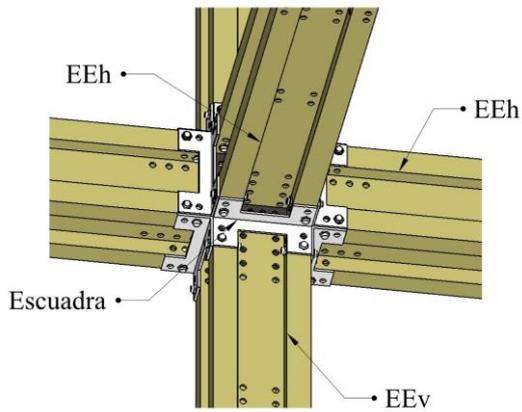


Figura 220. Nudo 6 - Vista interior abajo. EEv continuo. Fuente: Elaboración propia

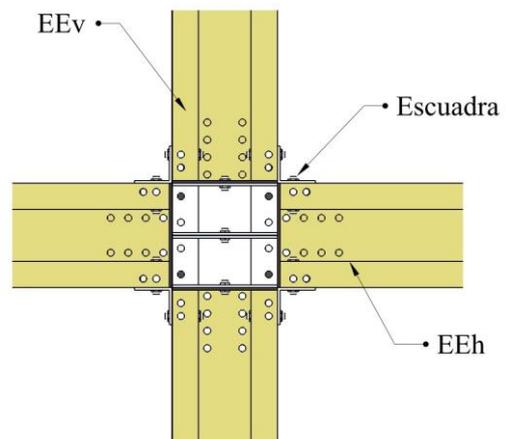


Figura 221. Nudo 6 - Vista en alzado. EEv continuo. Fuente: Elaboración propia

2.	Uniones en ángulo - Nudos	
	2.2.	Estructura Variable.
		Elementos estructurales verticales (EEv) discontinuos.
		Elementos estructurales horizontales (EEh) discontinuos.
	2.2.1.	Intermedios a elemento estructural horizontal

1º PLANTA

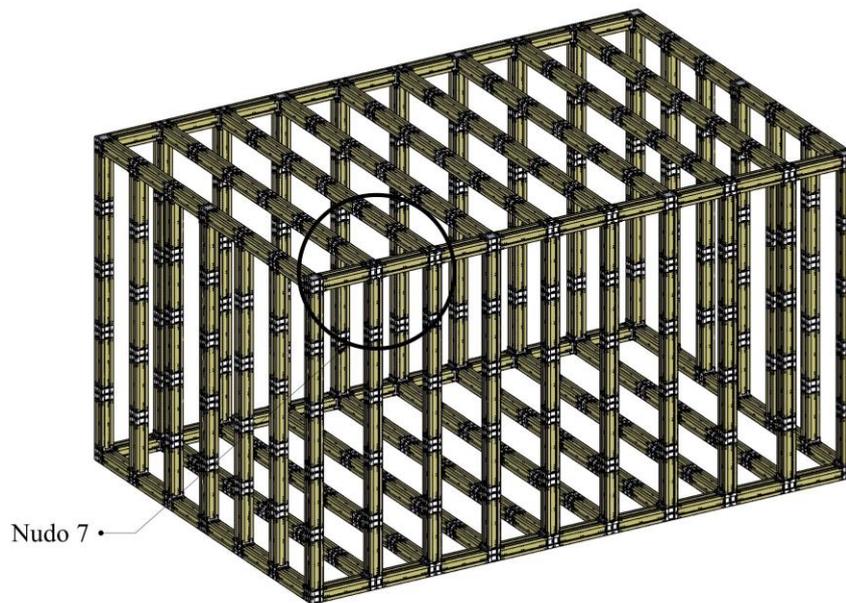


Figura 222. Encuentro de PE entre EEv discontinuo y EEh discontinuo de planta con EEh de PE en zona intermedia. Fuente: Elaboración propia

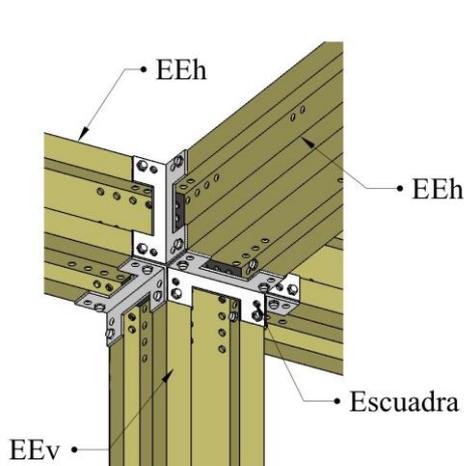


Figura 223. Nudo 7 - Vista desde abajo interior. Fuente: Elaboración propia

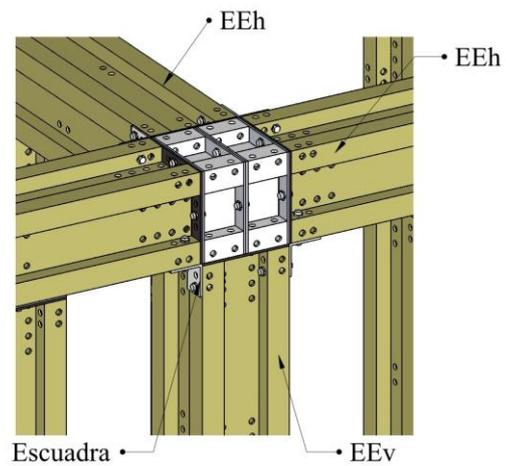


Figura 224. Nudo 7 - Vista exterior. Fuente: Elaboración propia

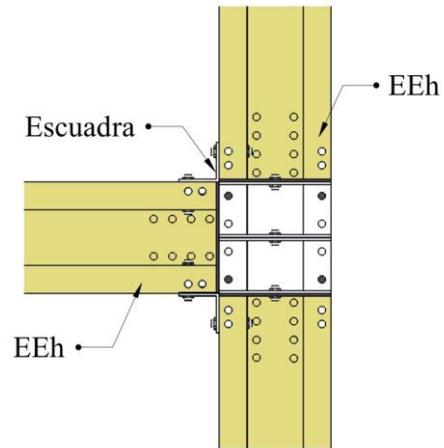


Figura 225. Nudo 7 - Vista de planta. EEv discontinuo
Fuente: Elaboración propia

2º PLANTA

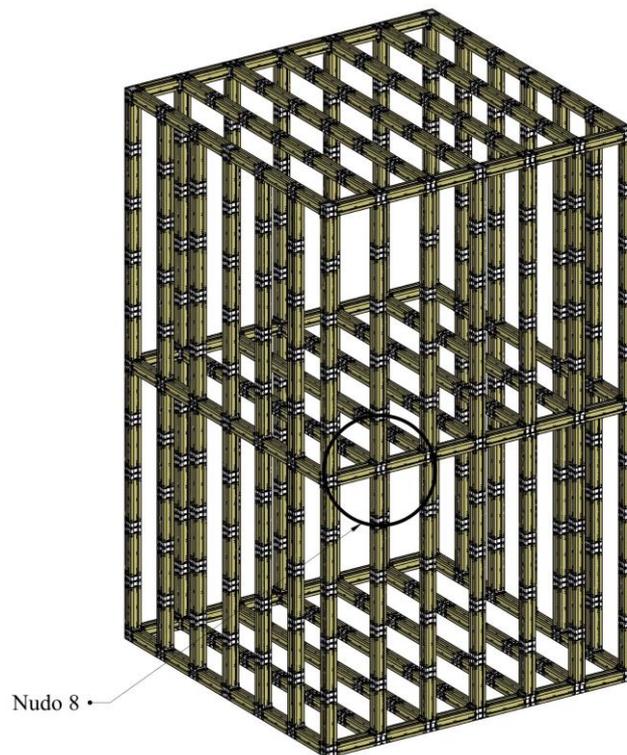


Figura 226. Nudo 8 - Encuentro de PE entre EEv discontinuo y EEh discontinuo de planta con EEh de PE en zona intermedia
Fuente: Elaboración propia

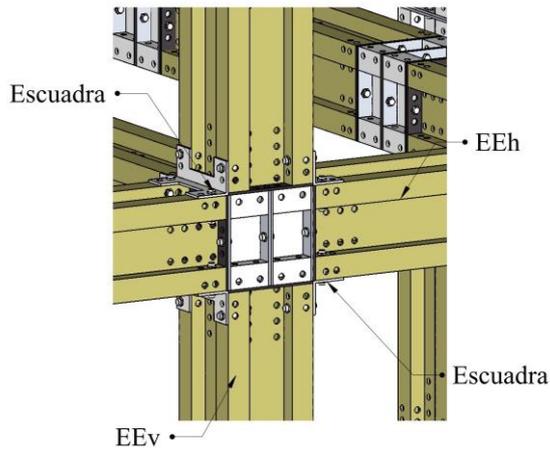


Figura 227. Nudo 8 - Vista exterior. EEv discontinuo
Fuente: Elaboración propia

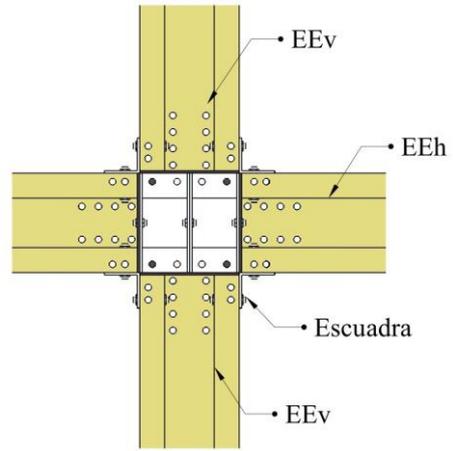


Figura 228. Nudo 8 - Vista desde abajo. EEv discontinuo. Fuente: Elaboración propia

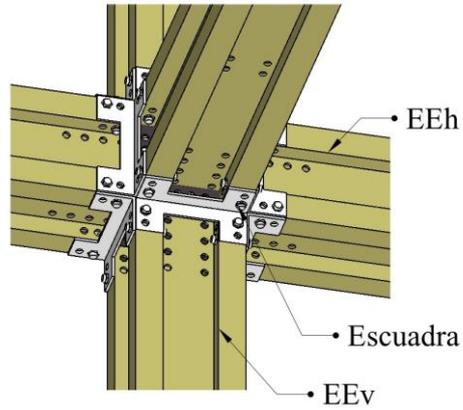


Figura 229. Nudo 8 - Vista alzado. EEv discontinuo
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4. Configuración de volúmenes

4.1. Volúmenes diáfanos estructurales

Los volúmenes a considerar según las funciones expuestas en la introducción estarán limitados bajo unas restricciones, de igual modo es en este apartado donde profundizaremos en las limitaciones dimensionales que consideramos más apropiadas de cara a la obtención de los volúmenes diáfanos finales por los elementos estructurales (EE).

Las limitaciones físicas contempladas en las hipótesis de partida nos hacen no sobrepasar las dimensiones longitudinales de 48M (4800mm), manteniendo constante la altura entre plantas de la edificación en 30M (3000mm). Estas premisas iniciales vienen consideradas por diversos factores entre los que destacan:

- Las cargas a soportar y transmitir.
- La forma y espesor de los perfiles.
- Las dimensiones acordes a los espacios diáfanos que se pretenden crear.
- La manejabilidad de elementos (máximo 2 personas)

Esto aspectos anteriores nos lleva a fijar dos límites o distinciones:

Volúmenes \leq 48M
Volúmenes $>$ 48M

Al referirnos a la creación de posibles volúmenes cabe recalcar que el sistema estructural flexible (SEF) está definido por distintos elementos estructurales (EE) industrializados de dimensiones reducidas, que van a permitir realizar multitud combinaciones con el objetivo de obtener diferentes diseños ortogonales, de esta manera nos surge la pregunta:

¿cuántos volúmenes diáfanos podemos obtener?

En respuesta a la pregunta, nos planteamos un orden estructural que será el encargado de establecer la regla o el patrón que controle el sistema de construcción flexible y, en caso particular, el que dirija la ordenación de cada uno de los elementos estructurales del sistema estructural flexible (SEF), basándonos en la modulación establecida de 6M.

4.1.1. Orden estructural. Patrón del sistema estructural flexible (SEF).

Partiendo de una altura constante entre plantas de valor 30M, los volúmenes variarán dimensionalmente en sus ejes X e Y. Para simplificar este procedimiento vamos a limitarnos a una representación plana. Esta situación nos ayuda a comprender mejor las posibilidades del sistema propuesto.

Podemos constituir un sistema de coordenadas cartesiano donde las ordenadas y las abscisas se van a hacer corresponder con los posibles valores dimensionales que pueden tomar tanto el ancho como el largo del volumen a obtener. De esta forma estaremos estableciendo una metodología de trabajo, con dos variables X e Y, acorde con el sistema propuesto.

Por otra parte, tomamos en consideración que tanto la variable ancho como la variable largo, van a tomar unos valores que corresponden justamente con los términos de la siguiente progresión aritmética:

$$a_n = a_1 + (n-1) d$$

Ecuación 1. Progresión aritmética del sistema estructural flexible (SEF) en la creación de volúmenes diáfanos

Siendo:

a_n : término general de la serie
 $a_1 = 6M$, primer término de la serie
 $n = 1, 2, 3, \dots, 7$
 $d =$ diferencia de valor $6M$

Resultando para nuestro caso:

$$a_n = 6M + (n-1) 6M$$

El primer término de la serie será $a_1=6M$, que podrá ser utilizado tanto para ordenadas como abscisas, y como consecuencia de ello el primer volumen diáfano obtenido será de $600 \times 600 \times 3000 \text{mm}$ (volumen mínimo) (figura 230), que a su vez corresponde al volumen más pequeño posible, propuesto por el sistema. Tomando otros valores, por ejemplo, para ordenadas $a_{y3}=18M$ y para abscisas $a_{x3}=18M$ resulta un volumen diáfano de $1800 \times 1800 \times 3000 \text{mm}$. De la misma forma podríamos obtener el resto de los valores para los posibles volúmenes creados por este sistema. A partir de este momento una vez obtenido el patrón aritmético cabe destacar el condicionante dimensional de $48M$ impuesto a sus elementos estructurales como límite, con lo que distinguiremos:

4.1.1.1. Volúmenes diáfanos $\leq 48M$.

Los volúmenes a crear según los ejes cartesianos X e Y podrían crecer a razón de $6M$ en las dos direcciones, esta gráfica (figura 230) muestra una matriz simétrica respecto a su diagonal y que representa los posibles volúmenes diáfanos a obtener por el sistema para valores $\leq 48M$.

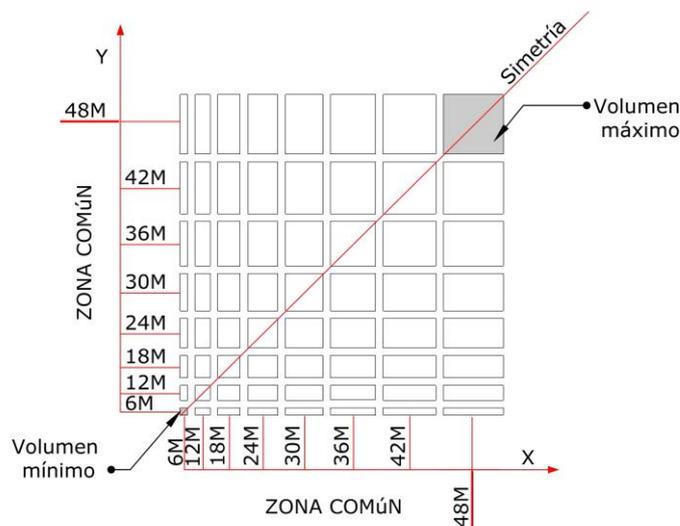


Figura 230. Matriz de volúmenes diáfanos $\leq 48M$
Fuente: Elaboración propia

Siendo como era de esperar que el máximo volumen diáfano que se puede llegar a obtener está limitado por una de las hipótesis de partida, según la cual el vano máximo es de $48M$, por tanto, el volumen máximo obtenido, según este criterio, es de $48M \times 48M \times 30M$.

4.1.1.2. Volúmenes diáfanos > 48M

Ahora surge otra pregunta: **¿es posible continuar ampliando volúmenes a partir de este valor de 48Mx48Mx30M?**

La respuesta es que **sí**, pero imponiendo la condición de mantener constante una longitud a_x ó a_y de valor igual a 48M y la otra variable a_y ó a_x que tomará valores de la misma progresión aritmética, pero ahora partiendo de $n \geq 8$ (formula 1), de esta forma los volúmenes obtenidos, no sobrepasarán la luz estructural de 48M. Así, si tomamos un valor constante para las ordenadas $a_{y8} = 48M$, podemos proponer variar las abscisas desde un inicio de $a_{x8} = 48M$, y continuando con $a_{x9} = 54M$, $a_{x10} = 60M$, etc.

Ahora, por tanto, estamos ante una nueva situación en la que la matriz general obtenida (figura 231) representa a todos los posibles volúmenes diáfanos a generar por el sistema estructural flexible (SEF).

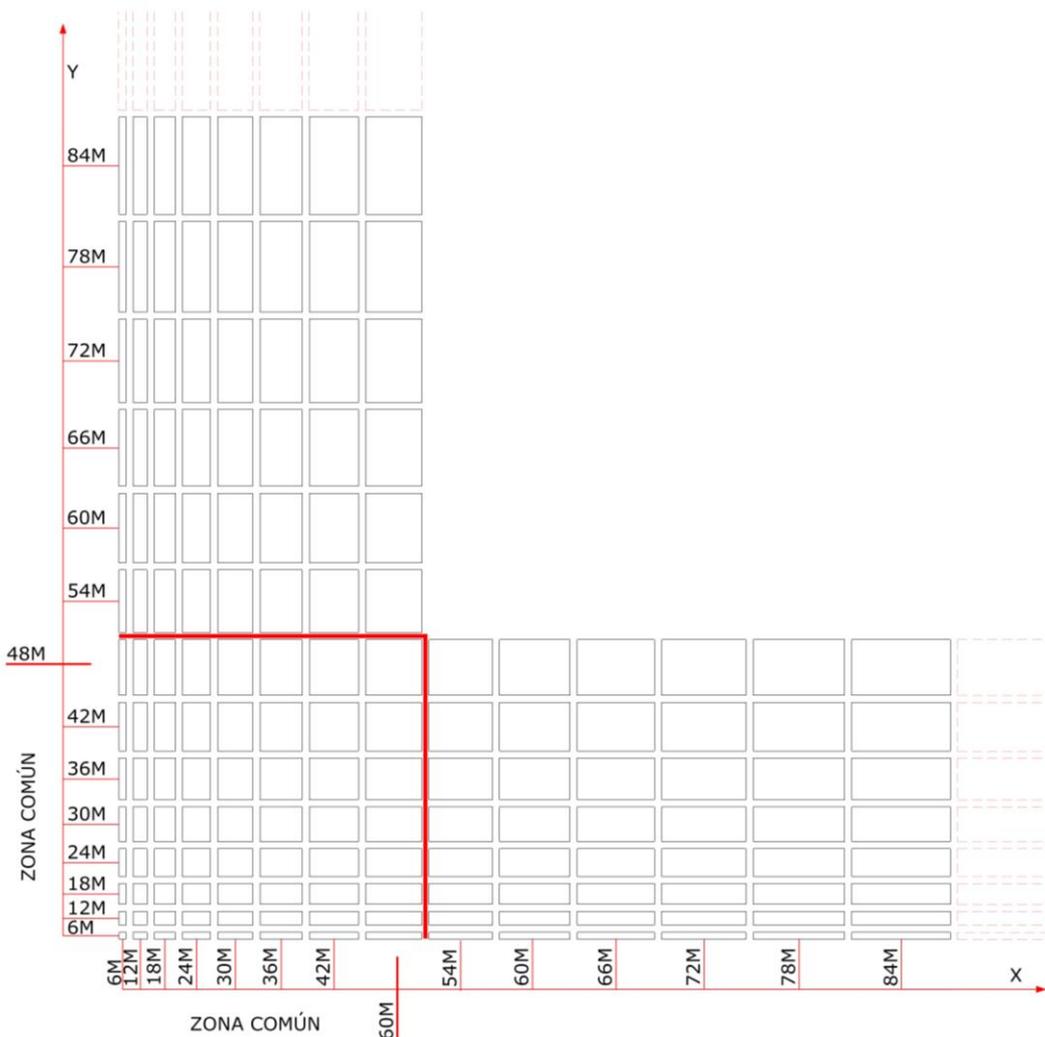


Figura 231. Matriz general de posibles volúmenes diáfanos generados por el sistema estructural flexible (SEF)
Fuente: Elaboración propia

Una situación idéntica obtendríamos en la otra parte del diagrama, esto es, si buscamos volúmenes diáfanos manteniendo constante la abscisa en $a_{x8} = 48M$ y variamos las ordenadas a partir de un valor de 48M. Así podríamos seguir ampliando volúmenes en esta dirección donde

aparecerían los valores de la progresión aritmética en las ordenadas, empezando por $a_{y9}=54M$, $a_{y10}=60M$, y así sucesivamente. De esta forma conseguimos obtener mayores volúmenes diáfanos en la dirección de las ordenadas.

En función de los diferentes volúmenes a obtener por el sistema estructural flexible (SEF), vamos a dividir el diagrama (figura 232) de posibles volúmenes en diferentes zonas denominadas:

- Zona común
- Zona de ordenadas
- Zona de abscisas
- Zona de volúmenes no posibles.

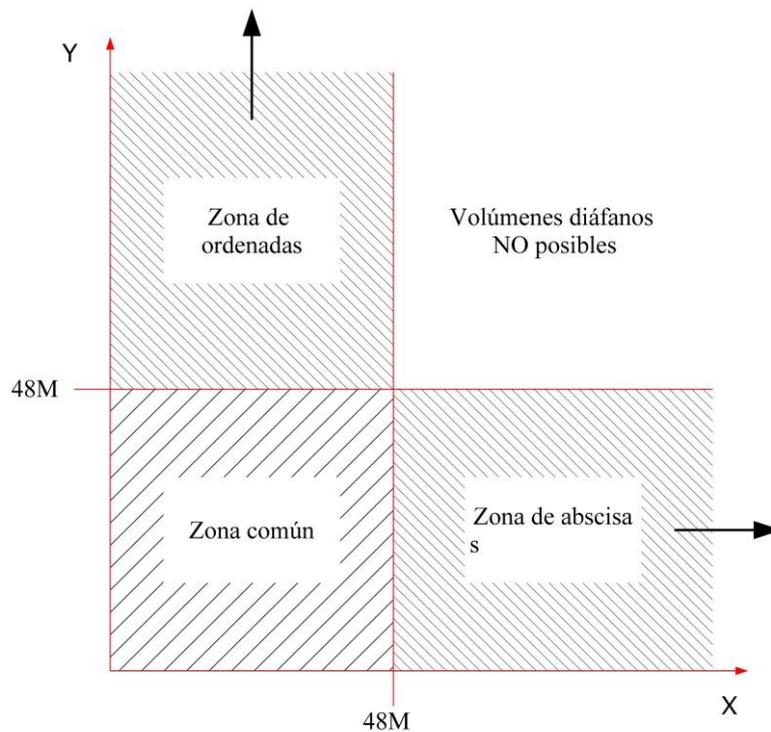


Figura 232. Esquema general de las zonas de los posibles volúmenes diáfanos

Fuente: Elaboración propia

La zona que se muestra como volúmenes diáfanos no posibles no permite la creación de unidades volumétricas, puesto que sobrepasaríamos los límites dimensionales de $48M$, lo que no se descarta que pese a esta limitación inicial impuesta como hipótesis de partida, si se estimara conveniente ampliar esta franja de $48M$, la gráfica y por tanto, el sistema de construcción flexible adoptaría valores de dimensiones mayores.

La zona común sería la única zona donde los volúmenes diáfanos crecen de manera combinada en las direcciones X e Y.

4.1.2. Disposición, ordenación y distribución de los elementos

En este apartado explicaremos en virtud de las posibilidades volumétricas del sistema estructural flexible (SEF), la distribución de los elementos según el orden estructural (véase apartado 4.1.1.) puesto que, la flexibilidad estructural de cara a posibles variaciones solo es posible a base de un correcto orden, para ello se desarrolló una relación entre todos los

volúmenes del sistema creados a partir de la combinación de distintos modelos volumétricos, tal y como se muestra (figura 233), apreciándose que cada volumen es combinación de los anteriores (figura 234), partiendo del volumen inicial 6Mx6M.

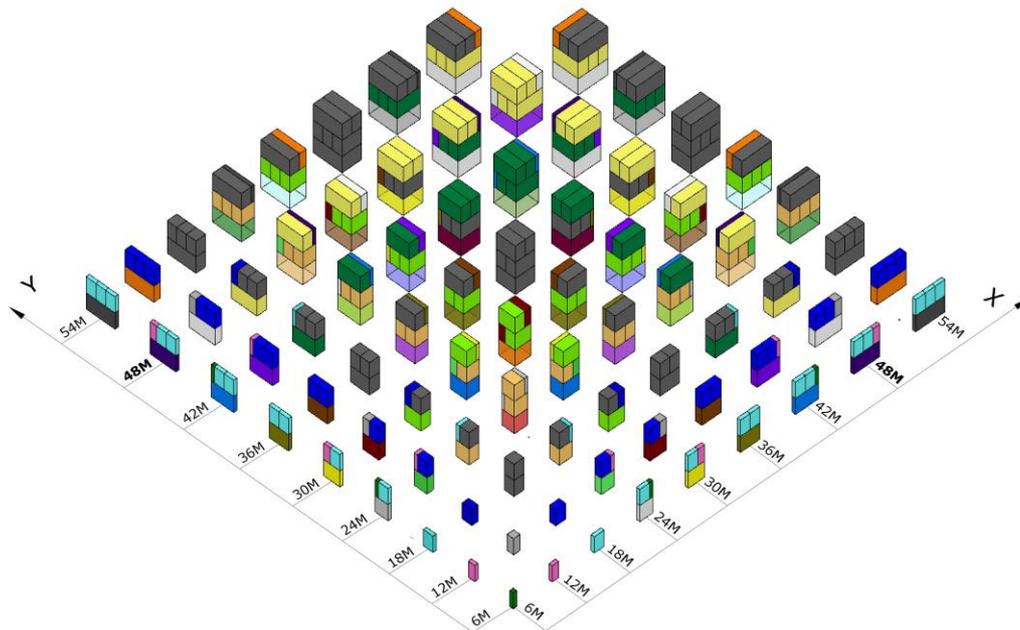


Figura 233. Imagen en 3D donde se muestra la formación de posibles volúmenes diáfanos como adición de los volúmenes anteriores de menores dimensiones. Fuente: Elaboración propia

La imagen anterior únicamente muestra las combinaciones de la zona común, para el resto (figura 231) se seguirá el mismo criterio combinatorio. De esta manera todos y cada uno de los volúmenes posteriores son combinaciones de los anteriores, conservando las distribuciones en el posicionamiento de los elementos estructurales (EE), según se describirá a continuación, en el sistema estructural flexible (SEF) se crea una flexibilidad máxima, partiendo del fin imprescindible del orden estructural y dimensional.

El proceso de formación de un volumen cualquiera, por ejemplo, 42Mx48M (figura 234), se conforma con el \sum de volúmenes menores básicos o generadores, ya sea en la dirección del eje X ó en el eje Y.

El resultado y posicionamiento de los elementos estructurales verticales (EEv) dentro de los pórticos estructurales (PE) será el mismo, independientemente de la dirección de combinación de estos volúmenes generadores en la dirección X ó Y, (42Mx48M ó 48Mx42M) (véase apartado 4.1.3.2).

A su vez los elementos estructurales horizontales (EEh) de ese volumen creado (42x48M), podrán montarse en una u otra dirección indistintamente, siempre y cuando se encuentren en la zona común (figura 242), si no es así, y el volumen a crear se encuentra en la zona de abscisas u ordenadas, la posición de los elementos estructurales horizontales (EEh) estará establecida de antemano por motivos de estructurales, motivados por el vano máximo a utilizar.

Este proceso de formación y posicionamiento de los elementos estructurales (EE) se desarrolla con detalle en el apartado 4.1.3

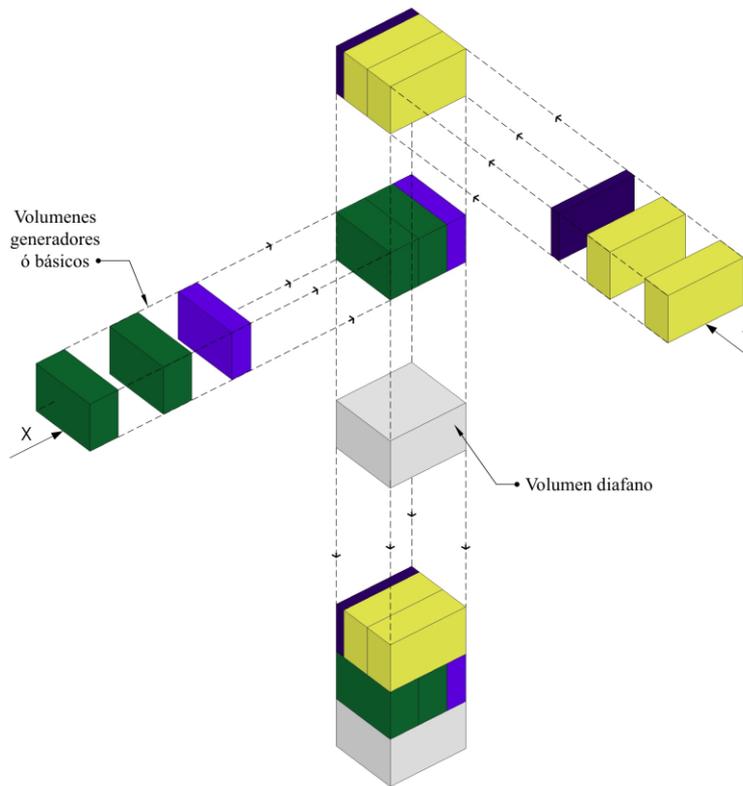


Figura 234. Proceso de formación de un volumen X:42M e Y:48M
Fuente: Elaboración propia

4.1.2.1. Distribución estructural

Una vez definido un volumen diáfano requerido, la propuesta estructural a este volumen, se realizará admitiendo una estructura ortogonal constituida por unos pórticos estructurales (PE) (figura 183), distribuidos a lo largo del perímetro volumétrico (PV) (figura 235), y unidos mediante los elementos estructurales horizontales (EEh) constituyendo el espacio volumétrico diáfano necesario.

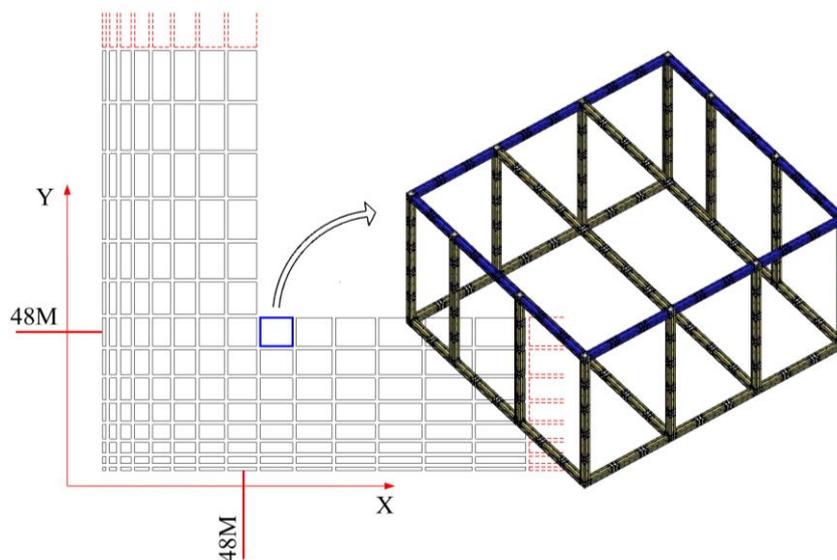


Figura 235. Perímetro volumétrico (PV), Lx x Ly: 54M x 48M
Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2. Posicionamiento y distribución de pórticos estructurales (PE)

Al realizar una propuesta volumétrica en retícula ortogonal y mantener constante la altura, solamente tendremos posibilidad de variar dos dimensiones en un plano y, por tanto, disponemos de las dos direcciones posibles: L_x y L_y , siendo estas las variables a considerar en la formación de los volúmenes diáfanos por medio de los pórticos estructurales (PE).

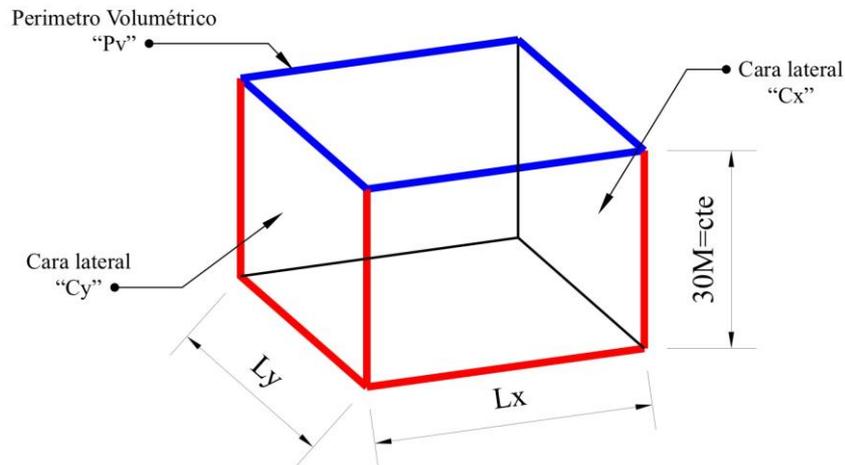


Figura 236. Volumen diáfano: $L_x \times L_y \times 30M$
Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de realizar un proceso sistemático en las composiciones estructurales, vamos a definir las dos caras (figura 236) de los volúmenes que se organizan por pórticos estructurales exteriores (PEe), de dimensiones necesarias según correspondan, en concordancia a lo expuesto en el apartado 3.4.4. Así pues, las caras del volumen (C_x y C_y) (figura 234) van a estar constituidas por un lado variable que será el correspondiente L_x ó L_y y, por otro lado, constante con un valor de $30M$, que corresponde con la altura establecida por el sistema estructural flexible (SEF), según lo siguiente:

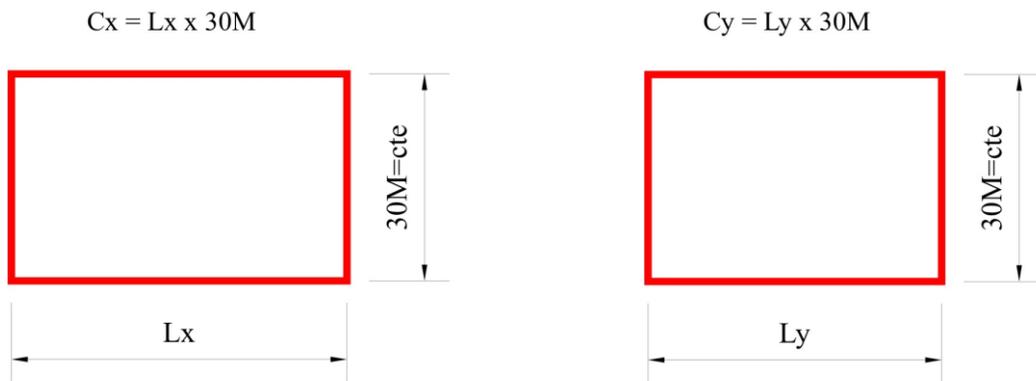


Figura 237. Caras C_x y C_y para los lados L_x y L_y
Fuente: Elaboración propia

Y ahora surge la pregunta **¿cómo deben distribuirse los pórticos estructurales exteriores (PEe) de los lados L_x ó L_y en las caras laterales correspondientes y, por consiguiente, en el perímetro volumétrico (P_v)?**

Para responder a esta pregunta nos pondremos en situación de plantear la máxima flexibilidad al sistema de construcción flexible.

Para obtener esto, se recomienda montar pórticos estructurales exteriores (PEe) de 18M, lo que permitirá pasos y aperturas más amplias, a su vez, esto conlleva que se distribuyan las cargas verticales de la estructura a mayor distancia, lo que aportará un mayor ahorro de material.

Ahora al prevalecer los pórticos estructurales exteriores (PEe) de 18M se establecen 2 posibilidades en los Lx ó Ly, que estarán relacionadas con sus dimensiones, que si bien, todos serán múltiplos de 6M, no todos serán múltiplos de 18M. Se forman 2 posibles casos:

Tabla 10. PEe dimensiones posibles

Pórticos estructurales exteriores (Pee)		
	Pórticos	Dimensiones
a.	Múltiplos de 18M	18M
b.	NO múltiplos de 18M	12M
	“Resto” (R)	6M

Fuente: Elaboración propia

Los pórticos estructurales exteriores (PEe) que no son múltiplos de 18M se llaman **pórticos resto** y se montarán en los extremos de las caras correspondiente Cx o Cy en caso necesario.

La **no repetición de elementos** es una premisa inicial que configura el sistema estructural flexible (SEF) de cara a distribuir los elementos y a establecer una ordenación de los mismos, basándonos en un módulo a ejes de elementos (véase figura 6. Bloque 1),

De esta manera, al considerar pórticos estructurales (PE) de 18M, 12M ó 6M serán los configurados a ejes y siempre compartiendo elementos estructurales verticales (EEv) (figura 238).

Por tanto la respuesta estructural pasará por disponer los pórticos estructurales (PE) sobre perímetro volumétrico (Pv) de lados L_x y L_y (figura 239), formando sus respectivas caras C_x y C_y, de tal forma que la generación de estos lados "L_i" se fijará como un múltiplo de la dimensión de coordinación modular 18M, más un resto "R", de la siguiente forma:

$$L_i = n(18M) + R$$

Ecuación 2. Distribución de pórticos estructurales exteriores (PEe) en los lados del perímetro volumétrico (PV)

Siendo: R: Resto= m x (6M)
tomando n= 0,1, 2, 3, etc.
m= 0, 1, 2.

La colocación de los pórticos estructurales exteriores (PEe) requiere comenzar con los valores completos de la serie anterior, esto es n (18M) y finalizar con el Resto (m x (6M)) (figura 239-240).

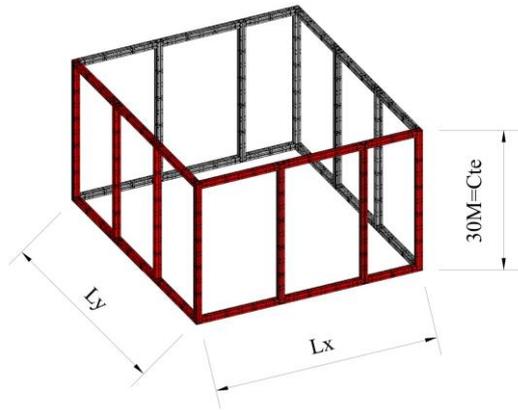


Figura 238. Configuración estructural, Lx: 2PE(18M)+R(12M) y Ly:3PE(18M)
Fuente: Elaboración propia

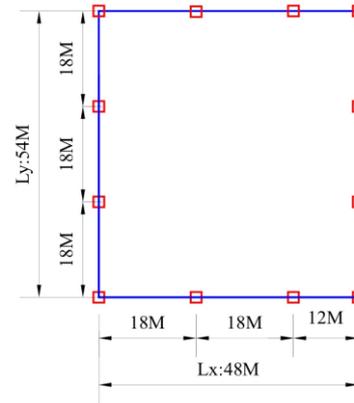


Figura 239. Representación estructural mediante PV Lx: 2PE(18M)+R(12M) y Ly:3PE(18M)
Fuente: Elaboración propia

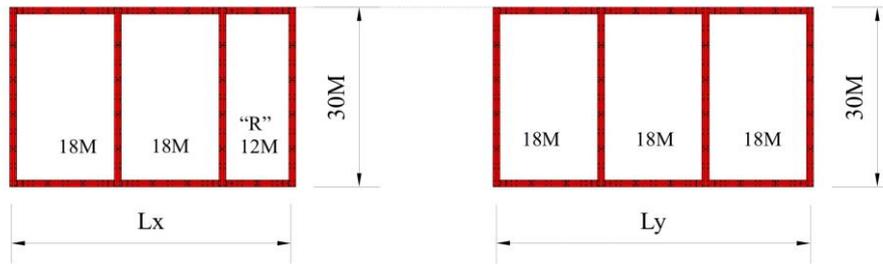


Figura 240. Propuesta estructural: Lx: 2PE(18M)+R(12M) y Ly:3PE(18M)
Fuente: Elaboración propia

A raíz de la distribución de los elementos estructurales verticales (EE_v) de la 1ª Planta, nos preguntamos:

¿cómo se plantean los elementos estructurales verticales (EE_v) de la 2ª planta?

En el capítulo de adicciones se explicará, aún así, es destacable advertir que el posicionamiento de los elementos estructurales verticales (EE_v) en la 1ª planta condiciona y, por tanto, marca su lugar de colocación para la 2ª planta, al ser la transmisión de cargas verticales a través de ellos y para cumplir la restricción de la **NO** transmisión de cargas a elementos estructurales horizontales (EE_h) en las posiciones intermedias, salvo la mencionado excepción para los elementos estructurales horizontales (EE_h) en plantas de piso (figura 191), véase apartado 3.4.4.4.B.

4.1.2.3. Posicionamiento y distribución de los elementos estructurales horizontales (EE_h) de los volúmenes diáfanos.

Como se ha comentado anteriormente, para cada volumen diáfano siempre dispondremos de las correspondientes caras laterales formadas por pórticos estructurales exteriores (PEe), en los que se montarán y distribuirán los elementos estructurales horizontales (EEh) correspondientes, estos se distanciarán entre sí 6M, pudiéndose colocar en dos posibles direcciones (figura 241):

- a) Paralelas al eje X
- b) Paralelas al eje Y

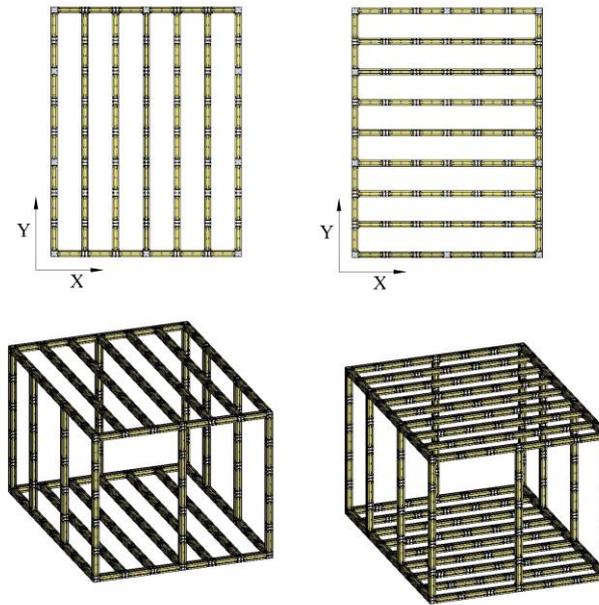


Figura 241. Disposición de los elementos estructurales horizontales (EEh) en las dos direcciones posibles para un volumen de la zona común. Fuente: Elaboración propia

En vista a configurar los volúmenes de la mejor manera posible:

¿Cuál sería la colocación correcta?

La respuesta viene del análisis estructural de las diferentes opciones que pueden llegar a presentarse y, que se sintetizan de una manera muy gráfica en las tres zonas (figura 232) del diagrama (figura 242).

En referencia a esta gráfica analizaremos las 3 posibilidades:

- A. En la **zona común** el sistema estructural flexible (SEF) admite la posibilidad de colocar los elementos estructurales horizontales (EEh) en las dos direcciones posibles, esto es, dirección paralela a las abscisas y también dirección paralela a las ordenadas (figura 241). En esta zona común y ante una propuesta estructural concreta surge la pregunta, **¿cuál sería la dirección en la que deberíamos de colocar las vigas?**

La respuesta requiere utilizar:

- **Criterios de diseño funcional:** por ejemplo, mantener hueco de escalera en una dirección determinada.
 - **Criterios estructurales:** utilizar los elementos horizontales con menores luces posibles (si no existen criterios funcionales).
- B. En la **zona de dirección de abscisas a partir de 48M**, solo es posible el colocarlos en una dirección, ya que las luces en la dirección de las abscisas sobrepasan los 48M y, por tanto, no existen elementos de estas dimensiones. Esto nos lleva, por exclusión de términos, a tener que colocarlos en dirección perpendicular a las abscisas. (figura 242)
- C. En la **zona de dirección de ordenadas a partir de 48M**, es un caso similar al anterior ya que sólo nos permite colocarlos en una dirección, que en este caso es perpendicular a las ordenadas. paralela a las abscisas (figura 242).

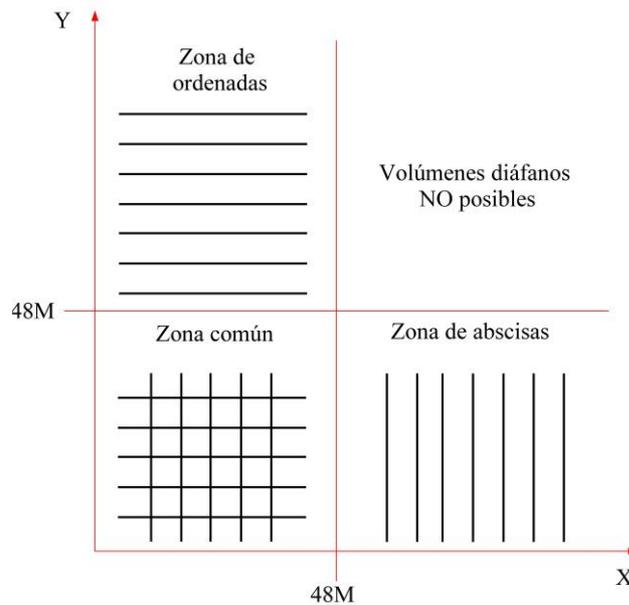


Figura 242. Dirección de colocación de los elementos estructurales horizontales (EEh)
Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Propuesta estructural para volúmenes diáfanos.

En función de dotar al sistema de construcción flexible de una explicación sencilla y comprensible, el volumen que elegiremos a continuación es totalmente arbitrario y aleatorio, siendo la explicación extrapolable a otros volúmenes de manera similar.

4.1.3.1. Elección del volumen a crear

Primeramente, señalar qué relación existe entre la geometría de los volúmenes diáfanos expuestos anteriormente (figura 238), con el esquema estructural propuesto (figura 239), a través de la formación de los correspondientes pórticos estructurales (PE). Esta relación, se puede plantear de la siguiente forma:

A cada elemento de la serie aritmética a_n anteriormente descrita para los volúmenes diáfanos, se le puede hacer corresponder con los valores perimetrales L_i de las caras laterales del volumen (C_x ó C_y).

$$a_n \approx L_i$$

Vamos a proponer que un volumen diáfano (V_d), que se pueda expresar de la siguiente forma:

$$V_d = L_x \times L_y \times h$$

Ecuación 3. Volúmenes diáfanos

Siendo:

L_x : lado de la cara lateral en la dirección de las abscisas.

L_y : lado de la cara lateral en la dirección de las ordenadas.

h : altura del volumen, cte: 30M.

La propuesta estructural se basa en tomar los mismos elementos de la serie aritmética descrita, teniendo en cuenta la formación de las caras laterales, según el criterio visto en la ecuación 2, así se formará un número completo de pórticos estructurales (PE) más el correspondiente pórtico resto “R”. Tomando por ejemplo un volumen diáfano (V_d) con una longitud de $L_x=48M$, $L_y=42M$ y $h=30M$ (figura 243), por tanto, su volumen equivale a:

$$V_d = L_x (48M) \times L_y (42M) \times h (30M)$$

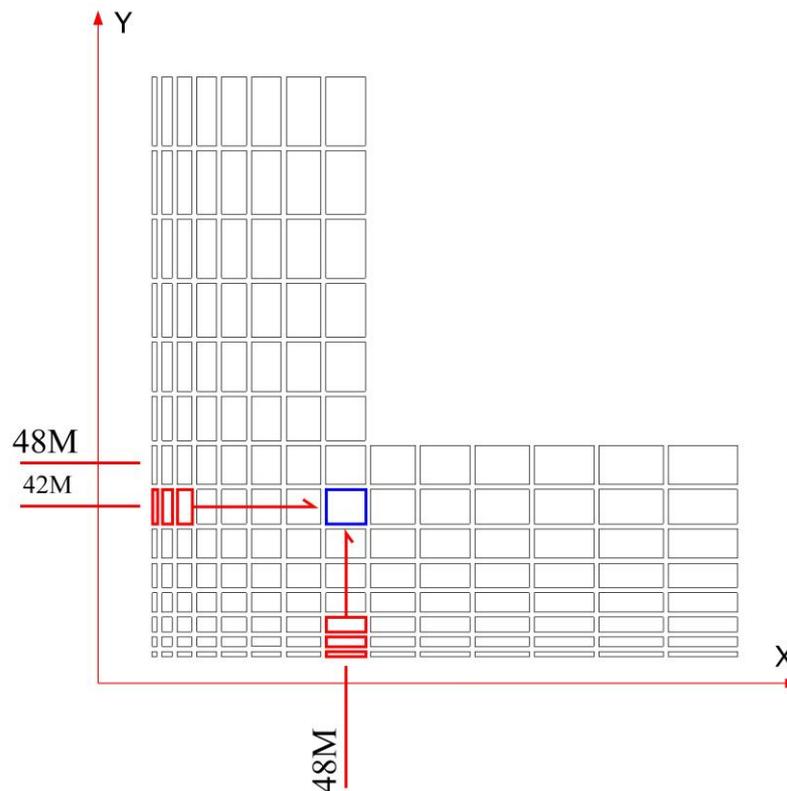


Figura 243. Localización del volumen: $V_d = L_x (48M) \times L_y (42M) \times h (30M)$
Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2. Distribución para los pórticos estructurales (PE) de los volúmenes diáfanos.

La propuesta estructural para el volumen diáfano (V_d) considerado será:

$$L_x = 2PE (18M) + 1RE (12M) = 48M$$

$$L_y = 2PE (18M) + 1RE (6M) = 42M$$

Esta distribución de los pórticos estructurales (PE) quedará reflejada en las figuras siguientes, donde se aprecia, a través de las dos representaciones posibles:

- Perímetro volumétricos (P_v)
- Caras laterales: C_x y C_y

a) Perímetro volumétrico: $P_v (L_x:48M \times L_y:42M)$

En vista de dar mayor claridad a la elección correcta en la distribución de los pórticos estructurales (PE), se fijarán los elementos estructurales verticales (EEV) en función a un “punto de formación” colocado en los perímetros volumétricos (P_v) abajo a la izquierda (figura 245).

A continuación, y observando las figuras posteriores, tanto desde las dimensiones 42M como 48M, se observan **tres perímetros volumétricos generadores ABC ó FED** (figura 244) que corresponden con aquellos de anchos específicos 6M, 12M y 18M (figura 187), al igual que las dimensiones de los pórticos estructurales exteriores (PEe) a utilizar, estos serán los encargados bajo su correcta combinación, de crear el volumen requerido (figura 246) (figura 249).

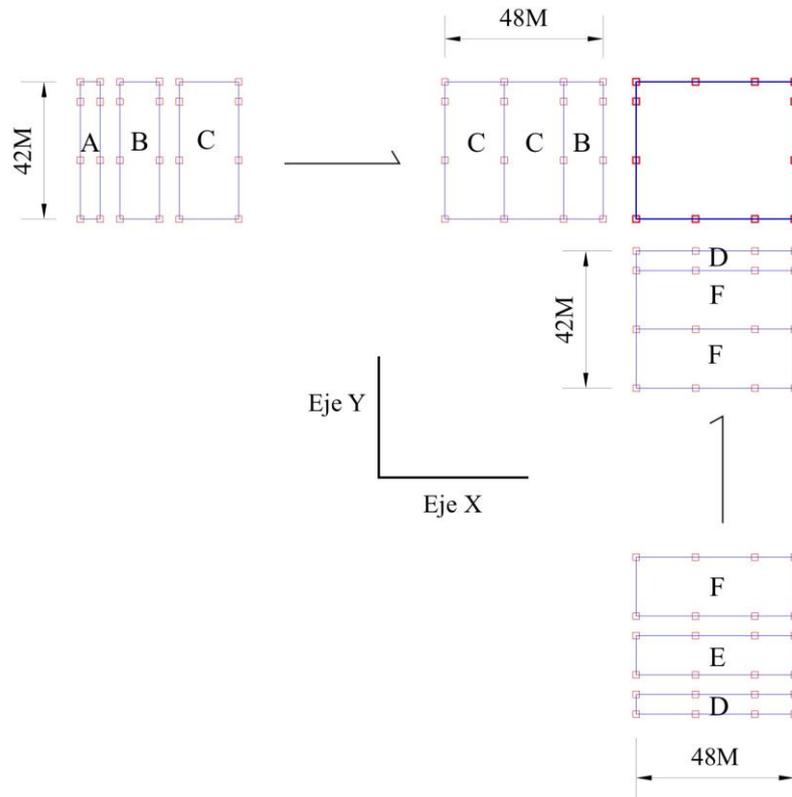


Figura 244. Explicación estructural del perímetro volumétrico (PV), para el volumen diáfano: $V_d = L_x (48M) \times L_y (42M) \times h (30M)$, a partir de perímetros volumétricos (Pv) generadores.

Fuente: Elaboración propia

El perímetro volumétrico (Pv) se estructura como se puede comprobar en base al punto de formación, donde a partir de él se configuran los pórticos estructurales (PE) de 18M hasta llegar al resto “R” correspondiente ($R_x:12M$ y $R_y:6M$) (figura 245). Este perímetro volumétrico (Pv) se genera por la combinación de los volúmenes generadores iniciales, que serán siempre los 3 primeros de cada fila, tanto del eje X ó Y (figura 244).

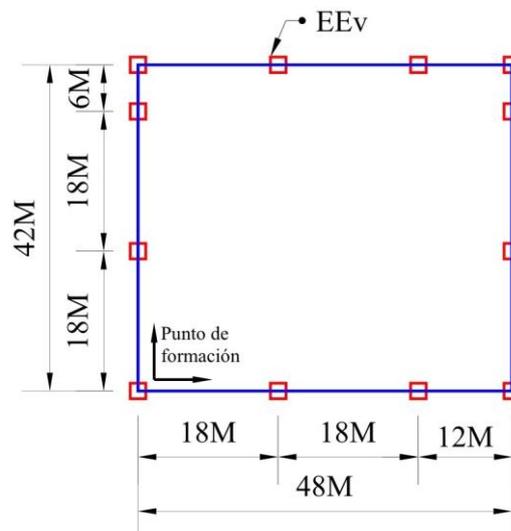


Figura 245. Propuesta estructural del perímetro volumétrico (Pv), para el volumen diáfano $V_d = L_x (48M) \times L_y (42M) \times h (30M)$, donde vienen representados los elementos estructurales verticales (EEv).

Fuente: Elaboración propia

b) Caras laterales: **Cx y Cy (Lx:48MxLy:42M)**

La formación de las caras laterales Cx y Cy quedarán como se expone en la figura 246, donde se aprecia la concordancia con los elementos estructurales verticales (EEv) citados anteriormente (figura 245).

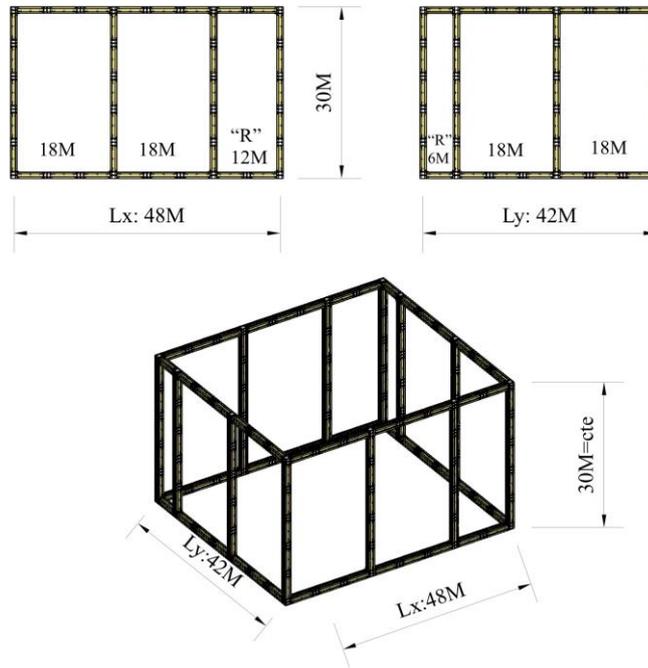


Figura 246. Propuesta estructural para la distribución de pórticos, según las caras Cx y Cy del volumen $V_d = L_x (48M) \times L_y (42M) \times h (30M)$

Fuente: Elaboración propia

Cabe preguntarse: ¿cómo sería la propuesta estructural para un volumen diáfano definido por: $V_d = L_x (42M) \times L_y (48M) \times h (30M)$?

Esto es la misma dimensión, pero con diferente orientación:

$$L_x = 2PE (18M) + 1RE (6M) = 42M$$

$$L_y = 2PE (18M) + 1RE (12M) = 48M$$

a) $P_v (L_x:42M \times L_y:48M)$

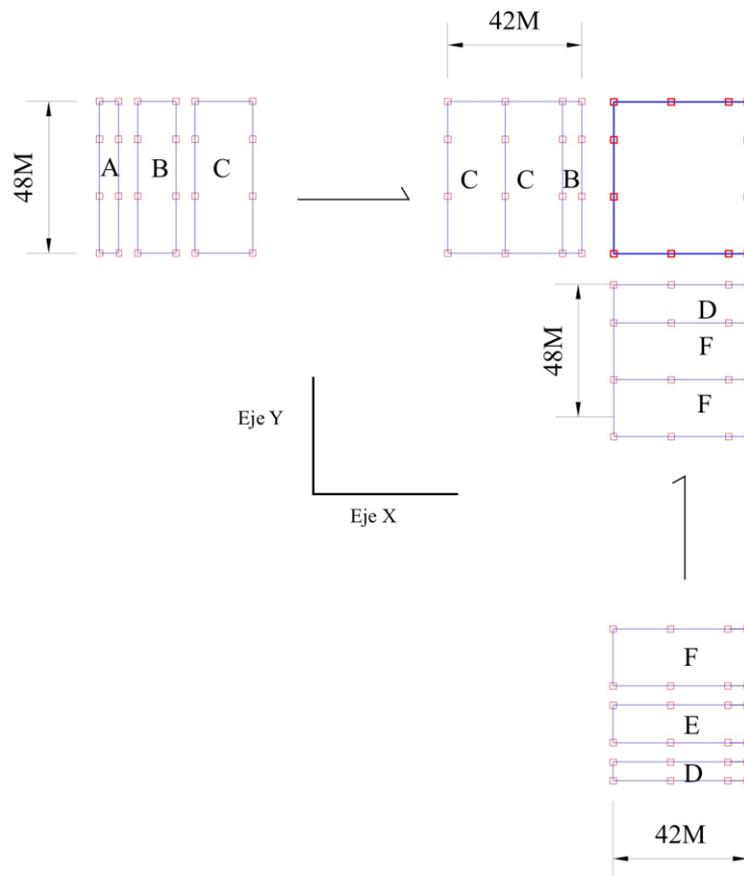


Figura 247. Explicación estructural del perímetro volumétrico (P_v), para el volumen diáfano:

$V_d = L_x (42M) \times L_y (48M) \times h (30M)$, a partir de perímetros generadores.

Fuente: Elaboración propia

Se puede comprobar en ambos casos el número de pórticos estructurales exteriores (PEe) y de pórticos estructurales resto (PE “R”) utilizados es idéntico, por tanto, es indiferente por donde se escojan las dimensiones de los lados, siempre y cuando se establezca el comenzar la formación por pórticos estructurales exteriores (PEe) de 18M, desde abajo a la izquierda (**punto de formación**) (figura 248).

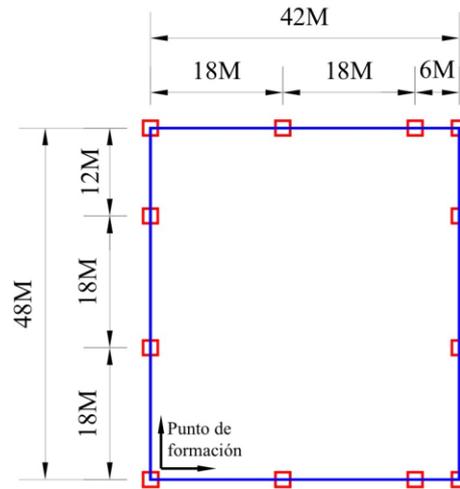


Figura 248. Propuesta estructural del perímetro volumétrico (Pv) para el volumen $V_d = L_x (42M) \times L_y (48M) \times h (30M)$ donde vienen representados los elementos estructurales verticales (EEv). Fuente: Elaboración propia

b) Cx y Cy (Lx:42MxLy:48M)

La formación de las caras laterales Cx y Cy quedarán como se expone en la figura 249 donde se aprecia la concordancia con los elementos estructurales verticales (EEv) citados anteriormente (figura 248).

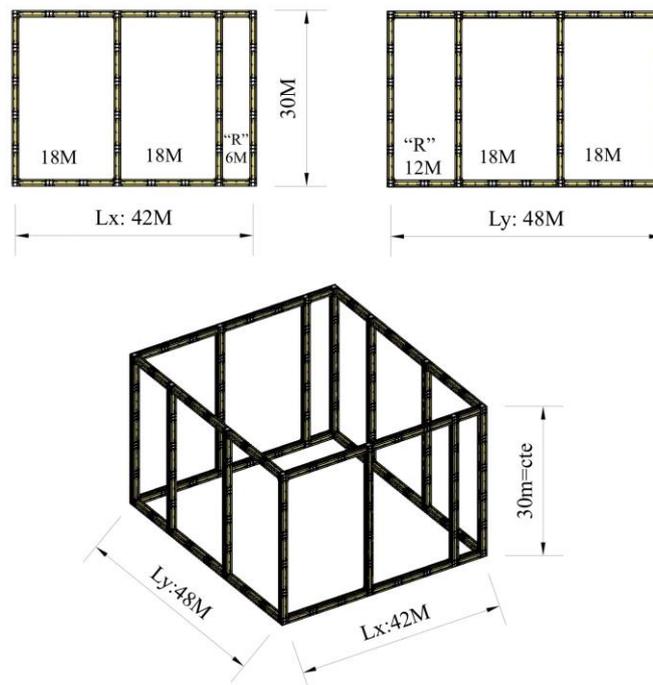


Figura 249. Propuesta estructural para la distribución de pórticos, según las caras Cx y Cy del volumen diáfano: $V_d = L_x (42M) \times L_y (48M) \times h (30M)$ Fuente: Elaboración propia

Nota:

Se demuestra la simetría a través de la diagonal de la gráfica que atraviesa la zona común (figura 230) y respecto a la cual los volúmenes diáfanos de dimensiones iguales, independientemente del lado X e Y se conformarán de igual manera, aunque de orientación distinta.

Capítulo 5. Adiciones entre volúmenes diáfanos

El sistema estructural flexible (SEF) permite el montaje de distintos volúmenes, obteniendo multitud de formas espaciales y creando arquitecturas más complejas.

Estas variaciones estructurales en los volúmenes se debe principalmente a las características específicas de los elementos estructurales (EE) (figura 179), tanto elementos estructurales horizontales (EEh) como elementos estructurales verticales (EEv), ya que estos elementos permiten ensamblajes en las tres dimensiones del espacio (X,Y,Z). Además, se distinguen dos tipos de adiciones y sustracciones en el sistema estructural flexible (SEF) para un volumen diáfano definido, en base a esto hay 2 posibles direcciones (figura 250):

- Horizontal en dos direcciones
- Vertical (solamente para 1 planta)

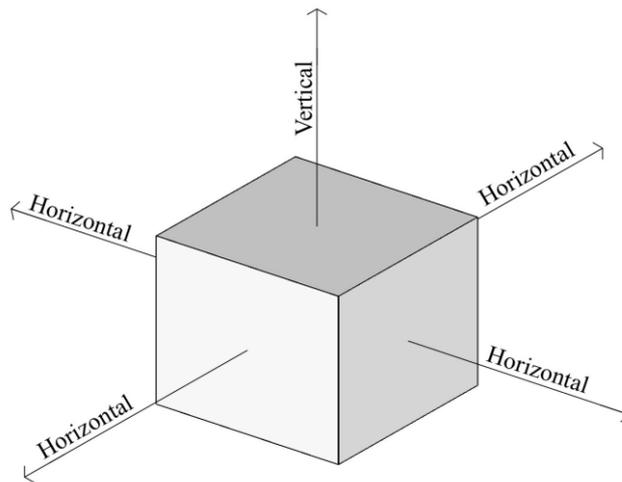


Figura 250. Opciones de transformaciones estructurales en horizontal y vertical
Fuente: Elaboración propia

5.1. Combinaciones en el plano horizontal

5.1.1. Adición horizontal

La adición horizontal consiste en el montaje de diferentes volúmenes diáfanos, a partir de la unión a los elementos estructurales (EE) ya existentes (figura 251).

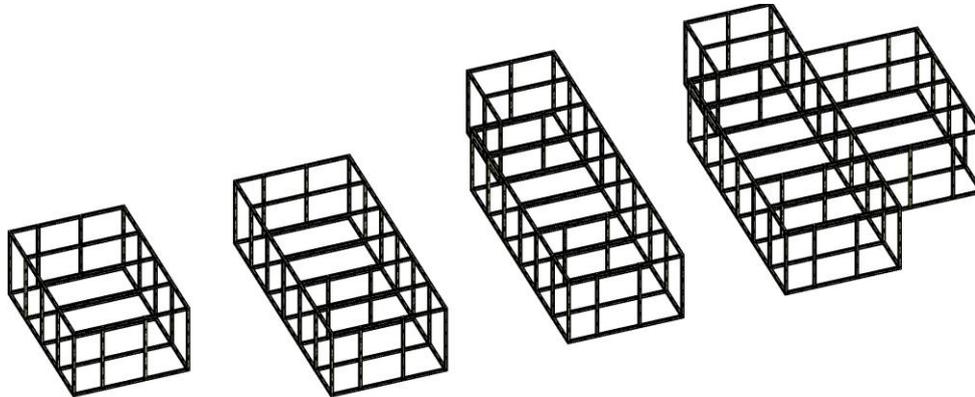


Figura 251. Ejemplo de adición progresiva
Fuente: Elaboración propia

5.1.1.1. Tipos

En virtud de lo anterior, y partiendo de un volumen inicial, nos planteamos:

¿qué volúmenes podemos crear y en qué posición hemos de colocar sus elementos estructurales? La respuesta es que podemos adicionar un nuevo volumen a este inicial, siempre que se cumpla:

“Condición necesaria y suficiente: Compartir un lado completo del rectángulo estructural inicial L_x o L_y , o al menos una parte del mismo, con un valor mínimo de $L_x=6M$ o $L_y=6M$. Esta condición lleva implícito que los dos volúmenes compartan este tramo de pórtico estructural (PE)”

El nuevo volumen adicionado tendrá a su vez su propio perímetro volumétrico (P_v) con unas dimensiones acordes con el sistema (véase apartado 4.1.1.), además en la creación de volúmenes se tendrán en cuenta las dimensiones de ambos, dando lugar a (figura 252):

Tabla 11. Variantes de volúmenes con PE compartido

Volúmenes				
Tipo	Adición		PE compartido	Inicial
a)	Volumen añadido		<	Volumen inicial
	a.1	Centrado		
	a.2	Lateral		
	a.3	Descentrado		
b)	Volumen añadido		=	Volumen inicial
c)	Volumen añadido		>	Volumen inicial
d)	Volumen añadido en esquina ²⁸⁵		<	Volumen inicial

Fuente: Elaboración propia

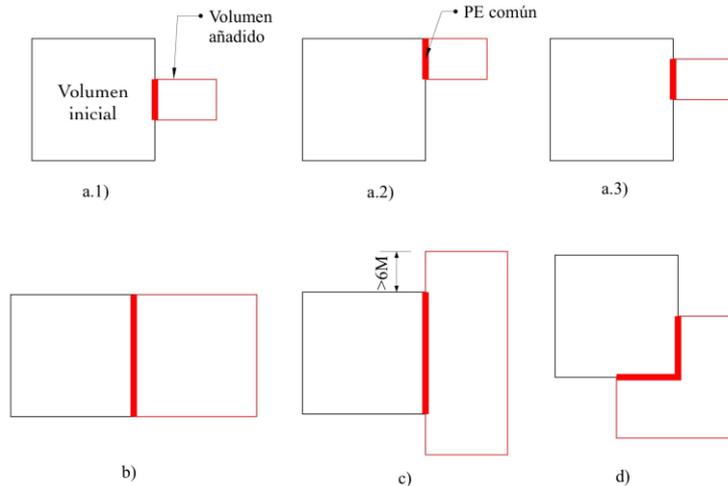


Figura 252. Ejemplo de volúmenes iniciales y compartidos. Posiciones
Fuente: Elaboración propia

A raíz de los ejemplos anteriores (figura 252) donde se muestran los ejemplos de las posibles posiciones de los volúmenes añadidos con relación al volumen inicial, conviene fijar los puntos a considerar para una correcta ampliación del sistema estructural flexible (SEF), siendo los criterios:

1. **Dimensiones** de los volúmenes diáfanos (condición necesaria y suficiente), que vendrá impuesta por las restricciones estructurales de los vanos máximos de 48M.
2. **Pórtico estructural (PE) común**, según posibilidades anteriores, los pórticos estructurales (PE) comunes deben de ser **completos** (figura 253) de dimensiones 6M, 12M, ó 18M, refiriéndose por completo a empezar y acabar la unión en elementos estructurales verticales (EEv) fijos, dentro de las 3 posibles dimensiones de pórticos estructurales exteriores (PEe), estableciéndose una línea de carga común que transmitirá los esfuerzos de ambos volúmenes (inicial y añadido). En los ejemplos anteriores para las posibilidades tipo a.1, a.2 y a.3 se recomienda que el pórtico estructural (PE) común sea mayor de 6M, por generar aberturas de paso amplias, siendo aconsejable de 18M (abertura máxima). Esto también será aplicable al ejemplo c (figura 252) donde los encuentros exteriores de una dimensión 6M limitan la capacidad de flexibilidad del sistema, aunque es cierto que en el sistema estructural flexible (SEF) se puede diseñar y montar.

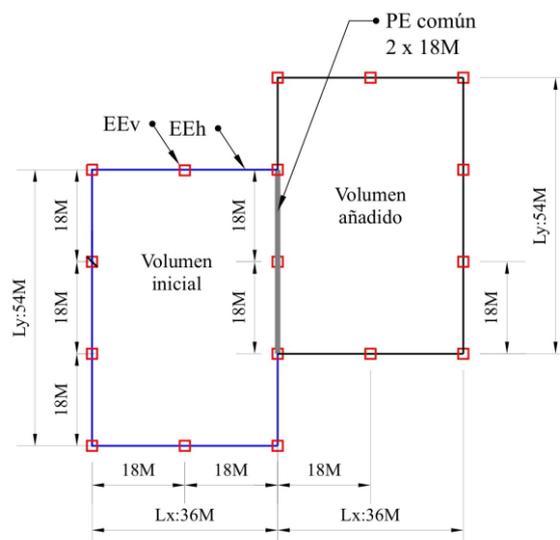


Figura 253. Perímetro volumétrico (PV) de los volúmenes con PE común (2x18M)
Fuente: Elaboración propia

Estas figuras siguientes muestran la diferencia entre pórticos estructurales (PE) **comunes completos** y **NO completos**, donde se aprecia en el montaje del volumen añadido una correcta unión a elementos estructurales verticales (EEv) fijos (figura 254), quedando en el segundo caso (figura 255), **la unión incorrecta** del elemento estructural horizontal (EEh) del volumen añadido a otro elemento estructural horizontal (EEh) del volumen inicial, sin tener un elemento estructural vertical (EEv) fijo compartido por ambos volúmenes.

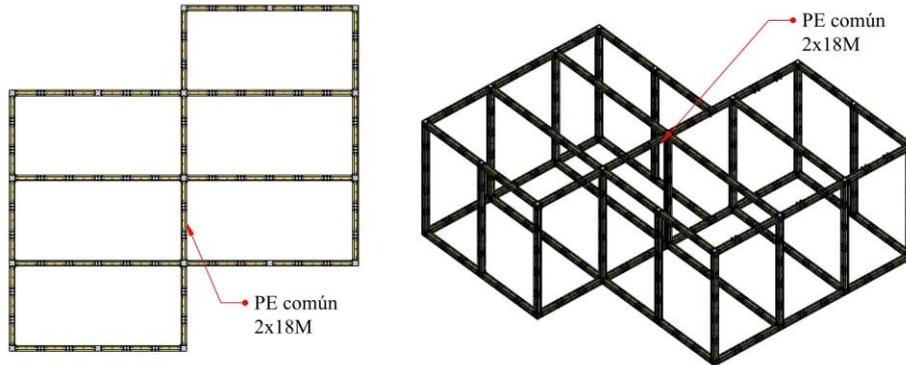


Figura 254. Volumen añadido en planta y perspectiva con pórtico estructural (PE) común (2x18M). Fuente: Elaboración propia

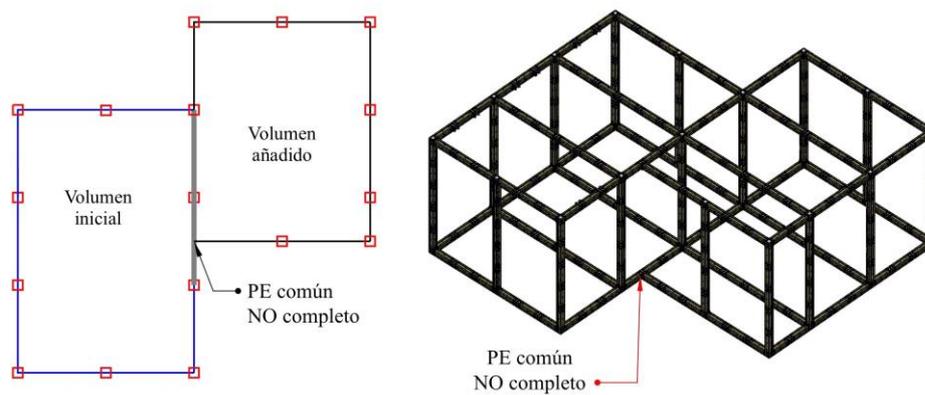


Figura 255. Ejemplo de volumen añadido con pórtico estructural (PE) común **NO completo**. ¡Solución No Correcta! Fuente: Elaboración propia

3. Dirección de los elementos estructurales horizontales (EEh)

A la hora de configurar un volumen diáfano nuevo a partir de un volumen existente o inicial, es importante tener en cuenta la posición y sentido de los elementos estructurales horizontales (EEh) (figura 256):

1. La misma dirección
2. Perpendiculares entre sí

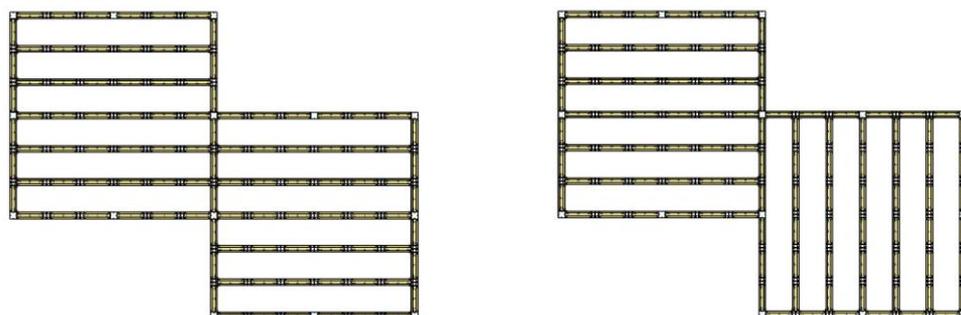


Figura 256. Sentido de los elementos estructurales horizontales (EEh) Fuente: Elaboración propia

La dirección de los elementos estructurales horizontales (EEh) se diseñará según las necesidades requeridas en cada caso, y siempre teniendo en cuenta,

1. Elementos estructurales horizontales (EEh) de menores dimensiones
Evitar los encuentros de pórticos estructurales (PE) de dimensiones 600mm, puesto que limitan la capacidad de flexibilidad del sistema, por ejemplo, 6M es una abertura reducida para la colocación de una abertura (puerta o ventana), aunque es cierto que se puede diseñar y el sistema la incorporará sin problema. (figura 252)
2. Sentido para la colocación de escalera (véase capítulo 3.4.4.4.)
3. Huecos por otras causas

A partir de que tenemos un volumen diáfano inicial, con su correspondiente perímetro volumétrico, P_v (L_x y L_y), como sabemos toma unos valores según la relación siguiente:

$$L_i = n_i(18M) + RF$$

Ecuación 4. Distribución de los elementos estructurales verticales (EEv) en los lados L_i

5.1.1.1.1. Proceso del volumen añadido en esquina (caso d)

Una vez visto las posibilidades de montaje de los volúmenes en cuanto a sus dimensiones cabe destacar el **ejemplo siguiente** (figura 257) que necesitará un estudio independiente, para obtener el diseño de la imagen proyectada anterior (figura 252-d). Para este diseño hay varias posibilidades que ofrece el sistema estructural flexible (SEF), según las características de este, y todas ellas pasan por la descomposición de volúmenes de menores dimensiones. Hasta ahora, hemos analizado los volúmenes diáfanos como estructuras de base rectangular de dimensiones 2 a 2 (L_x y L_y), pero en el **ejemplo d** (figura 252), se considera un volumen distinto al de casos anteriores, por esta razón analizaremos cada una de las posibilidades (figura 257):

- a) El volumen diáfano de base en “L” completa
- b) El volumen diáfano dividido en 2 volúmenes independientes
- c) El volumen diáfano dividido en 3 volúmenes independientes

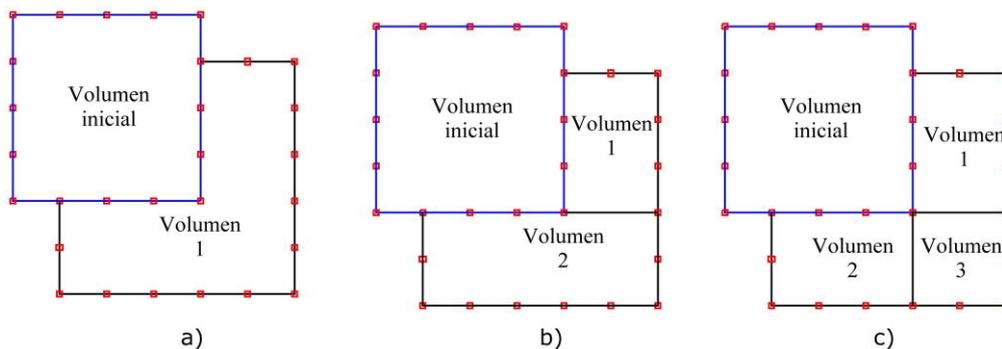


Figura 257. Posibles opciones en el diseño del volumen añadido

Fuente: Elaboración propia

a) Opción: 1 volumen de base en “L”

Esta posibilidad permite un diseño de base irregular en forma de “L”. Este tipo de volúmenes diáfanos **no se plantearon en el trabajo de la tesis**, puesto que la idea fue en todo momento un diseño de lados 2 a 2 con quiebras a 90° en los extremos de las longitudes del perímetro por facilidad y sencillez estructural.

Las ventajas de estos volúmenes serán espacios más diáfanos con un abanico mayor de formas estructurales.

Para conseguir estos diseños estructurales, y a razón de las supuestas direcciones de los elementos estructurales horizontales (EEh) del volumen inicial y las líneas de las fachadas a la que ira montada (figura 258), se recurrirá al montaje de una serie de elementos estructurales horizontales (EEh) de refuerzos entre los EEh de planta, estos atarán la estructura y la dotarán de una mayor estabilidad. Los inconvenientes ante estos diseños vienen de la mano de una menor flexibilidad, pues estas formas son más difíciles de tratar en el diseño de posibles ampliaciones.

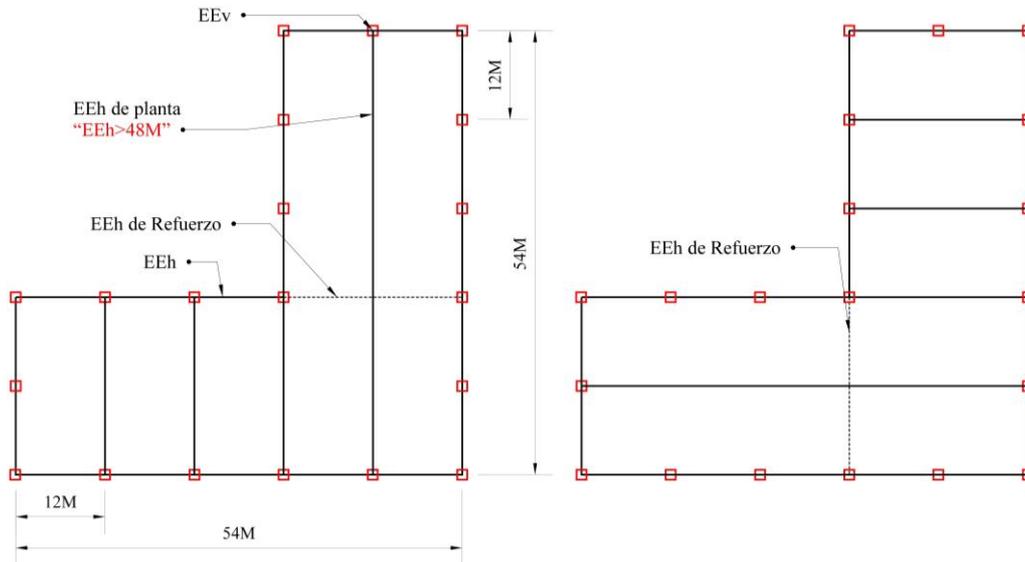


Figura 258. Posibles configuraciones de EEh dentro del volumen 1

La estructura planteada (figura 258), deberá de montarse con los elementos estructurales horizontales (EEh) de planta $\leq 48M$, puesto que esta es la máxima dimensión para los elementos estructurales horizontales (EEh) que admite el sistema estructural flexible (SEF). Observándose que estas formas limitan en exceso la creación de volúmenes diáfanos:

Formas con quiebras producen > complejidad < posibilidades de espacios con luces amplias

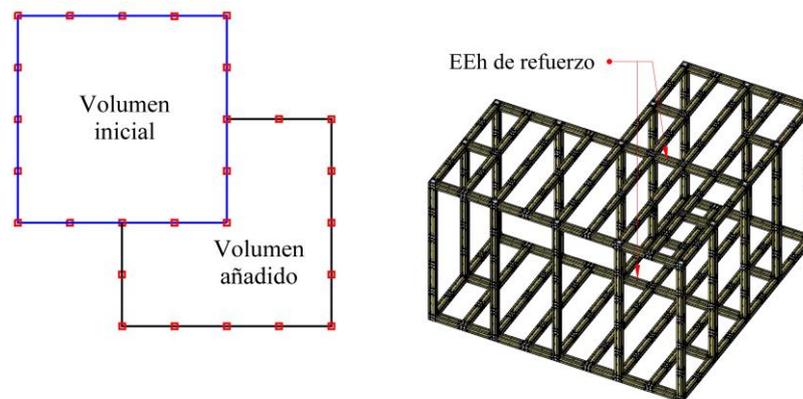


Figura 259. Estructura "L" modificada con elemento estructural horizontal: $EEh \leq 48M$. A la derecha perspectiva del volumen añadido aislado (sin elementos estructurales verticales: EEv variables).

Fuente: Elaboración propia

Modificada la estructura para cumplir con la limitación anterior ($EEh \leq 48M$), se aprecia (figura 259), una disminución de los volúmenes que se ven afectados por la continuidad de estos elementos estructurales horizontales (EEh) de 48M máximo, ratificando que las formas en “L” se tratarán desde otro punto de vista como se muestra en las opciones siguientes b y c (figura 257).

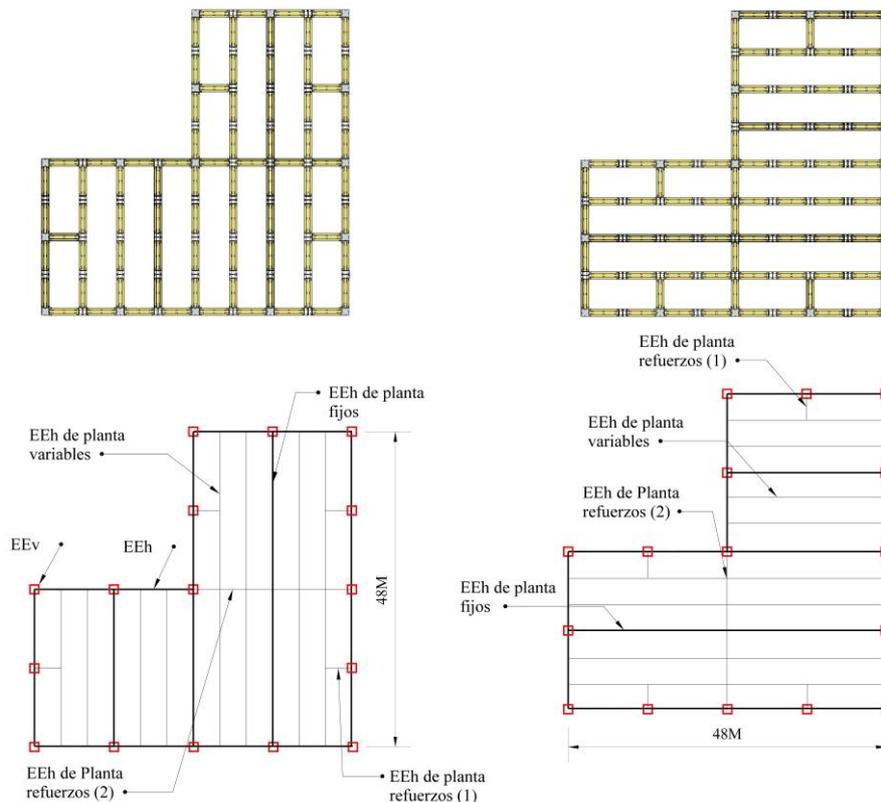


Figura 260. Estructura "L". Vistas en planta con distintas direcciones de los EEh y debajo las plantas con sus elementos más representativos. Fuente: Elaboración propia

En el nuevo volumen se verá limitado por su elemento estructural horizontal (EEh) de 48M, a lo que se sumará los distintos EEh de refuerzo que habrá que colocar para solventar el quiebro a 90° y dar estabilidad suficiente al volumen.

Nota: cabe destacar en el diseño los siguientes elementos estructurales (EE) (figura 260):

1. Elementos estructurales horizontales (EEh) fijos y variables
Explicados en apartados anteriores y que se basan en desmontajes directos o no (véase apartado 3.4.4.4.).
2. Elementos estructurales (EE) de refuerzo (1)
Elementos estructurales horizontales (EEh) de dimensión 6M que se colocan para dar rigidez y estabilidad a la estructura, además de atar el perímetro por sus elementos estructurales verticales (EEv) fijos cuando los elementos estructurales horizontales (EEh) de planta son paralelos a esta.
3. Elementos estructurales horizontales (EEh) de refuerzo (2)
Ídem de lo anterior, en este caso, para dar continuidad y atado a la estructura por la línea de fachada del volumen inicial.

b) Opción: 2 volúmenes

Partiendo del volumen añadido (figura 257) en forma de “L” de dimensiones 72x72M, en esta ocasión y en virtud de ofrecer un diseño que permita trabajar con este volumen (figura 261), se ofrece la posibilidad siguiente sin variar las dimensiones del volumen,

únicamente, se divide este en 2 volúmenes diáfanos independientes (**Tipo1 y Tipo2**) (figura 262).

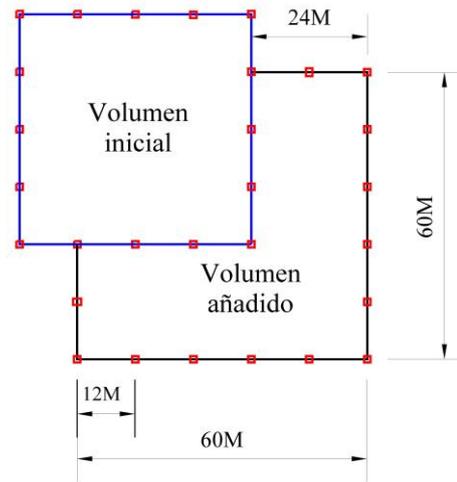


Figura 261. Volumen en "L" 60x60M
Fuente: Elaboración propia

Para configurar estos volúmenes partimos que al ser una forma en "L" simétrica cualquier configuración diseñada (figura 260) para el **Tipo1** es aplicable al **Tipo2** y viceversa.

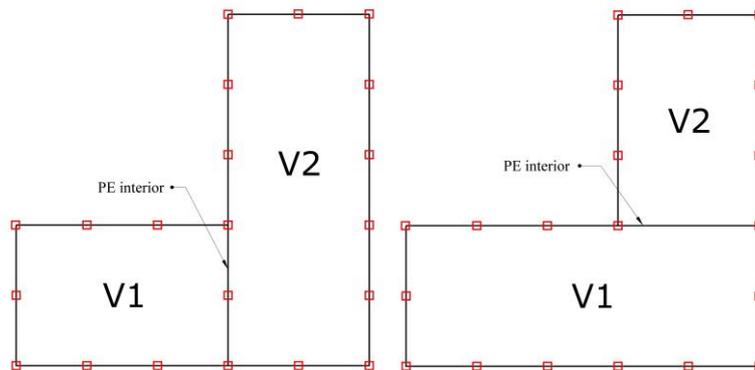


Figura 262. Formación de los 2 posibles tipos de volúmenes con sus pórticos estructurales (PE) interiores. Volúmenes únicamente con sus elementos estructurales EE fijos. Fuente: Elaboración propia

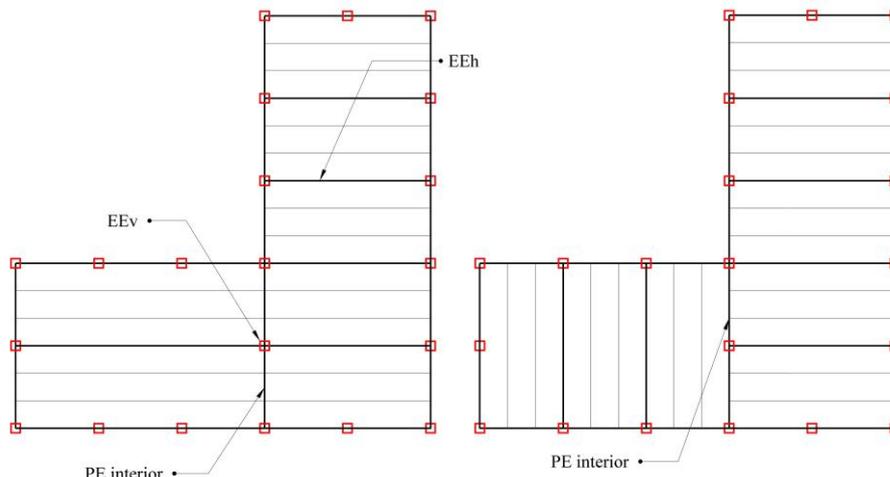


Figura 263. Plantas de los volúmenes independientes con sus elementos estructurales horizontales (EEh) posicionados a distancias 6M, así como las direcciones correspondientes de los mismos.

Fuente: Elaboración propia

Primeramente, y tratando el volumen independiente de mayores dimensiones (60x24M), la posición de los elementos estructurales horizontales (EEh) de planta se posiciona en la dirección menor (24M), mientras que para el volumen contiguo, la dirección de estas es independiente, aunque es aconsejable, salvo por otras causas, que mantenga la misma que el anterior.

c) Opción: 3 volúmenes

En consecuencia, del diseño para 2 volúmenes (figura 262), en esta opción se descompone aún más el volumen en forma de “L” (60x60M) (figura 264), estos 3 volúmenes independientes de dimensiones 2 x 36Mx24M y 1x 24Mx24M, se configurarán igual que en cualquier volumen unitario del sistema estructural flexible (SEF), la dirección de los elementos estructurales horizontales (EEh) es independiente por ser sus dimensiones L_x ó $L_y \leq 48M$ y con la opción, al igual que en cualquier caso anterior, se ofrece la posibilidad de ampliación por “cualquier cara del volumen”.

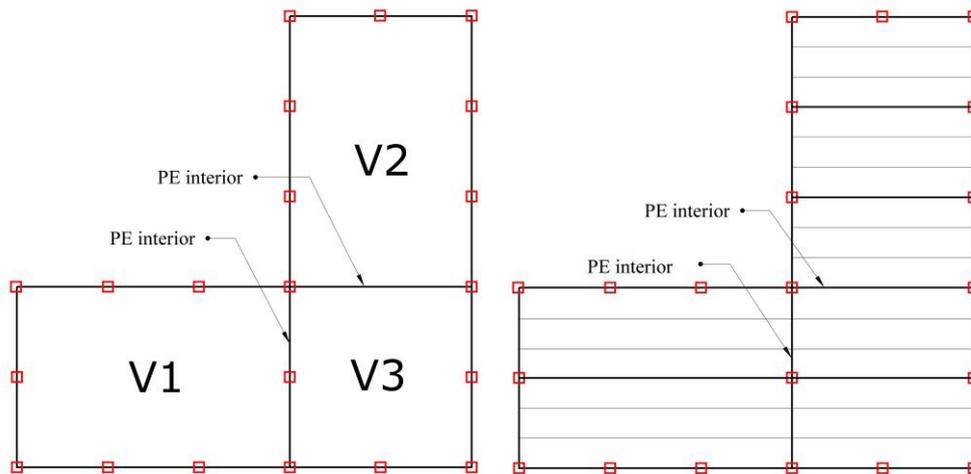


Figura 264. Configuración de la opción con los 3 volúmenes y planta con sus elementos estructurales horizontales (EEh) posicionados a distancias 6M. Fuente: Elaboración propia

Estas opciones son un ejemplo de la versatilidad del sistema estructural flexible (SEF) y de cómo un diseño se puede desarrollar de distintas maneras en función de las necesidades que se planteen en cada proyecto.

5.1.1.2. Montaje - Desmontaje

El montaje de la estructura consiste en ir creando los elementos estructurales (EE) tal y como se describe en cada uno de los apartados anteriores de la tesis, dando lugar a una serie de puntos de encuentro entre diferentes elementos estructurales (EE), resueltos en su mayoría en el apartado de uniones (véase apartado 3.4.5.), que si bien, esquematiza de manera general todas las posibilidades. A continuación, en este apartado se describe el proceso de adición de un volumen de manera horizontal. La horizontalidad se puede dar en volúmenes de 1ª y 2ª planta.

Partiendo del volumen 36x36M se pretende el montaje de elementos estructurales hasta ampliarlo a 48x66M (figura 265), llegado a este punto y dependiendo de las necesidades y características del proyecto, hay 2 posibilidades:

Opción1: Se conserva el volumen inicial

Opción2: Se desmontan los pórticos estructurales exteriores (PEe)

Cada una de las opciones se analizarán en función de las necesidades, y se deberá tener en cuenta que, al tratar ampliaciones o adiciones, y presuponiendo la vivienda ya montada en su totalidad, el concepto de decantarse por una u otra opción puede variar.

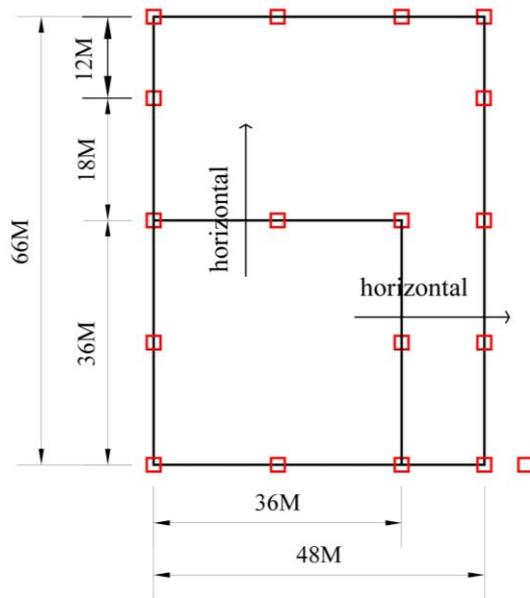


Figura 265. Ampliación en horizontal de 36x36M a 48x66M. Fuente: Elaboración propia

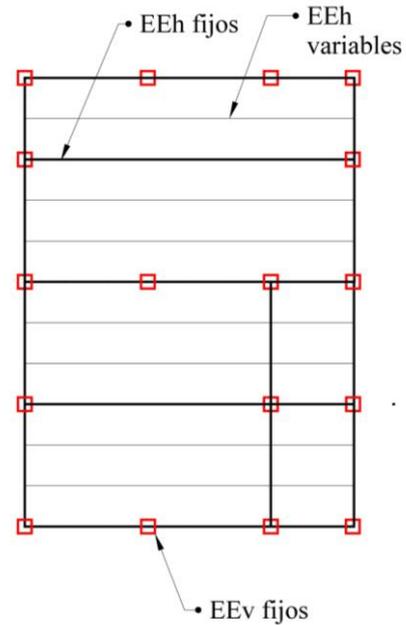


Figura 266. Dirección de elementos estructurales horizontales (EEh) y posición de los elementos estructurales verticales (EEv). Fuente: Elaboración propia

Opción 1: Los pórticos estructurales (PE) se conservan, y su configuración se comparte, la dirección de los elementos estructurales horizontales (EEh) coincide o no, en dependencia de la dirección de ampliación del volumen.

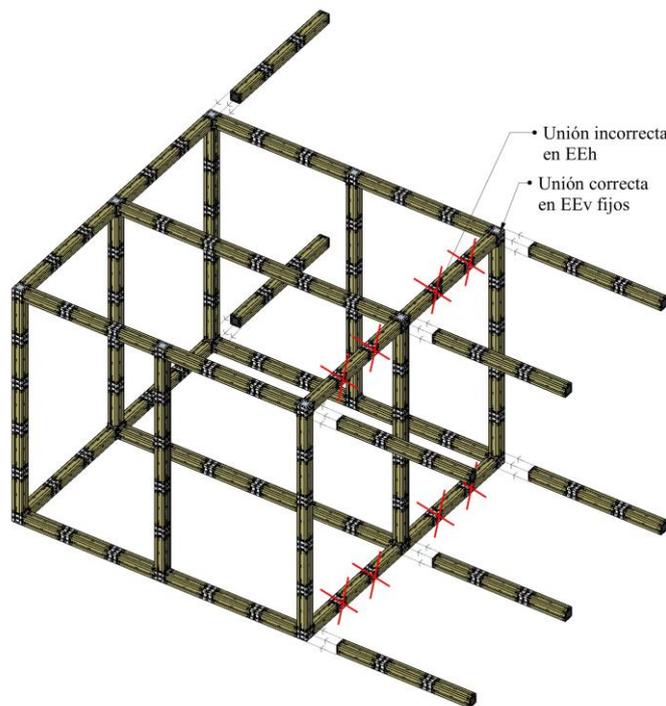


Figura 267. Montaje correcto de los elementos estructurales (EE) Fuente: Elaboración propia

Los elementos estructurales horizontales (EEh) se montarán en los extremos superiores de los elementos estructurales verticales (EEv) fijos, siempre en estos, por ser los que transmiten las cargas, **nunca se montarán en las posiciones intermedias de los elementos estructurales**

horizontales (EEh) que configuran los pórticos estructurales PE (siempre y cuando sean principales) (figura 267).

Así sucesivamente, se obtendrá el volumen requerido de dimensiones 48x66M (figura 269).

Opción 2: Esta opción se plantea con una sustracción horizontal previa (apartado 5.1.2), completándose a continuación, de nuevo, con la opción 1.

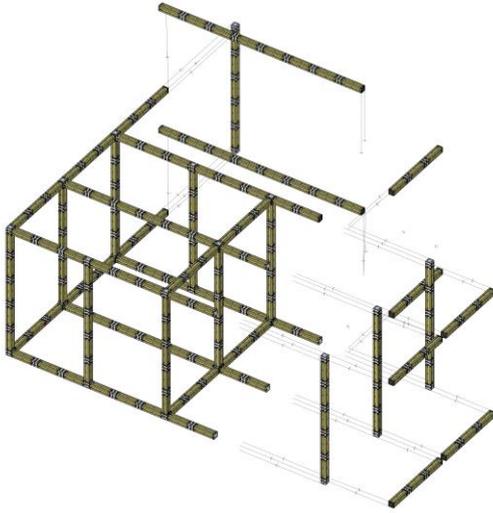


Figura 268. Montaje ordenado de EE
Fuente: Elaboración propia

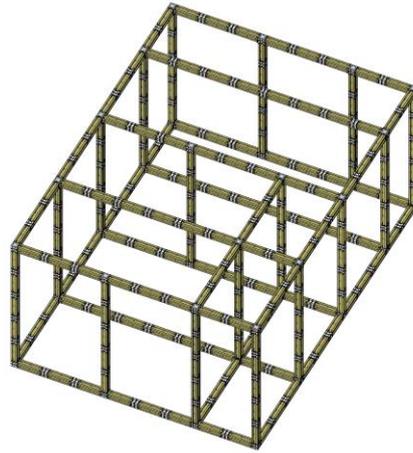


Figura 269. Volumen 48x66M completado
Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Sustracción horizontal

La sustracción de un volumen consiste en ir desmontando o reduciendo los elementos estructurales (EE) de manera gradual y consciente.

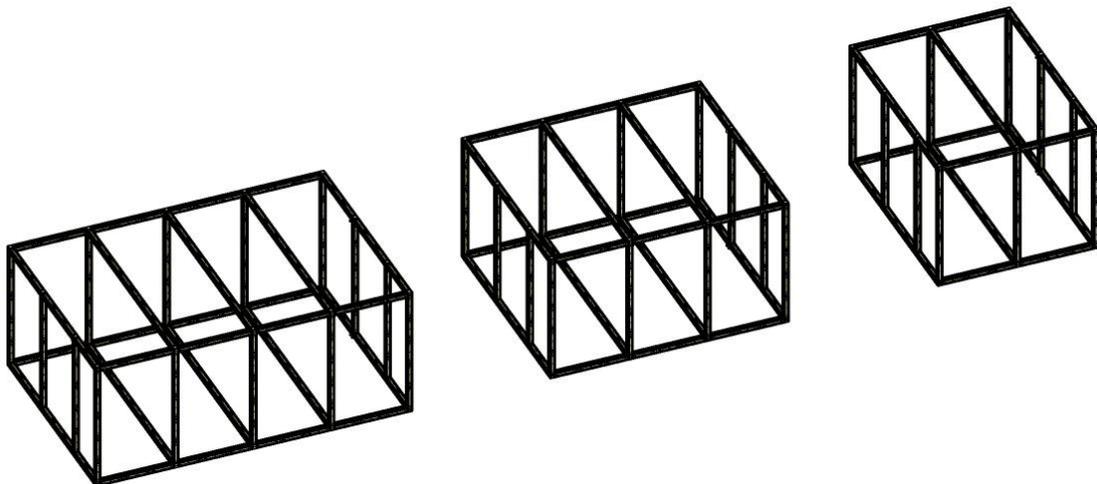


Figura 270. Sustracción de un volumen diáfano
Fuente: Elaboración propia

5.1.2.1. Tipos

Los tipos de sustracción en cuanto a la forma y posición vienen influidos por las posibilidades que ofrece la adición (tabla 11). La dirección de avance en la sustracción, en el caso de ser únicamente horizontal, podrá ser en la dirección X ó Y. (figura 271)

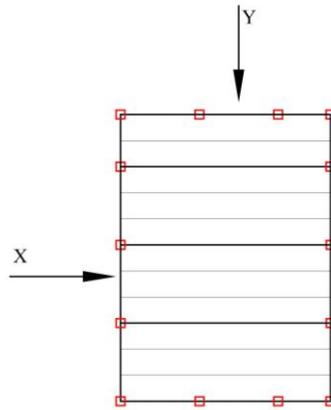


Figura 271. Avance en X ó Y
Fuente: Elaboración propia

5.1.2.2. Desmontaje y montaje

El sistema estructural flexible (SEF) permite el desmontaje de elementos estructurales (EE) por las 4 caras del volumen en sus dos ejes X e Y, facilitando la reducción del mismo. Sin embargo, es conveniente aclarar que la disminución de un volumen diáfano en la dirección X de los elementos estructurales horizontales (EEh) (figura 271) va a requerir un desmontaje más dificultoso (figura 272), resulta aconsejable, a ser posible, la reducción del volumen diáfano en dirección perpendicular a la dirección Y de los elementos estructurales horizontales (EEh), ya que permite ir desmontando elementos estructurales horizontales (EEh) (figura 272) uno a uno. En cambio, en la otra dirección nos enfrentamos directamente a las cabezas de los elementos y podría plantear más problemas de inestabilidad estructural, haciendo más compleja su ejecución.

A modo de ejemplo, la explicación la realizamos partiendo de un volumen diáfano de 48x66M, pretendiendo reducirlo a un volumen de dimensiones 36x36M (figura 272), definiendo así una de las dos premisas imprescindibles para comenzar la sustracción, que son:

- 1. Conocer el volumen que se quiere obtener**
- 2. Fijar los avances de desmontaje.**

Para este segundo punto conviene fijar un único avance de desmontaje inicial y, una vez desmontados los elementos estructurales (EE) necesarios hasta llegar a una de las dimensiones fijadas (figura 272-b), se cambia el avance hasta completar la otra dimensión del volumen (figura 272-c).

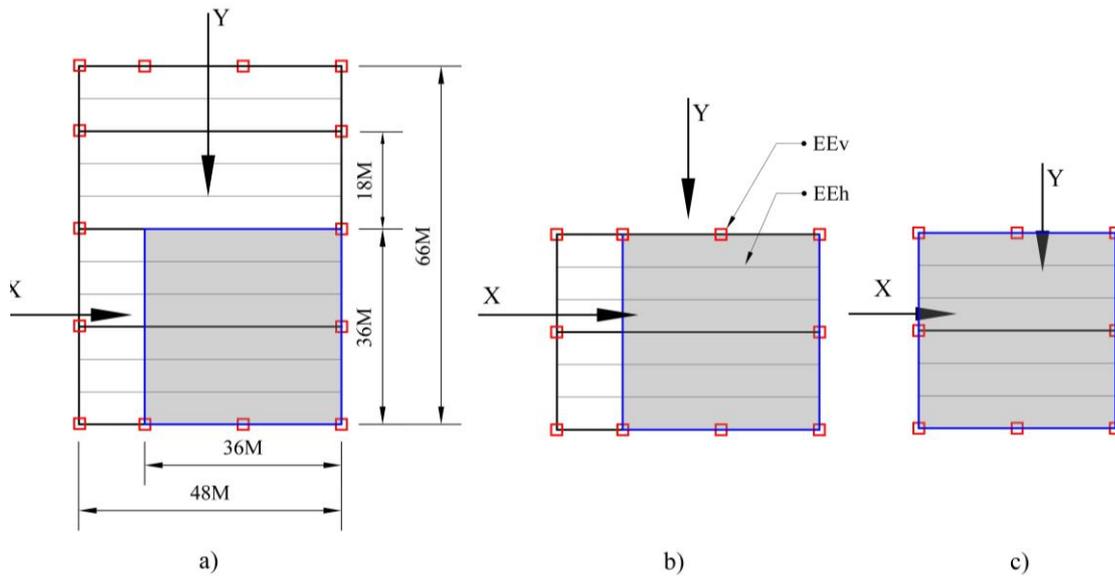


Figura 272. Sustracción de un volumen, según sus direcciones X o Y.

Fuente: Elaboración propia

El proceso de sustracción viene muy esquematizado en la tabla siguiente, donde se distinguen las direcciones de avances y la ejecución que se realiza en cada paso. No olvidemos que los desmontajes se realizan a la inversa de las uniones, según apartados anteriores de la tesis (véase apartado 3.4.5.).

Tabla 12. Proceso de sustracción de un volumen

Proceso de sustracción			
Avance	Pasos	Ejecución	Figura 273
Y	1	Desmontaje de PE perimetrales	a
	2	Desmontaje de EEh variables y fijos	a
	3	Montaje de nuevos PE perimetrales	a
X	4	Desmontaje de PE perimetrales	b
	5	Desmontaje de EEh hasta dimensión requerida	b
	6	Montaje de nuevos PE perimetrales	b
	7	Volumen requerido	c

Fuente: Elaboración propia

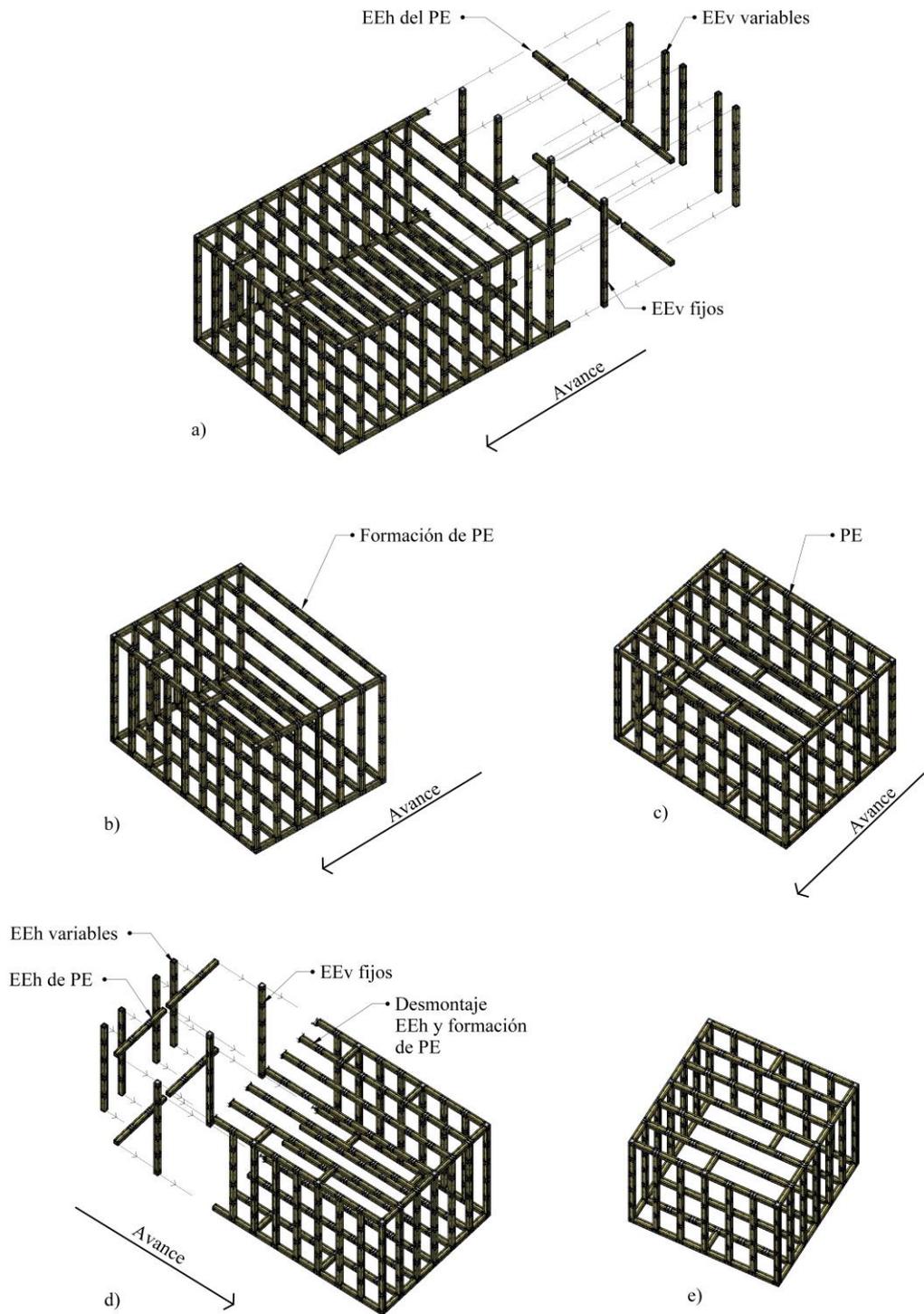


Figura 273. Proceso de avance en la sustracción de un volumen, según se indica en la tabla 12
Fuente: Elaboración propia

En base a los procesos anteriores queda definido la sustracción de un volumen de 54x66M, en un volumen de 36x36M.

5.2. Combinaciones en el plano vertical

5.2.1. Adición vertical

La adición vertical es el 2º tipo que permite el sistema estructural flexible (SEF), en esta ocasión se realiza en altura sobre un volumen existente (figura 274).

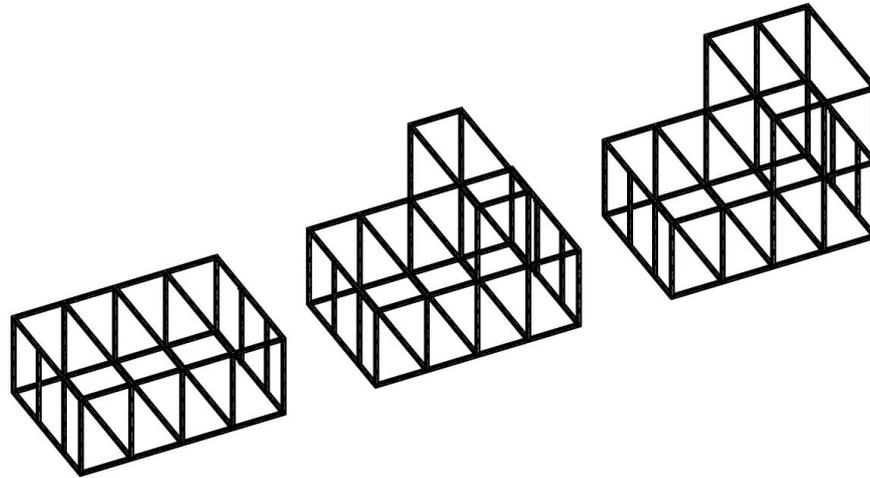


Figura 274. Proceso de adición vertical de unos volúmenes cualesquiera
Fuente: Elaboración propia

La primera pregunta que debemos preguntarnos sería: **¿Se puede montar cualquier volumen?** La respuesta es que No, no se puede. El volumen a montar tendrá una serie de condicionantes que deberá de cumplir:

- El nuevo volumen tendrá que ser igual ó más pequeño que la base sobre el que se apoya (volumen inicial) (figura 275). Esto lleva implícito que no es posible realizar voladizos.
- En los volúmenes de plantas superiores prevalecerán los elementos estructurales verticales (EEv) del volumen inicial (Vi), y en consecuencia, **no se podrán transmitir cargas sobre los elementos estructurales horizontales (EEh) del piso inferior.**

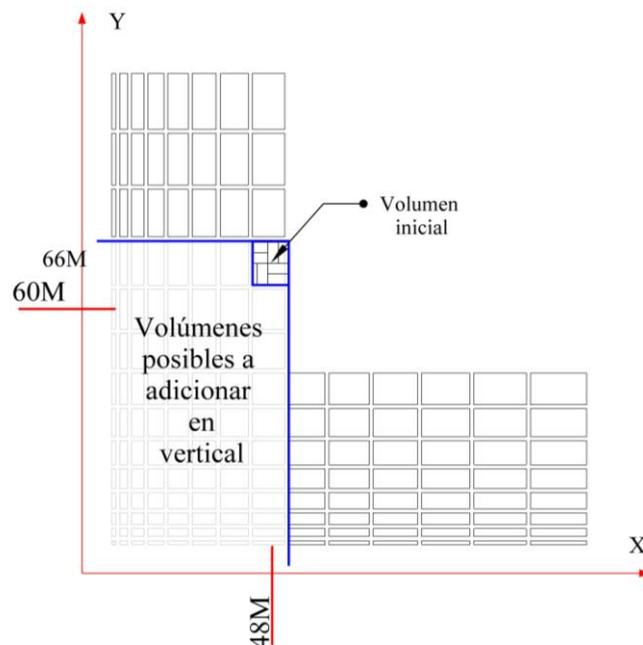


Figura 275. Posibles volúmenes en adición vertical
Fuente: Elaboración propia

La figura anterior (figura 275) nos muestra un ejemplo de los posibles volúmenes diáfanos a montar en vertical sobre un volumen inicial (V_i) dado, en este caso V_i (48M x 66M x 30M), con $L_x=48M$ y $L_y=66M$. Así se puede apreciar en la figura que podemos adicionar volúmenes que se corresponden con los generados hasta el límite impuesto por las dimensiones de sus lados.

5.2.1.1. Tipos

Los tipos de volúmenes en la 2ª planta irán en función de los lados en común que conservan con la estructura inicial, estos lados podrán ser de dimensiones iguales o menores al volumen inicial, según se muestra en la figura siguiente (figura 276):

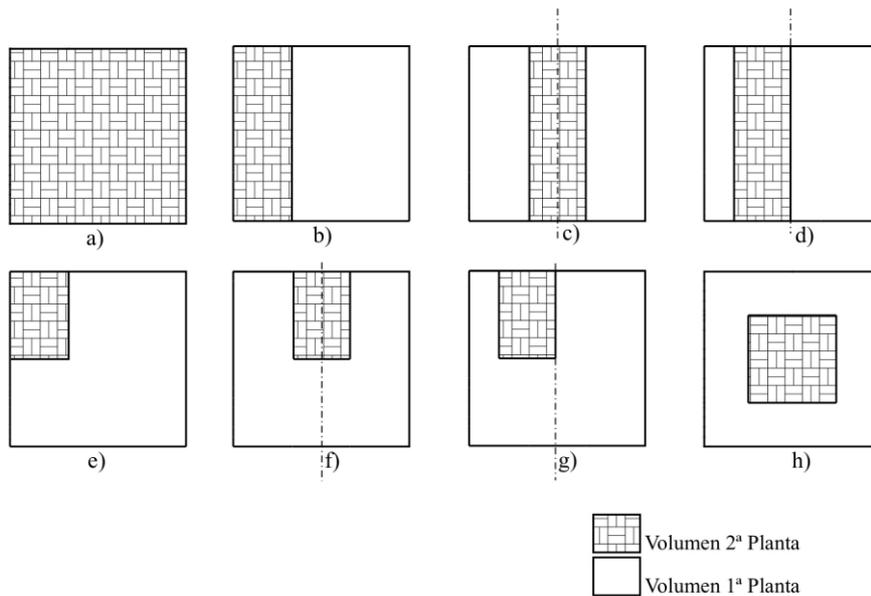


Figura 276. Formas y posiciones de los volúmenes en adición vertical
Fuente: Elaboración propia

Según la posición que adoptan los volúmenes anteriores dentro del piso superior de la estructura inicial, reciben un nombre determinado, según la tabla siguiente:

Tabla 13. Tipos de volúmenes de 2ª planta

Tipos de volúmenes			
Lados en común	Posición	Letra	Comparten lado con V_i
4 lados	Igual perímetro	a	Si
3 lados	Lateral	b	
2 lados	Centrado	c	
	Descentrado	d	
	Esquina	e	
1 lado	Centrado	f	No
	Descentrado	g	
0 lados	Interior	h	

Fuente: Elaboración propia

El montaje de los volúmenes de la 2ª planta se planteará en base a las necesidades que requiera el proyecto, siempre y cuando se establezca el volumen a montar, en cuanto a su forma y posición se tendrá en cuenta:

1. Posicionamiento de los elementos estructurales verticales (EEv)

Puede suceder que conservé o no elementos estructurales verticales (EEv) con el volumen inicial (V_i), ó también que en caso de ser de dimensiones menores que la estructura inicial se montaran sus correspondientes elementos estructurales verticales (EEv) con lo que se procederá a un desmontaje localizado de la estructura inferior.

2. Dirección de los elementos estructurales horizontales (EEh)

La dirección de los elementos estructurales horizontales (EEh) del piso inferior de la 2º planta viene determinado por la dirección de los elementos estructurales horizontales (EEh) del volumen inicial, se aconseja, mantener esta dirección.

3. Pórticos estructurales (PE) comunes y completos

El volumen de la 2º planta cuyos lados coinciden con el volumen inicial deberán de ser completos, los volúmenes no pueden compartir pórticos estructurales (PE) incompletos.

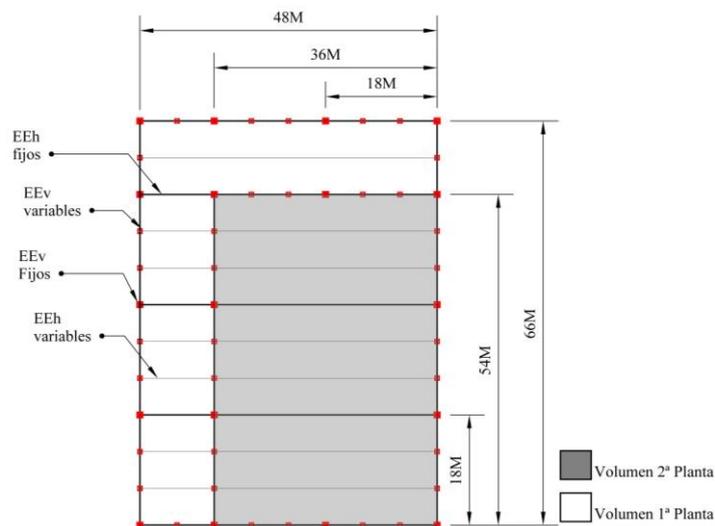


Figura 277. Planta del volumen añadido en vertical (36x54M) y el volumen inicial (48x66M)
Fuente: Elaboración propia

5.2.1.2. Montaje y desmontaje

El montaje se explicará de manera sencilla con un ejemplo aleatorio, el volumen inicial (V_i) de dimensiones anteriores (66Mx48M).

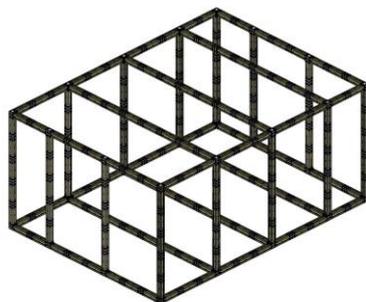


Figura 278. Volumen inicial (66Mx48M)
Fuente: Elaboración propia

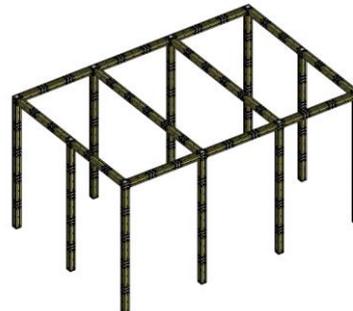


Figura 279. Volumen de 2ª planta (54Mx36M)
Fuente: Elaboración propia

Partimos de un volumen inicial (V_i) previo de $L_x:66M \times L_y:48M$ compuesto por, $L_x: 3 \times 18M + 1 \times 12M$ y $L_y: 2 \times 18M + 1 \times 12M$, unidos entre sí en su dimensión menor por elementos estructurales horizontales (EEh) (figura 278). Una vez contemplado el volumen de la 2ª planta de dimensiones $54 \times 36M$ y sabiendo su posición de montaje (figura 279), hay que visualizar los **3 puntos** anteriores de montaje, estos plantean que en los puntos donde existen elementos estructurales verticales (EEv) de 2ª planta se requiere un el desmontaje de los elementos estructurales horizontales (EEh) de 1ª planta, y el posterior montaje de los correspondientes elementos estructurales verticales (EEv) de 1ª planta para dar continuidad en la transmisión de cargas verticales de manera adecuada.

El sistema estructural flexible (SEF) al permitir un desmontaje unitario y localizado de cualquier elemento en cualquier posición, facilita esta labor, así, una vez posicionados y montados los nuevos elementos estructurales verticales (EEv), estos se ajustarán a los elementos estructurales verticales (EEv) de la 2ª planta, provocando la prolongación de los mismos.

De la misma manera, toda la estructura de elementos estructurales horizontales (EEh) superiores de la 1ª planta será compartida como los elementos estructurales horizontales (EEh) inferiores del volumen de la 2ª planta, dando lugar a una de las premisas o características del sistema estructural flexible (SEF) que es la “**NO**” **repetición de elementos**, también se colocarán los EEh de atado correspondiente (figura 194).

Todas y cada una de las caras del volumen de 2ª planta se podrán desmontar por sus elementos estructurales verticales (EEv) y elementos estructurales horizontales (EEh) variables, al igual, que el inicial y contribuir a aumentar la flexibilidad del volumen habitable.

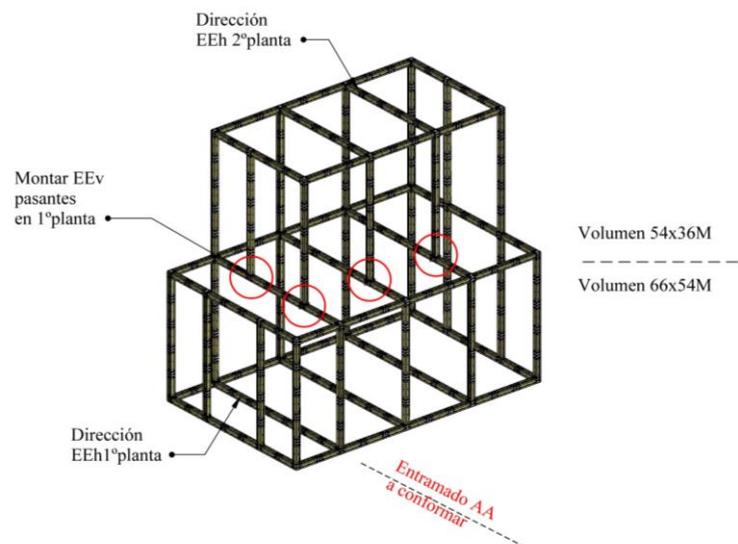


Figura 280. Volumen inicial ($66 \times 48M$)
Fuente: Elaboración propia

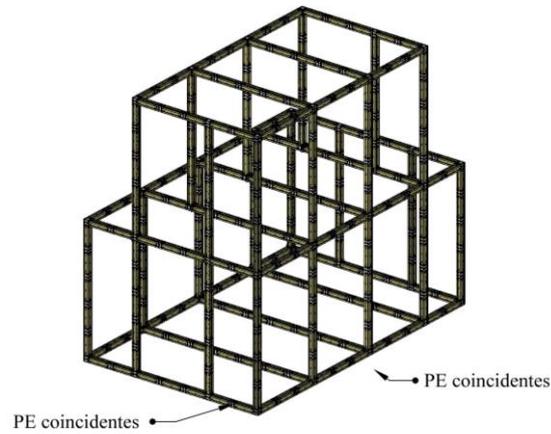


Figura 281. Volumen inicial (66x48M), vista posterior
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe el proceso de montaje-desmontaje del **entramado AA** (figura 280), **de gran relevancia para la continuidad de los elementos estructurales verticales (EEv)** y la correcta transmisión de cargas de la estructura, además se completa con los gráficos de la figura 282 siguiente.

Tabla 14. Proceso del entramado AA

Proceso de montaje – desmontaje del entramado AA	
Pasos	Ejecución
a	Hay que darle continuidad a los EEv de la 2º planta
b	Desmontaje de los EEh del nivel superior de la 1º planta.
c	Desmontaje de los EEh del nivel inferior de la 1º planta.
d	Montaje de los EEv de la 1ºplanta con sus uniones a los EEh correspondientes.
e	Montaje de los EEv de la 2º planta, formando sus PE intermedios correspondientes
f	Entramado AA montado

Fuente: Elaboración propia

Una vez finalizado el desmontaje-montaje de elementos estructurales (EE) para dotar de continuidad a los elementos estructurales verticales (EEv) de la 2ºPlanta (tabla 14), se procede al montaje de los distintos elementos estructurales (EE) variables tanto elementos estructurales verticales (EEv) como los elementos estructurales horizontales (EEh) (figura 282), a distancia 6M entre ellos.

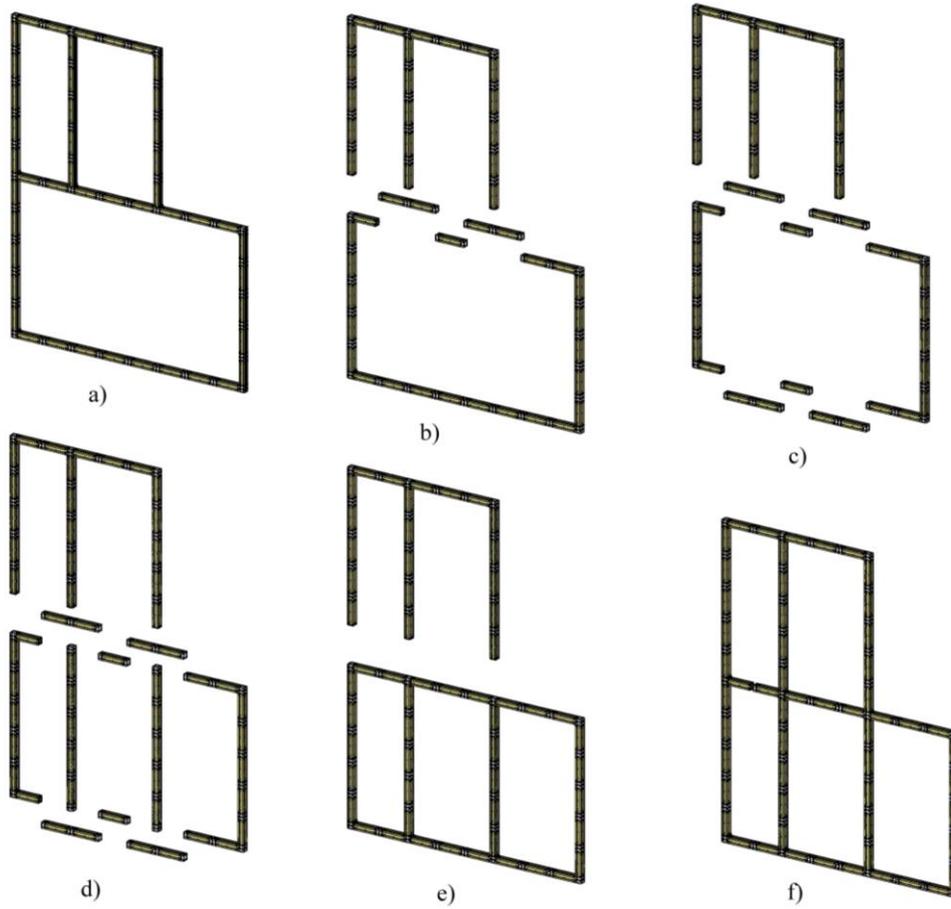


Figura 282. Proceso de desmontaje y montaje del entramado AA.
Fuente: Elaboración propia

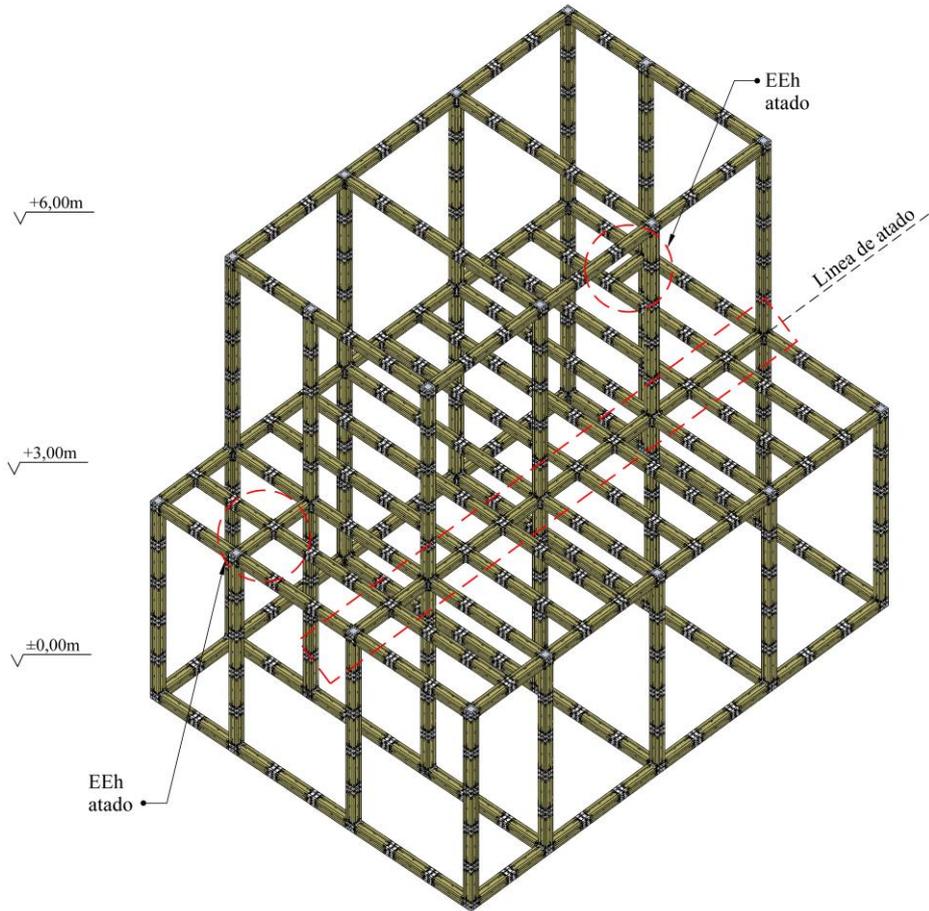


Figura 283. Estructura con elementos estructurales horizontales (EEh) de atado a nivel 3,00m. Fuente: Elaboración propia

Empezando por el montaje de los elementos estructurales horizontales (EEh) del nivel superior 1º planta (nivel inferior 2º planta), se observa una “línea de atado” creada para rigidizar los puntos de transmisión entre el 1º y 2º volumen, además de los elementos estructurales horizontales (EEh) de atado de la fachada con los elementos estructurales horizontales (EEh) de la planta (figura 283). Esta misma configuración estructural de elementos estructurales horizontales (EEh) se monta para la planta de nivel 0,00m (figura 284).

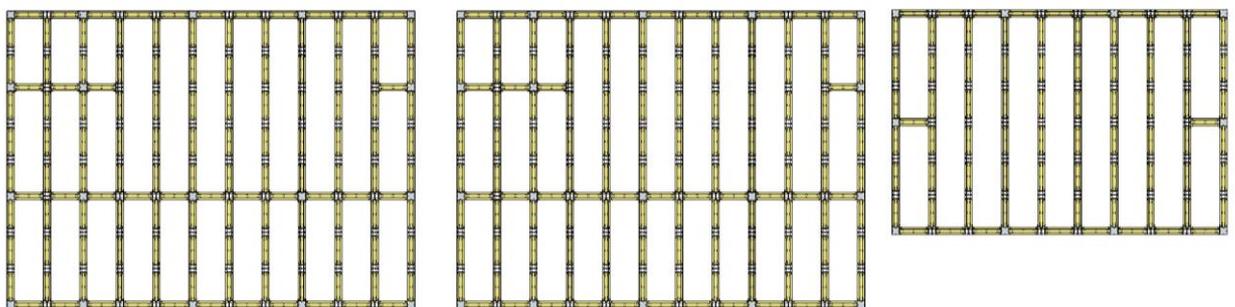


Figura 284. Plantas a nivel 0,00m, +3,00m y +6,00m
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los elementos estructurales verticales (EEv), tanto del 1º volumen como del 2º volumen, se montarán entre los pórticos estructurales exteriores (PEe) para crear una estructura distanciada entre elementos estructurales verticales (EEv) cada 6M. (figura 285)

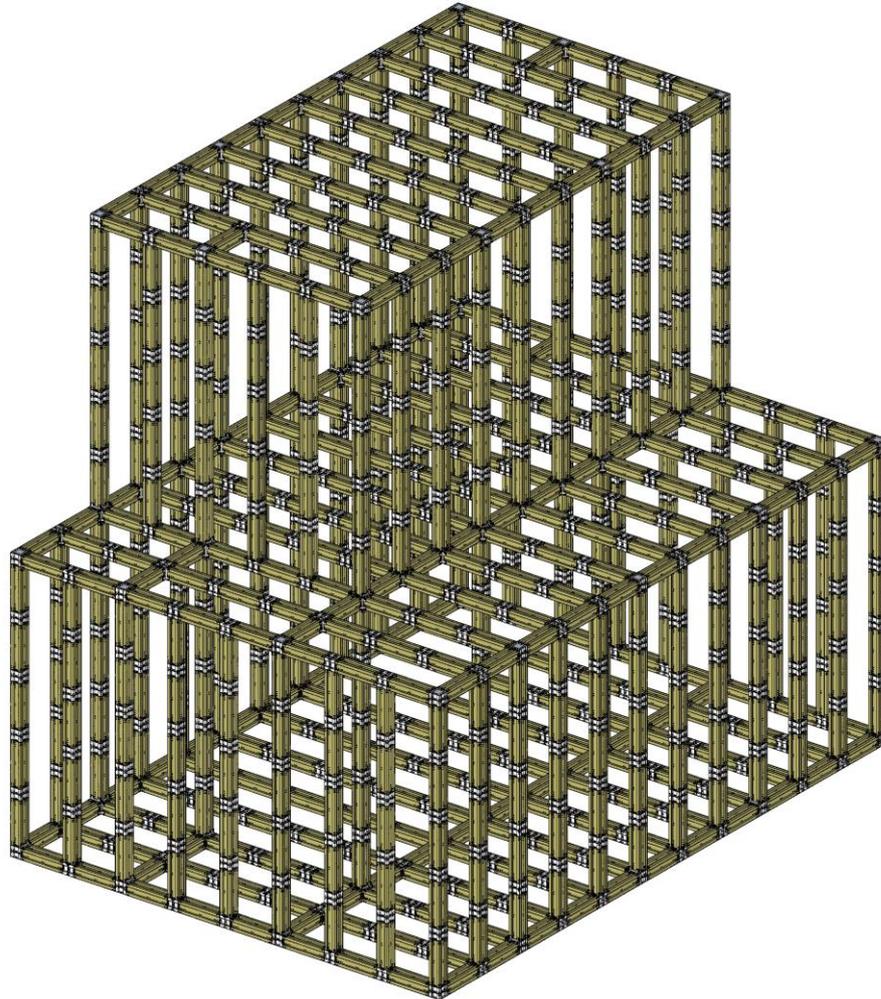


Figura 285. Volumen con todos los elementos estructurales horizontales (EEh) y elementos estructurales verticales (EEv), variables y fijos
Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Sustracción vertical

La sustracción vertical se considera la disminución o eliminación de volúmenes o parte de ellos mediante el desmontaje de los elementos estructurales (EE).

5.2.2.1. Tipos

Los tipos en cuanto a formas o posiciones respecto a un volumen inicial, ya se comentó en el apartado 5.2.1.1., para la sustracción tiene más sentido citar el avance de los desmontajes, que al igual que para las sustracciones en el plano horizontal serán en las 2 direcciones X e Y, incorporando si cabe la dirección Z para cambiar de planta.

5.2.2.2. Desmontaje - montaje

El desmontaje de un volumen de 2º planta de dimensiones, por ejemplo, 66Mx54M y 54Mx36M, se efectuará de acuerdo a las características explicadas en la sustracción horizontal con un único avance de cada vez, al igual que en el apartado 5.1.1.2., se deberá de tener en cuenta sus 2 premisas iniciales y una vez claras, se posibilitan 2 opciones:

1. **Desmontar el volumen al completo**
2. **Fijar un volumen determinado** (figura 273).

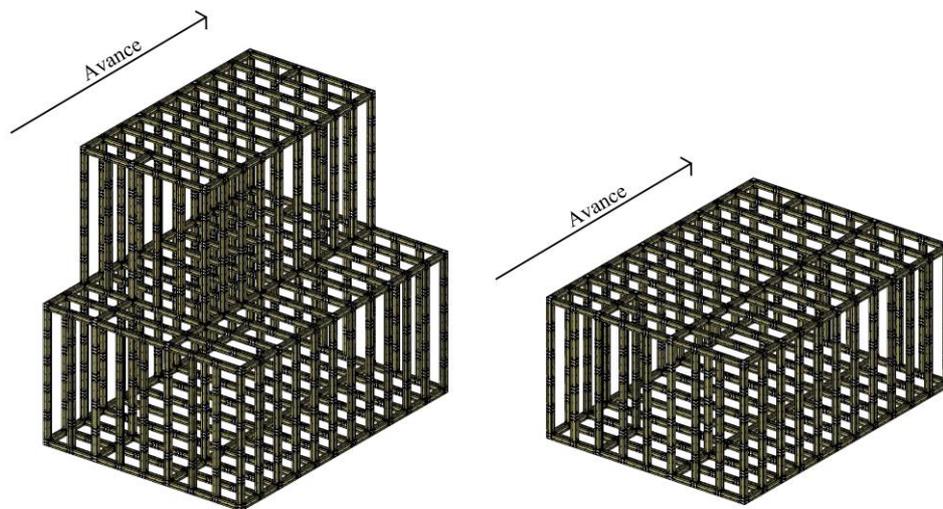


Figura 286. Sustracción de un volumen con dos plantas en altura

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la 1º opción se desmontará la 2º planta al completo con una única dirección de avance, a poder ser perpendicular a la dirección de los elementos estructurales horizontales (EEh), completado el desmontaje del volumen superior se comienza con el volumen inicial de la misma manera que se describió para el apartado 5.1.1.2.

Capítulo 6. Ejemplo de aplicación del sistema estructural flexible (SEF)

A continuación, se propone un ejemplo sencillo para la aplicación del sistema estructural flexible (SEF) a un posible caso. El volumen diáfano requerido tendrá las siguientes dimensiones:

Longitud: 4,80m
 Anchura: 4,80m
 Altura: 3,00m
 Distancia al plano $\pm 0,00\text{m}$: 0,6m (forjado sanitario)
 $(4,8\text{m} \times 4,8\text{m} \times 3\text{m}) = (X, Y, Z) = (48\text{M}, 48\text{M}, 30\text{M})$

En base a sistematizar el proceso de montaje, debemos de preguntarnos:

- a. ¿Cómo organizaremos la posible estructura para cumplir con los requisitos iniciales?
- b. ¿Cuántos elementos industrializados y de que tipo utilizaremos?

Proceso:

1. Es necesario establecer un sistema cartesiano tridimensional (X,Y,Z)
2. Estos ejes (X,Y,Z) se asociarán cada uno de ellos a una zona o elemento característico del volumen diáfano requerido (48Mx48Mx30M).

Eje X: Vinculado con las caras laterales longitudinales de dimensión 48M, estas se dividirán en un número entero de pórticos estructurales (PE):

$$48\text{M}: 2 \times 18\text{M} + 1 \times 12\text{M}$$

Eje Y: Vinculado a los elementos estructurales horizontales (EEh) y cuya dimensión será asociado a este eje y de valor 48M. Cada uno de estos elementos estructurales horizontales (EEh) estará constituido por unidades básicas (UB) de menores dimensiones.

Eje Z: Vinculado a los elementos estructurales verticales (EEv) y cuya dimensión será el asociado a este eje Z de valor 30M. Al igual que ocurría con los elementos estructurales horizontales (EEh), estos elementos estructurales verticales (EEv) están a su vez constituidos por unidades básicas (UB) de menores dimensiones.

3. El número total de elementos industrializados ira en función de las unidades básicas (UB1) y (UB2) por ser estos elementos industrializados los de menor dimensión posible no descompuestos, y a su vez en función también de los 2 posibles espesores a utilizar por el sistema estructural flexible (SEF).

Numero de elementos del Volumen (48Mx48Mx30M):

BU_{verde} :	96 unidades
BU_{rojo} :	48 unidades
BU_{verde} :	160 unidades
BU_{rojo} :	84 unidades
Escuadras de unión:	84 unidades

La solución estructural del volumen diáfano se observa en la figura 287 donde se aprecian todos y cada uno de los elementos, hacer constar que existen más posibilidades de resolver el volumen planteado, pero todas ellas se ensamblarán con la misma sistemática y sencillez.

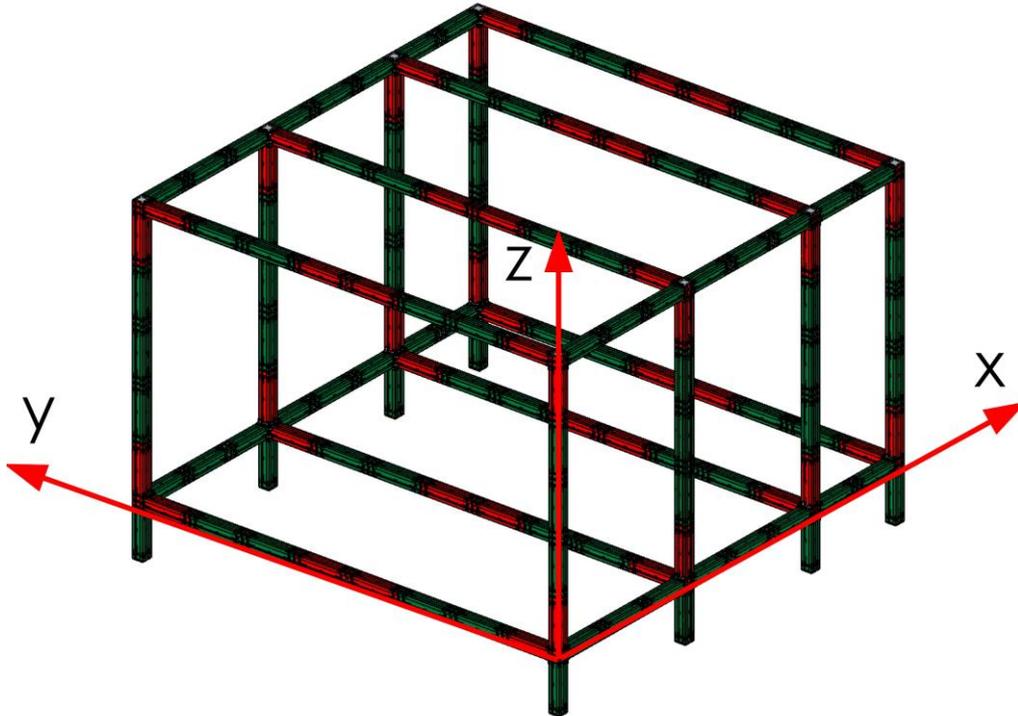
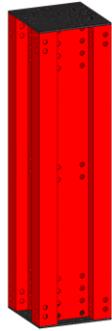


Figura 287. Volumen diáfano (48M x 48M x 30M), con sus elementos industrializados.
Fuente: Elaboración propia

Tabla15. Unidades de elementos industrializados a utilizar

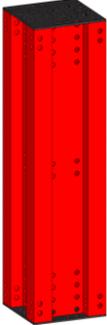
Elementos	UB1verde e: 3mm	UB1roja e: 2mm	UB2verde e: 3mm	UB2roja e: 2mm	Escuadra de unión
Figura					
Número de elementos	96	48	160	84	84

Fuente: Elaboración propia

6.1 Catálogo de elementos del sistema estructural flexible (SEF)

En este apartado y en vista de resumir el sistema estructural flexible (SEF), se propone una tabla que contiene los distintos elementos diferentes que lo componen.

Tabla16. Catálogo de productos

SEF			
Elemento	Figura	Características	
1		120x120x480mm; e:3mm	
2		120x120x480mm; e:2mm	
3		120x120x60mm; e:3mm	
4		120x120x60mm; e:2mm	
5		L50x50x3mm	
6		180xØ10mm	
7		50xØ8mm	

Elaboración propia

Bloque 3.

**SISTEMA DE CUBIERTA FLEXIBLE
SCF**

SCF

SISTEMA DE CUBIERTA FLEXIBLE

Capítulo 7. Características generales del Sistema de Cubierta Flexible (SCF)

7.1. Introducción

El sistema de cubierta flexible (SCF) se compone de una serie de elementos industrializados y detallados en forma y número dentro del sistema de construcción flexible. Este sistema de cubierta flexible (SCF) está concebido bajo las premisas generales ya descritas:

1. Elementos ligeros
2. Elementos transportables por personas (2 personas máximo)
3. Elementos de fácil montaje y desmontaje

La cubierta es parte fundamental del sistema de construcción flexible integrado por el sistema estructural flexible (SEF) y el sistema de cubierta flexible (SCF), de esta manera cualquier modificación en uno de ellos afectará al resto y, por lo tanto, cualquiera de estos sistemas debe de tener la capacidad de absorber cualquier modificación interna del mismo en lo referido a el montaje o desmontaje de unidades. El diseño del sistema de construcción flexible hace posible la interrelación (figura 288) de los sistemas entre sí.

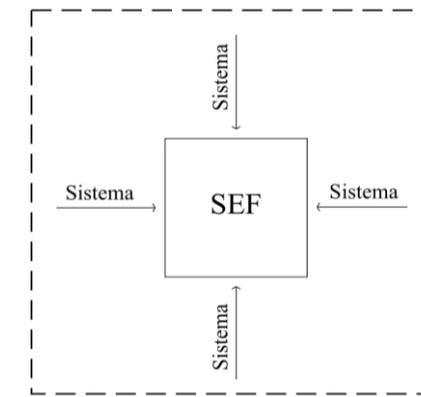


Figura 288. Formación general del sistema construcción flexible como Σ de sistema independientes. Fuente: Elaboración propia

Los elementos industrializados del sistema se diseñaron en base a la modulación 6M (600mm) que rige el sistema de construcción flexible donde formarán, cada uno de ellos, unidades que podrán ser montadas o desmontadas de manera individual e independiente al resto, facilitándose cualquier modificación o transformación que se lleve a cabo.

7.2. Nuevo concepto de cubierta horizontal totalmente plana

El sistema se basa en una cubierta horizontal, **totalmente plana** que recogerá el agua de lluvia de manera unitaria y la reconducirá mediante un sistema de canalización, con una posterior evacuación hacia el exterior. La cubierta tiene la capacidad de ser desmontable en cualquier punto y transitable en toda su superficie. Los elementos que integran la cubierta están diseñados para proporcionar no sólo la estanqueidad e impermeabilización adecuada a la edificación sino, también dar respuesta a sus condicionantes térmicos, puesto que lleva incorporado un panel aislante (tabla 20) para tal fin. Los elementos unitarios tipo tendrán una dimensión modulada 6Mx6M (figura 298), siendo M:100mm¹, además de ser cada uno de ellos transportables por 1 ó

¹ Norma UNE-EN-ISO 8560:2000

2 personas tanto en forma como en peso. A continuación, se detalla cada uno de los elementos que integran la cubierta, así como las distintas formas que puede adoptar, y las limitaciones y usos a los que se verá condicionada.

La cubierta por su diseño posibilita la ampliación y complementa a una edificación sin limitaciones temporales, de ahí que cualquiera de sus elementos se pueda llegar a montar y desmontar, su diseño plano es consecuencia de numerosos estudios sobre la imposibilidad viable de la ampliación descontrolada con superficies inclinadas, las cuales, debido a su pendiente condicionan la creación de elementos industrializados comunes y versátiles.

El diseño definitivo nace de la concentración de puntos de recogida de precipitaciones a modo de pirámides invertidas individuales, es decir, la pirámide invertida concentra en un punto común las intersecciones de sus planos inclinados, esto lleva a la captación de las precipitaciones a modo de “embudo”, donde (figura 339) las aguas que se vierten sobre la superficie horizontal se canalizan mediante un sistema de tuberías interiores y se evacuan hacia el exterior, esta superficie está elevada del nivel de la construcción propiamente dicho, creando un espacio intermedio donde se alojará todo el sistema de canalizaciones.

La cubierta al ser totalmente plana creará su propia inclinación en el agua de forma natural adaptando así las secciones de las conducciones a esa situación y siendo conscientes de las limitaciones (véase apartado 11.1.) que se producirán.

Hay que tener en cuenta, que cada una de las unidades “tipo” que formarán la cubierta de dimensiones 6Mx6M se reproducirán de forma sistemática hasta cubrir la superficie correspondiente, salvo en zonas especiales como podrán ser el perímetro y las esquinas interiores o exteriores de los volúmenes (tabla 18) que se configurarán con algún elemento distinto en cuanto a forma, pero igualmente reproducible para situaciones similares.

La sistematización del sistema de construcción flexible nos lleva a replantear la importancia que tiene la simplicidad de los elementos, esta lleva a la agrupación de funciones en unidades idénticas, universales y versátiles con capacidad de adaptación, la misma adaptación que lleva intrínseco que una edificación sobreviva al medio, se basa precisamente en encontrar o descubrir la llave de la conectividad y el orden, el ritmo y la armonía de cada uno de los elementos del sistema que buscan la integración con el todo. La facilidad de configuración de este tipo de cubiertas lleva asociado una sencillez de montaje y una rapidez de modificaciones aún mayor.

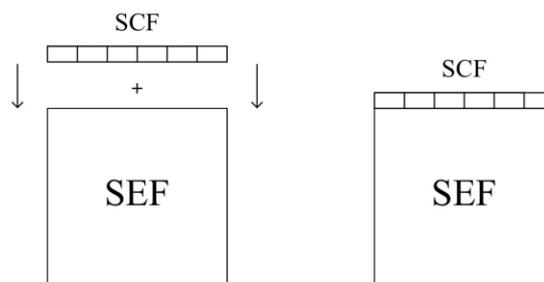


Figura 289. Integración entre el sistema de cubierta flexible (SCF) y el sistema de estructura flexible (SEF). Fuente: Elaboración propia

Capítulo 8. Aspectos de diseño

8.1. Tipología de cubiertas

La cubierta adoptará las dimensiones y formas que se establezcan en el sistema de estructura flexible (SEF), al que se fijará, protegiendo las áreas o superficies superiores de la estructura de manera horizontal y ortogonal. En función de esto las formas de las cubiertas variarán según:

Tabla 17. Tipologías de las cubiertas

Tipología de cubiertas		
Tipos		Designación
Forma	a	Rectangular
	b	Quebrada
Nivel ó Altura	c	Al mismo nivel
	d	A distinto nivel

Fuente: Elaboración propia

La cubierta es un sistema con posibilidad creciente o decreciente, en función de los requerimientos de las viviendas, esto se debe al poseer:

1. Flexibilidad estructural y compositiva

2. Montaje-Desmontaje individualizado

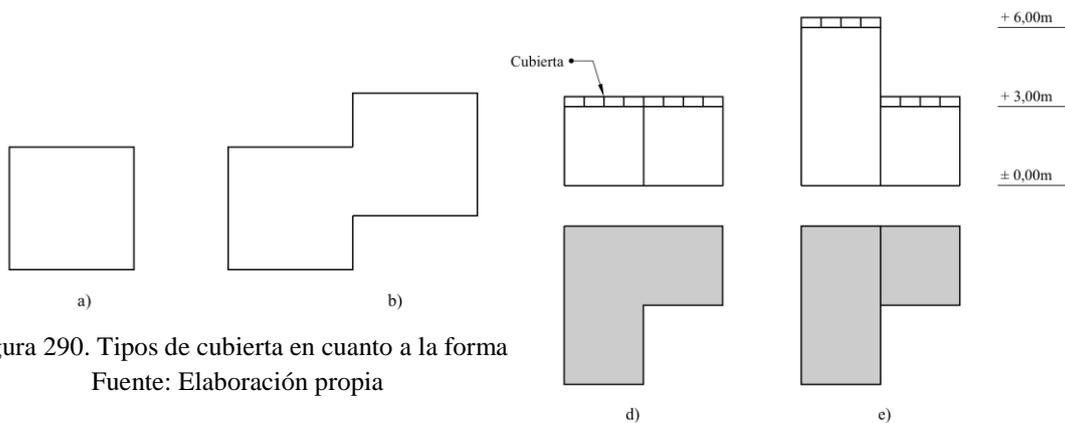


Figura 290. Tipos de cubierta en cuanto a la forma

Fuente: Elaboración propia

Figura 291. Tipos de cubierta en cuanto a la altura o nivel. Fuente: Elaboración propia

Las cubiertas no encuentran limitaciones más allá de las impuestas por el propio sistema de estructura flexible (SEF), adaptándose perfectamente a los cambios en cuanto a las superficies a cubrir, por tanto, la cubierta posee un crecimiento en relación al área ocupada por la estructura.

8.1.1. Forma de las cubiertas

En dependencia de la forma (figura 290) se detallan a continuación cada uno de los 4 tipos, limitándose este tipo de formas a 2 sectores de avance:

- a) Avance en una única dirección
- b) Avance en dos direcciones

8.1.1.1. Rectangular

Cubierta cuya superficie se encuentra cerrada por formas cuadradas o rectangulares y cuyo avance es lineal en cualquiera de los dos sentidos X o Y (figura 292), el avance en dos direcciones creará el resto de las formas (figura 293).



Figura 292. Avance en una única dirección
Fuente: Elaboración propia

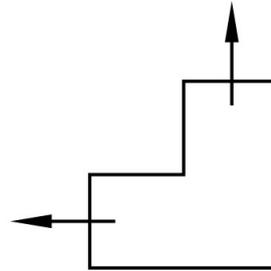


Figura 293. Avance en dos direcciones
Fuente: Elaboración propia

8.1.1.2. Quebrada

Las cubiertas quebradas (figura 294) serán aquellas en las que existen un ángulo de 90° en sus lados y, por tanto, se producen “queiebros” ortogonales en la misma, existen la posibilidad de infinidad de combinaciones, en nuestro caso se muestra a modo de ejemplo dos plantas unidas entre sí.

En este tipo se distingue una zona claramente diferenciada que aparece por donde se realiza el quiebro a 90° generándose las esquinas interiores como describiremos mas adelante, a su vez, en el perímetro se generan las esquinas exteriores por cada uno de sus cambios de plano.

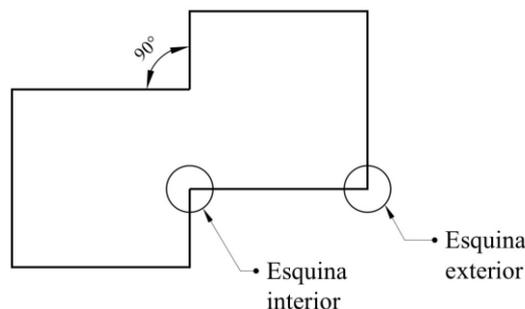


Figura 294. Cubierta quebrada. Tipo de esquinas
Fuente: Elaboración propia

8.1.2. Nivel de las cubiertas

El segundo condicionante de las cubiertas es el nivel al que se encuentren, en principio, el sistema estructural flexible (SEF) solo admite 2 alturas de planta a nivel 3,00m y +6,00m (figura 291).

En cuanto a las cubiertas en cada una de las posibilidades anteriormente planteadas, las formas de las mismas no sufrirán ninguna variación, la única novedad se refiere al combinar distintas alturas entre ellas, puesto que se crea una “zona de encuentro” (figura 295) entre volúmenes de

distinta altura que se tratará de manera individualizada. Las alturas en las cubiertas harán que por lo menos uno de los perímetros de la misma sea medianero con el volumen adyacente, eliminándose por tanto la opción de voladizo en este caso (no se contempla en el sistema) y, ajustándose mediante un caso particular a la generalidad, pero de igual modo, sistematizado y estandarizado para los demás encuentros de este tipo.

En estas “**zonas de encuentro**” (figura 295) se establece un panel medianero (en estudio) que se ve influenciado a su vez por los demás sistemas independientes también en fase de diseño, sobre todo el sistema de panelizado exterior (cerramiento), de ahí que la distancia de estos paneles medianeros sean menor de 6M (figura 296), porque hace interferencia con el sistema de panelizado exterior que configura la fachada (en estudio), restándole dimensiones y procurando que la solución acordada provoque uniones correctas y sistematizadas en el Sistema de cubierta flexible (SCF).

Nota: Estas zonas de encuentro se definirán como futuras líneas de investigación del Sistema de cubierta flexible (véase capítulo 14)

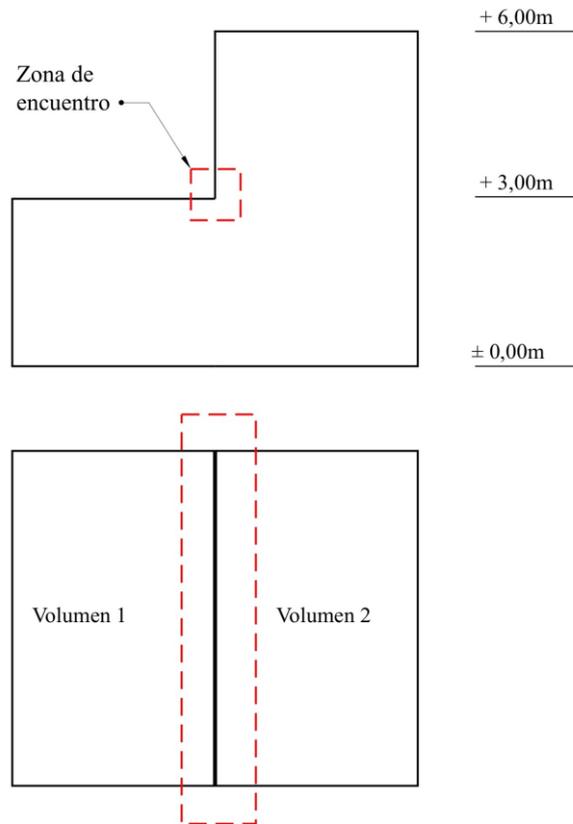


Figura 295. Zona de encuentro
Fuente: Elaboración propia

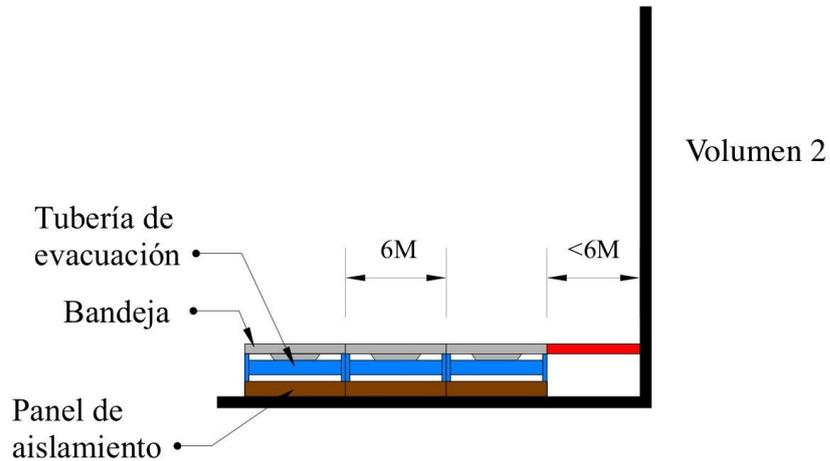


Figura 296. Dimensiones de la zona de encuentro
Fuente: Elaboración propia

8.2. Áreas de cubierta

La actuación sobre una superficie para la cubrición por parte de una cubierta será tal que permita realizarlo con el menor número de elementos posibles, logrando así una estandarización, una simplificación del sistema a partir de una evolución natural de la cubierta por sí sola, un crecimiento controlado y libre sobre la superficie horizontal.

En esta expansión existen una serie de unidades tipo 6Mx6M industrializadas cuyo número es limitado y con los cuales la formación de cubierta se reduce a colocarlos en su lugar y orden adecuados. Estos elementos dependerán de una zonificación previa producida por las 2 posiciones que se obtienen a la hora de generar cubiertas (figura 297).

Existen dos áreas claramente diferenciadas:

1. Área central a cubrir = área superior del volumen del sistema estructural flexible (SEF)
2. Área perimetral en voladizo

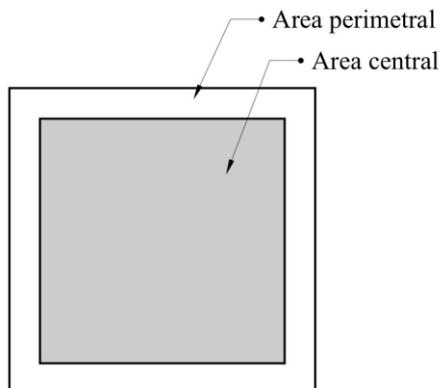


Figura 297. Áreas de cubierta
Fuente: Elaboración propia

8.2.1. Elementos que integran las áreas

Los elementos industrializados de cubierta (EC) que se obtienen serán los 4 tipos siguientes:

Tabla 18. Tipos de EC

Elementos de Cubierta (EC)			
Tipo		Colocación	Dimensiones (mm)
Lineal	EC1	General	600x600
	EC2	Perimetral	600x450
Esquina	EC3	Esquina exterior	600x600x450 (medidas exteriores)
	EC4	Esquina interior	1200x1200x450 (medidas interiores)

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se observan estos elementos de manera general, en sucesivos apartados describiremos las unidades integradoras de cada uno de ellos.

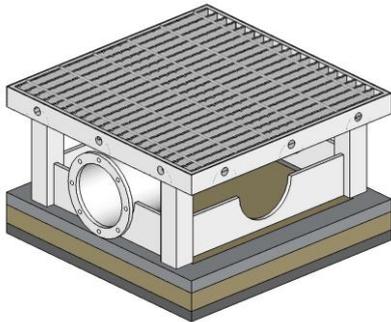


Figura 298. Elemento de cubierta (EC1).
Elemento tipo 600x600²
Fuente: Elaboración propia

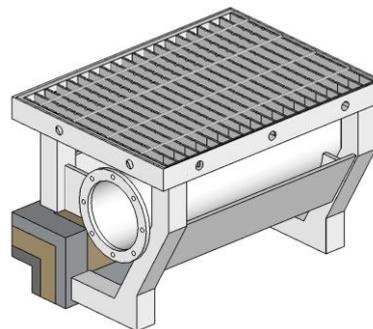


Figura 299. Elemento de cubierta (EC2).
Elemento perimetral central 600x450
Fuente: Elaboración propia

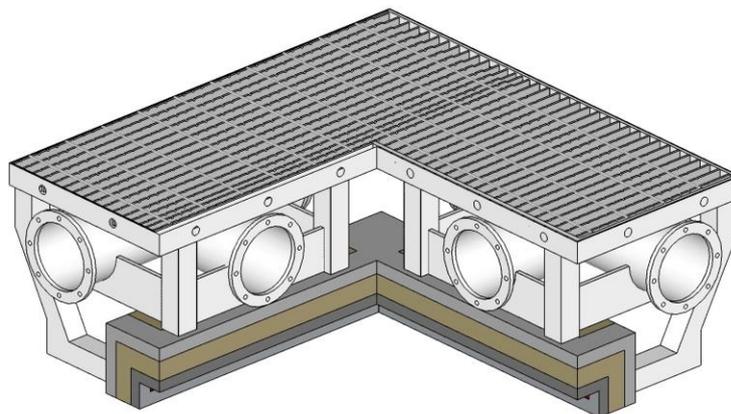


Figura 300. Elemento de cubierta (EC3).
Elemento de esquina exterior 600x600x450
Fuente: Elaboración propia

² Patente Española ES2610203B2. http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/61/02/ES-2610203_B2.pdf

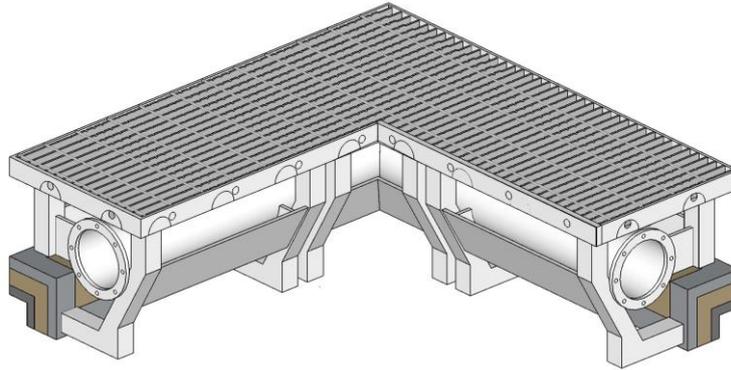


Figura 301. Elemento de cubierta (EC4).
Elemento de esquina interior 1200x1200x450
Fuente: Elaboración propia

Se establece una relación entre la zona, las formas y las áreas, en referencia al tipo de elemento de cubierta (EC) adecuado a utilizar, según se muestra en las figuras siguientes (figuras 302 a 305), con lo cual, el posicionamiento de cada elemento de cubierta (EC) estará claro de antemano sin posibilidad de error y, no menos importante, será el conocimiento del número de elementos de cubierta (EC) integrantes, aumentando la eficiencia y eficacia de este tipo de cubiertas de cara a la planificación, la economía y el montaje del proyecto.

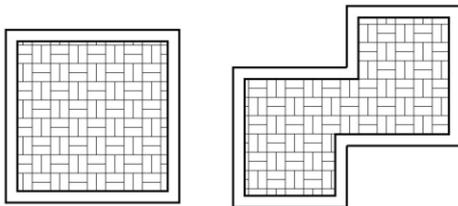


Figura 302. Zona de montaje del elemento de cubierta (EC1)
Fuente: Elaboración propia

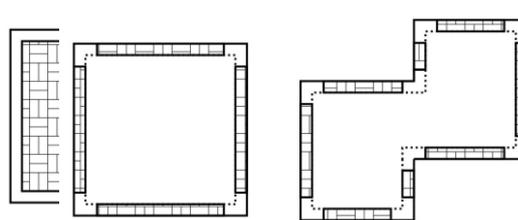


Figura 303. Zona de montaje del elemento de cubierta (EC2)
Fuente: Elaboración propia

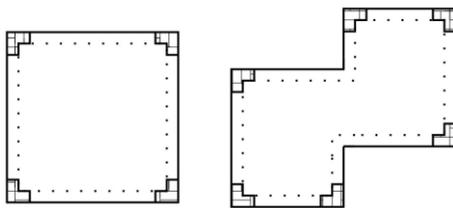


Figura 304. Zona de montaje del elemento de cubierta (EC3)
Fuente: Elaboración propia

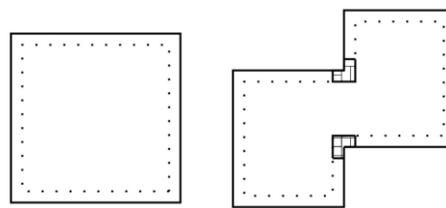


Figura 305. Zona de montaje del elemento de cubierta EC4
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 9. Composición del sistema de cubierta flexible (SCF)

Los elementos de cubierta (EC) (figura 298 a 301) anteriores se componen de distintas unidades (figura 322) que variarán ligeramente de unos elementos a otros, pero que permanecerán en ellos de manera general formando el elemento unitario correspondiente.

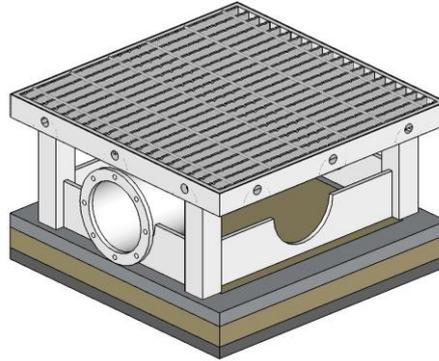


Figura 306. Elemento de cubierta tipo sobre panel
Fuente: Elaboración propia

A continuación, describiremos el elemento tipo (figura 306) de los elementos de cubierta transitable plana (EC₁) descompuesto por sus unidades (tabla 19), y en virtud de esto adoptaremos una descripción pormenorizada de cada una de las partes integradoras. Según el orden de posicionamiento de las unidades de cubierta para el EC₁, se crea la siguiente descripción:

Tabla 19. Unidades integrantes de los elementos de cubierta (EC)

Marca	Designación
1	Sistema estructural flexible (SEF)
2	Panel de aislamiento
3	Elemento de sustentación
4	Tubería
5	Juntas de tubería
6	Bandeja de recogida
7	Juntas de bandeja
8	Rejilla
9	Cubrejuntas

Fuente: Elaboración propia

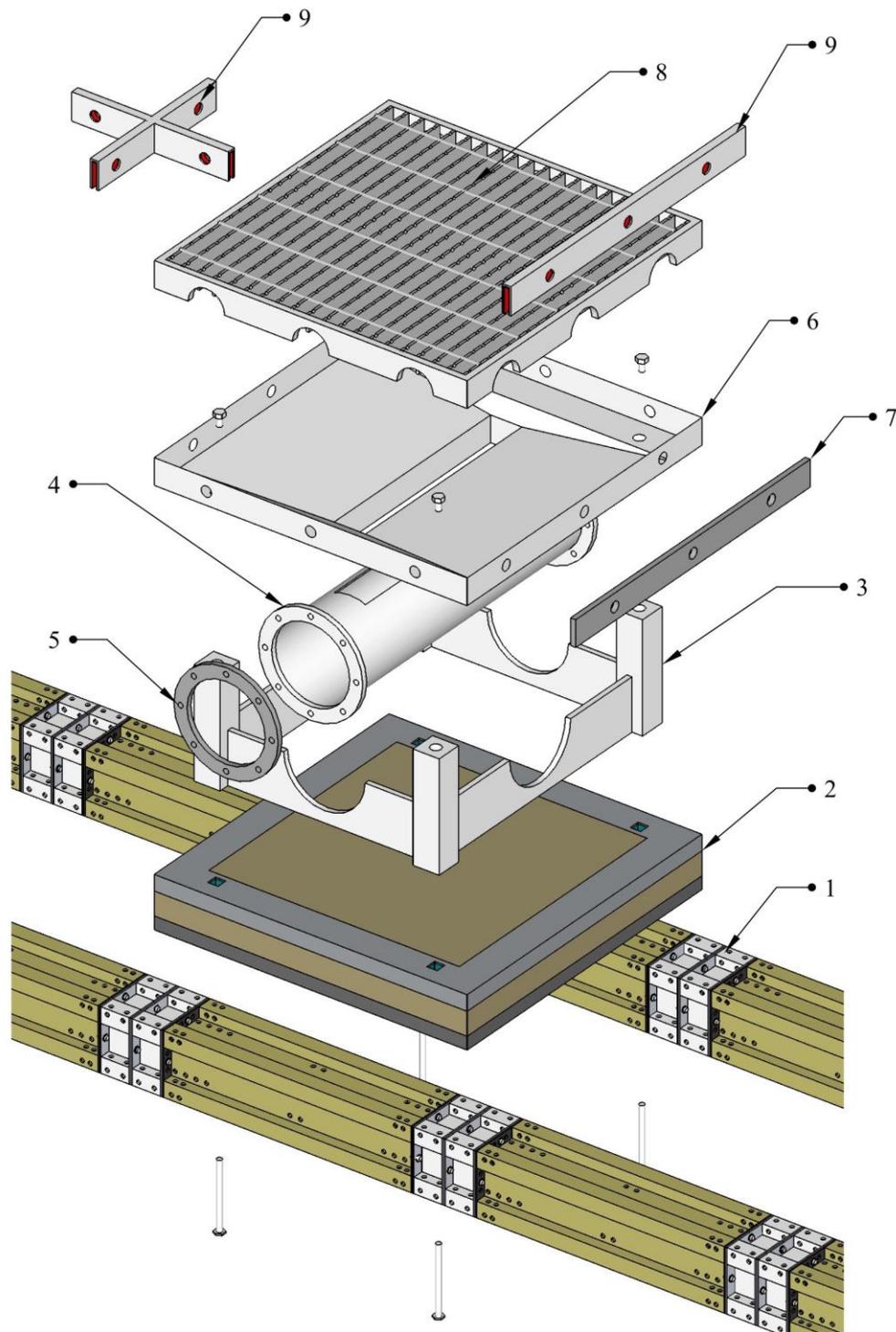


Figura 307. Elemento tipo descompuesto en unidades de cubierta

Fuente: Elaboración propia

9.1. Sistema estructural flexible (SEF)

El sistema de construcción flexible se diseñó para establecer una perfecta integración de los distintos sistemas independientes entre sí y, por tanto, previamente al sistema de cubierta flexible (SCF) se establece el sistema de estructura flexible (SEF) (figura 308) que es el sistema aglutinador de la composición dentro de la configuración global. Al ser el sistema de cubierta flexible (SCF) un sistema independiente de cubierta, éste se fijará al sistema de estructura flexible (SEF) en su zona superior, en su cota más elevada (figura 291) y directamente sobre los elementos estructurales horizontales (EEh), a los que el sistema de cubierta flexible (SCF) se unirá en seco mediante tornillería, sin ningún componente húmedo, destacando su función de montaje y posible desmontaje. Los planos de nivel (figura 309) a los que el sistema de cubierta flexible (SCF) se montará, se establecen a una altura definida de +3,00m y +6,00m según quedo establecido y prefijado en la parte de la investigación del sistema estructural flexible (SEF) y, a su vez, como comentamos en el nivel de cubiertas (véase apartado 8.1.2).

El sistema de cubierta flexible (SCF) está diseñado para montarse a cualquier volumetría planteada inicialmente por el sistema estructural flexible (SEF) y permitiendo posteriormente modificaciones en la misma. En virtud a estas posibles formas estructurales se configuran los 2 posibles tipos de cubiertas resultantes y anteriormente citadas (figura 290). A partir de ahora se establecerá la descripción de las unidades que integran a los elementos de cubierta (EC) propiamente dichos, y en consonancia con la tabla 20.

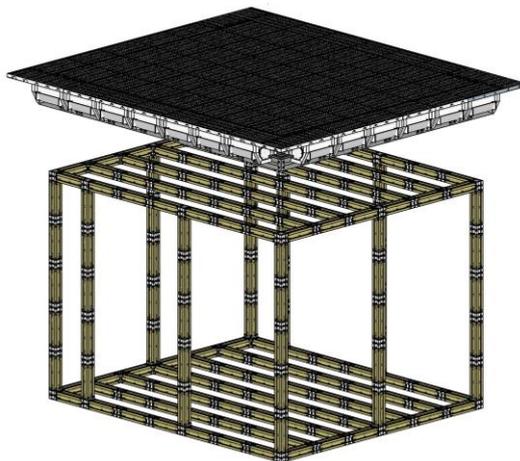


Figura 308. Perspectiva del sistema estructural flexible (SEF) y el Sistema de cubierta flexible (SCF). Fuente: Elaboración propia

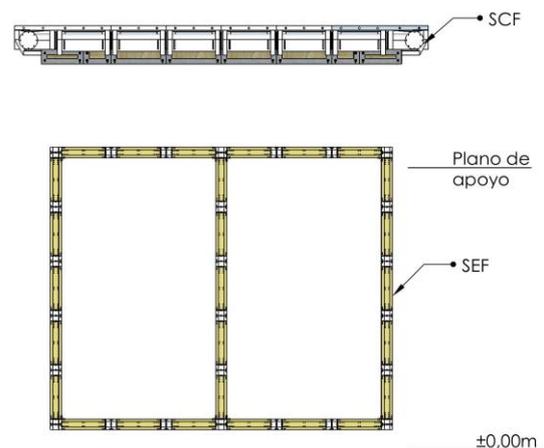


Figura 309. Vista lateral del sistema estructural flexible (SEF) y el Sistema de cubierta flexible (SCF). Fuente: Elaboración propia

9.2. Paneles de aislamiento

Los paneles aportan dentro de la cubierta el aislamiento, estos se fijarán a la estructura por medio de tornillería, lo que le confiere igualmente la posibilidad de desmontaje de forma unitaria, es de destacar que los paneles irán fijados a la estructura de manera solidaria e independiente al resto, a su vez los elementos restantes se unirán al panel formando la unidad completa y compacta, el denominado elemento de cubierta (EC) (figura 310).

Los paneles serán las primeras unidades en contacto con el sistema estructural flexible (SEF) encargándose de aportar la función de aislamiento tanto térmica como acústica, por tanto en su composición interna estará dotado de un material aislante, existen 4 tipos posibles de paneles (tabla 19), y se montarán uno por cada elemento de cubierta, en cuanto a la posición de estos, habrá que indicar que cada panel puede ser de tipo central, perimetral o de esquina al igual que los mismos elementos de cubierta (EC).

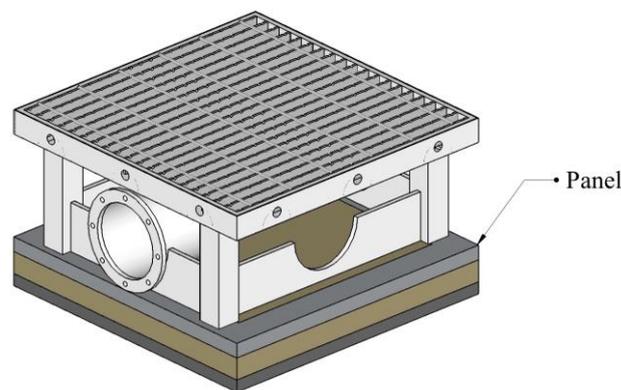


Figura 310. Elemento de cubierta tipo sobre panel
Fuente: Elaboración propia

9.2.1. Tipos de paneles de aislamiento

El panelizado exterior del sistema de construcción flexible (cerramiento) es otro sistema independiente (véase apartado 1.2.1. Bloque1) a esta tesis y en estudio en el que no profundizaremos, salvo el comentar que existen 4 paneles distintos (figura 311) que rigen cada uno de los 4 distintos tipos (figura 298 a 301) de elementos de cubierta del Sistema de cubierta flexible (SCF):

Tabla 20. Tipos de paneles, dimensiones y zonas de montaje

Tipos de paneles				
Tipo		Colocación	Dimensiones (mm)	Montaje
P1	Panel 1	Central	600X600	EC1
P2	Panel 2	Perimetral	600	EC2, EC3, EC4
P3	Panel 3	Esquina exterior	600X600X450 (medidas exteriores)	EC3
P4	Panel 4	Esquina interior	1200X1200X450 (medidas interiores)	EC4

Fuente: Elaboración propia

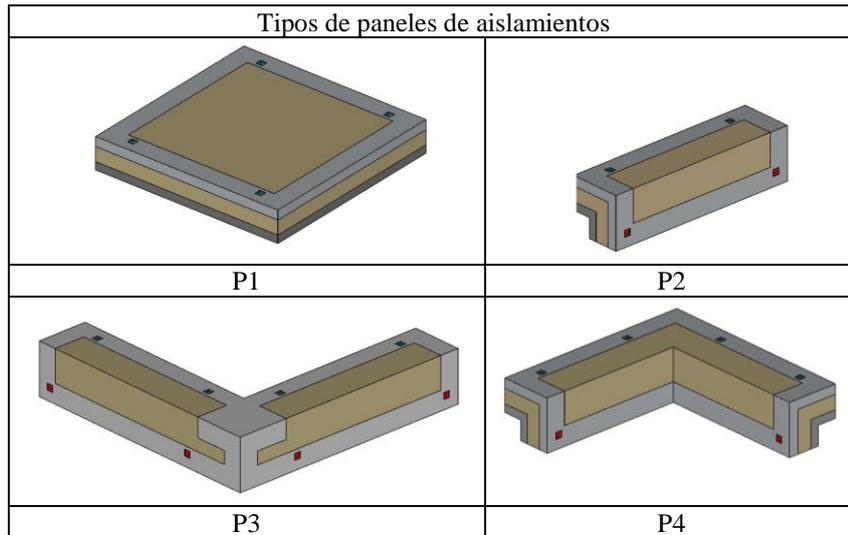


Figura 311. Tipos de paneles de aislamiento

Fuente: Elaboración propia

9.2.2. Composición de los paneles de aislamiento

Los paneles son unidades industrializadas íntegras que se colocan de manera unitaria, fijándose directamente sobre el sistema estructural flexible (SEF) con la tornillería correspondiente.

Cada panel es una composición tipo sándwich que se ajusta en formato a las dimensiones moduladas del sistema, y cuya composición interna se basa en 2 marcos, uno exterior y otro interior encargados de dar consistencia y fijar el armazón del panel. En su interior se encuentra el componente aislante cuya dureza dependerá del tipo de material y espesores a emplear, y que a su vez estará en función de usos, calidades y economía.

La composición interna mantendrá las cualidades de protección térmica y acústica, siendo adecuadas a las normativas y evitando su deformación. Los paneles contienen un mínimo de 4 unidades de unión, permitiendo que, a través de ellos, se realice la correcta fijación con el sistema estructural flexible (SEF).

9.2.3. Montaje de los paneles de aislamiento

El montaje del sistema de cubierta flexible (SCF) se realiza desde el exterior con la colocación en primera instancia del panel de aislamiento en su posición correcta, a ejes tanto en X como en Y (figura 312), la fijación se efectúa por el interior (figura 313) con la introducción de unos tornillos pasantes por las aberturas, a través de los elementos de unión de los paneles, cada uno de ellos se une como mínimo en 4 puntos (tornillos pasantes) a la estructura de manera independiente y con capacidad de montarse y desmontarse.

En cuanto al montaje de los paneles centrales y perimetrales, aunque similares, sus posiciones dentro del sistema estructural flexible (SEF) son distintas y, es conveniente una explicación por separado. Los paneles de esquina tanto interiores como exteriores se regirán por los mismos procedimientos de montaje que los perimetrales.

1. Panel Central

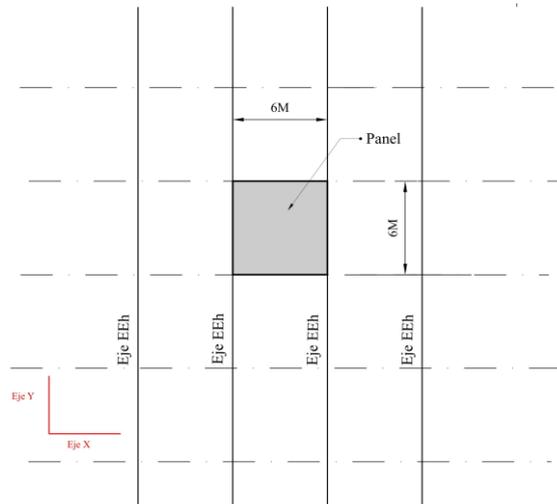


Figura 312. Colocación en planta a ejes de elementos estructurales horizontales (EEh)

Los paneles centrales como es sabido se colocarán en la zona “central” (tabla 20) de la cubierta, siempre entre los ejes (figura 312) que forma la retícula axial 6M (véase Figura 6. Bloque1.)

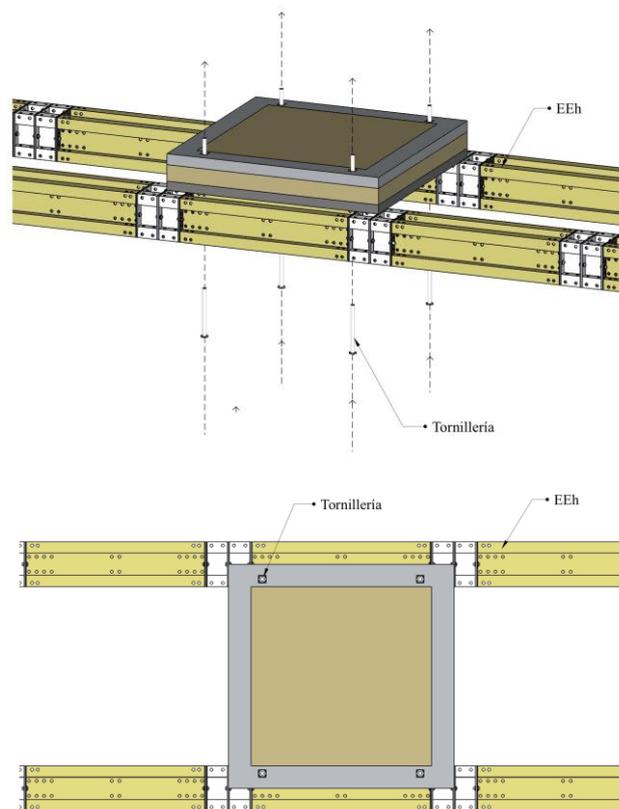


Figura 313. Fijación interior del panel (planta)
Fuente: Elaboración propia

Nota:

Los paneles centrales se colocan siempre en planos horizontales a cotas de +3,00m y +6,00m.

2. Panel Perimetral

Los paneles perimetrales difieren con los anteriores en su colocación y forma, en este caso el panel perimetral se colocará en los elementos estructurales horizontales (EEh) perimetrales del sistema estructural flexible (SEF) (figura 314), como se puede observar los elementos se posicionarán también en los ejes de los elementos estructurales horizontales (EEh) con la salvedad que estos paneles perimetrales forman 90° entre los planos horizontales y verticales, siendo elementos de continuidad entre ambos planos perpendiculares.

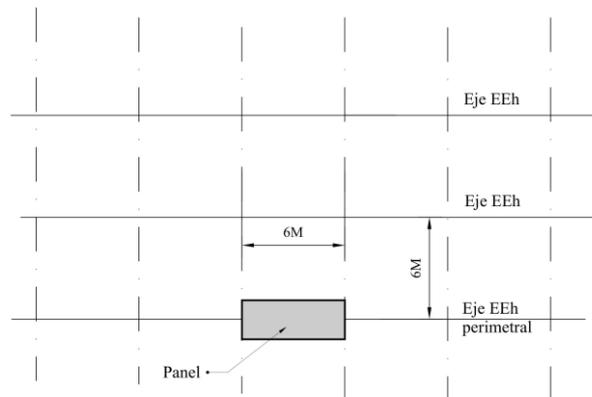


Figura 314. Colocación en planta a ejes de elementos estructurales horizontales (EEh)
Fuente: Elaboración propia

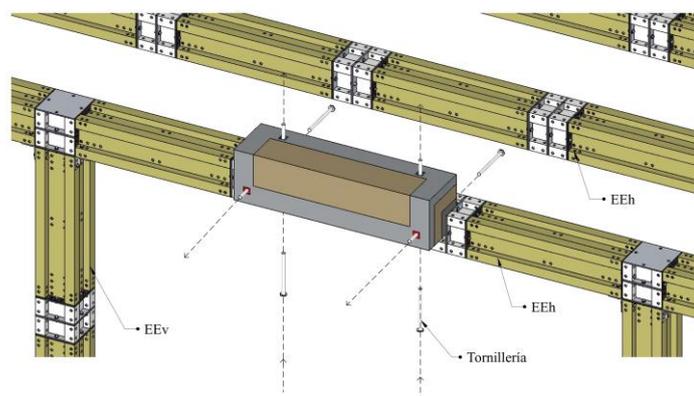


Figura 315. Fijación interior del panel
Fuente: Elaboración propia

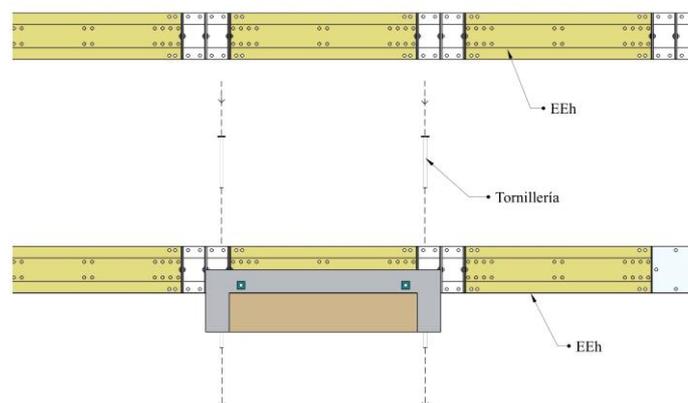


Figura 316. Fijación interior del panel (planta)
Fuente: Elaboración propia

9.3. Elementos de sustentación (ES)

Los elementos de sustentación (ES) (figura 317) son los encargados de servir de apoyo a la canalización y de fijación a las bandejas de recogida, por tanto, se encuentran situados entre estas y los paneles de aislamiento, siendo por esto que se crea un espacio entre las bandejas y el panel por donde se sitúa el saneamiento, además de permitir una circulación de aire que dota al sistema de una cubierta ventilada con los beneficios que eso conlleva.

Las unidades se montarán con tornillería, tal y como se describirá a continuación, permitiendo ese montaje-desmontaje individualizado tan característico del sistema.

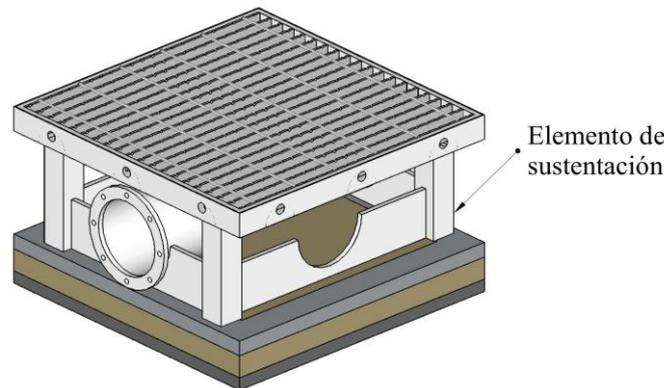


Figura 317. Elemento de cubierta tipo
Fuente: Elaboración propia

9.3.1. Tipos de elementos de sustentación (ES)

Habrán 3 tipos de elementos de sustentación (ES) dependiendo del elemento de cubierta (EC) al que pertenezcan, por tanto, se puede hablar de:

Tabla 21. Tipos de elementos de sustentación, dimensiones y zonas de montaje

Elementos de sustentación				
	Tipo	Colocación	Dimensiones	Montaje
ES1	Elemento de sustentación 1	Central	6MX6M (Perímetro)	EC1
ES2	Elemento de sustentación 2	Perimetral Esquina exterior Esquina interior	6M (Longitud)	EC2, EC3, EC4
ES3	Elemento de sustentación 3	Esquina interior	6MX6M (Perímetro)	EC4

Fuente: Elaboración propia

Al estar los elementos de sustentación (ES) en función de los elementos de cubierta (EC) sobre los que se montan, la zona de colocación vendrá impuesta por estos últimos, así hablamos de colocación central, perimetral o de esquina exterior e interior, según el caso (tabla 21).

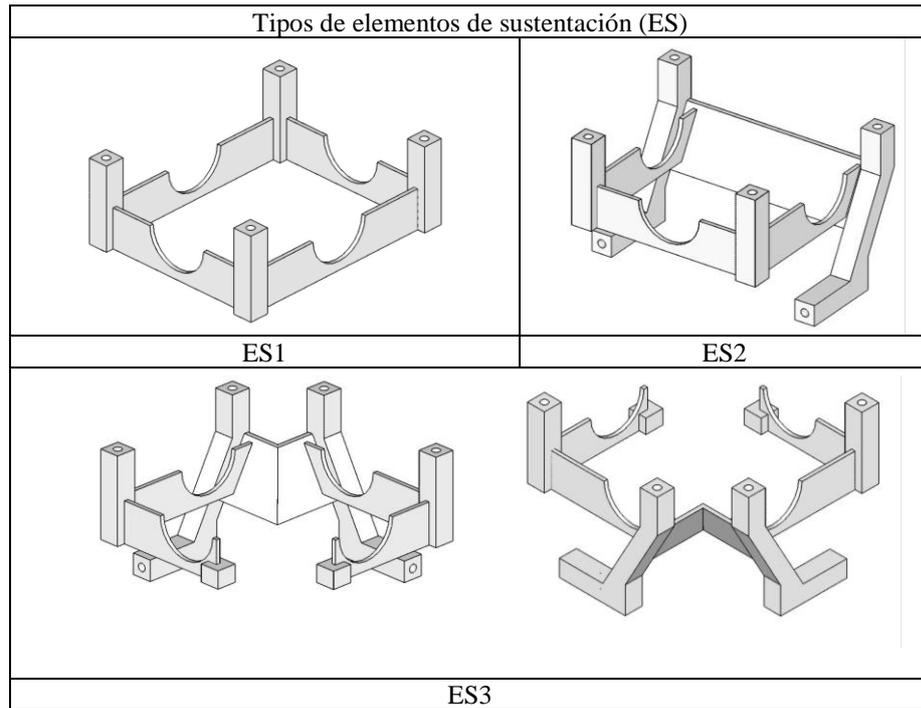


Figura 318. Elementos de sustentación ES1, ES2 y ES3.

Fuente: Elaboración propia

9.3.2. Composición de los elementos de sustentación (ES)

Los elementos de sustentación (ES), de manera general, están compuestos de pilarucos y paneles de sustentación, ambos de acero u otro material que ofrezca una resistencia acorde a las necesidades, estos se unen entre sí por medio de tornillería, y constituyen de esta manera un elemento íntegro (figura 319). Existen 3 tipos de pilarucos y 4 tipos de paneles de sustentación distintos, pero que obviaremos en la descripción por considerar que se encuentran integradas en cada uno de los 3 elementos de sustentación (ES) integrales (tabla 21), simplemente citaremos las unidades “tipo” de cada uno de ellos.

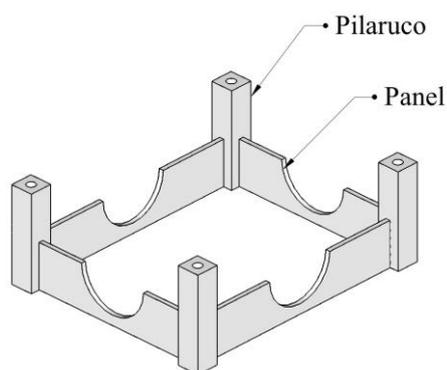


Figura 319. Elemento de sustentación

Fuente: Elaboración propia

9.3.3. Montaje general de los elementos de sustentación (ES)

Los elementos de sustentación (ES) irán montados entre las bandejas de recogida y los paneles de aislamiento (figura 320), su apoyo y fijación se realizará por medio de unos pasadores inferiores que unirán la estructura, el panel y el pilaruco, estos pasadores tendrán una dimensión de 180mm.

El pilaruco en su parte inferior hará de roscado y por tanto, de tope al pasador, de esta manera cada elemento de sustentación lo fijará un mínimo de 4 pasadores, los mismos que unirán los paneles de aislamiento. Los elementos de sustentación (ES), según habíamos comentado anteriormente, servirán de apoyo a la tubería de saneamiento, apoyándose sobre sus medias cañas, en donde, dependiendo del tipo de tubería (figura 330), estas apoyarán en 2, 3 ó 4 cañas.

Por último, el elemento de sustentación (ES) también sirve de apoyo a la fijación de la bandeja de recogida en 4 puntos, que serán las 4 cabezas de los pilarucos, uniéndose mediante unos tornillos estancos de 10mm de longitud, y quedando perfectamente fijada a la unidad (figura 342).

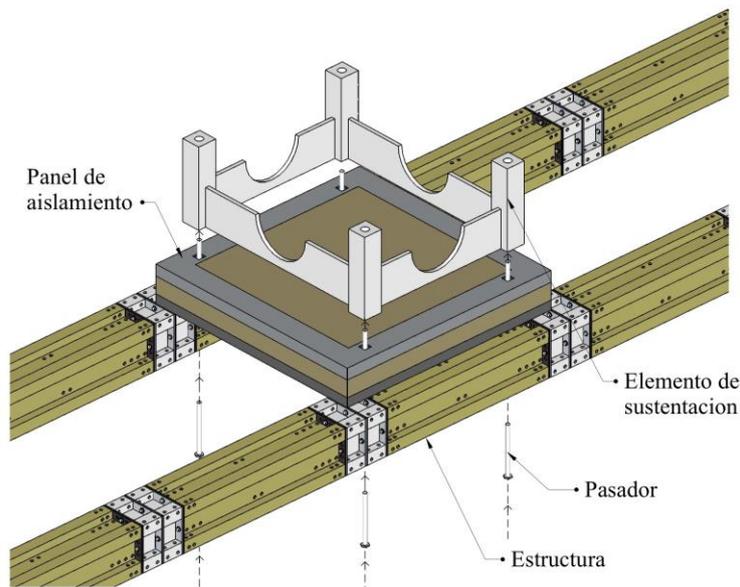


Figura 320. Fijación a la estructura del elemento de sustentación (ES1) “tipo” mediante pasadores. Colocación central. Fuente: Elaboración propia

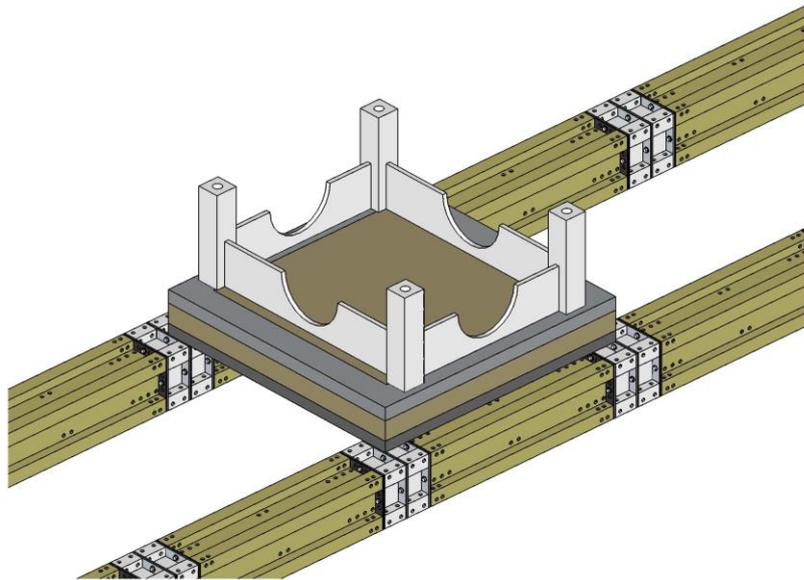


Figura 321. Elemento de sustentación (ES1) totalmente fijado
Fuente: Elaboración propia

El proceso de montaje de los demás elementos de sustentación (ES) es similar al descrito para el elemento de sustentación (ES) “tipo”, conservando sus 4 puntos de fijación mínimo a la estructura por medio de los pilarucos y, permitiendo a su vez la colocación correcta de las bandejas en su roscado superior, y las tuberías en las $\frac{1}{2}$ cañas de sus paneles. A continuación, se muestran los distintos elementos de sustentación (ES) montados en sus posiciones correspondientes (tabla 21).

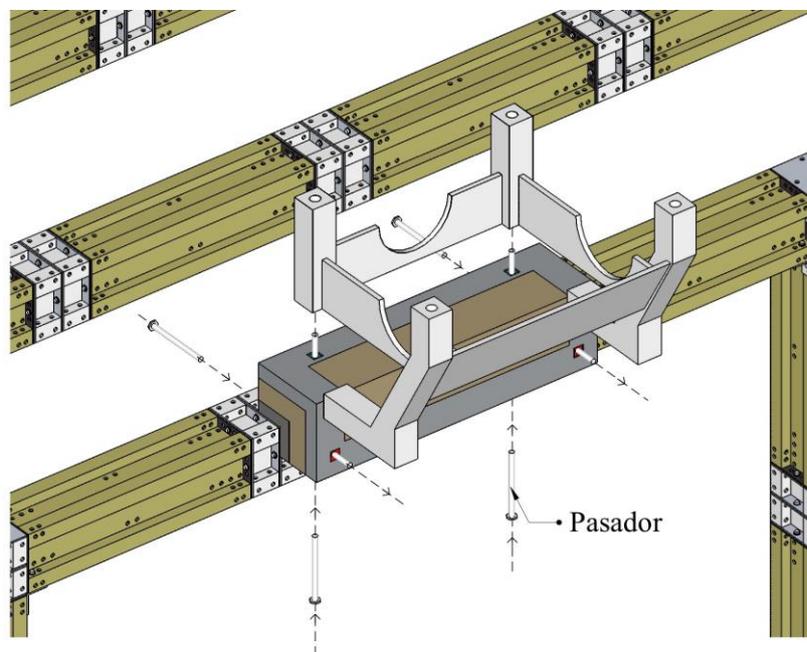


Figura 322. Fijación a la estructura del elemento de sustentación (ES2) mediante pasadores. Colocación perimetral. Fuente: Elaboración propia

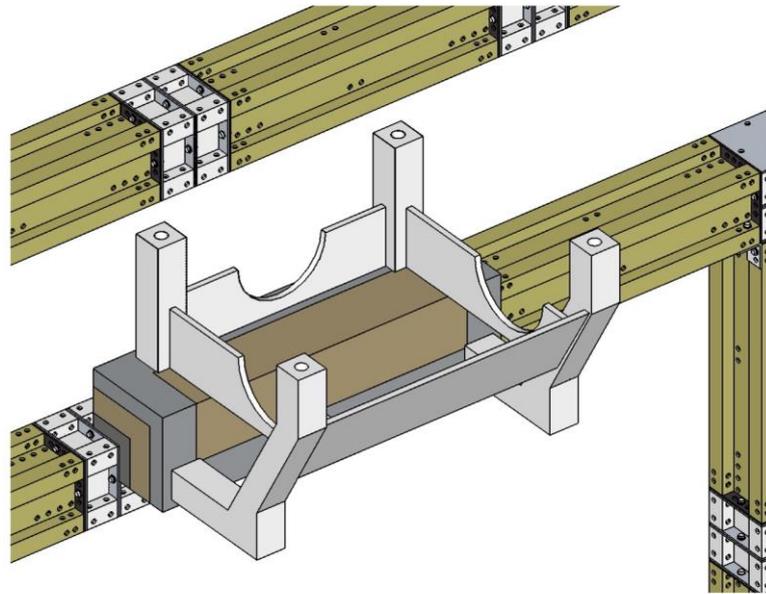


Figura 323. Elemento de sustentación (ES2) totalmente fijado
Fuente: Elaboración propia

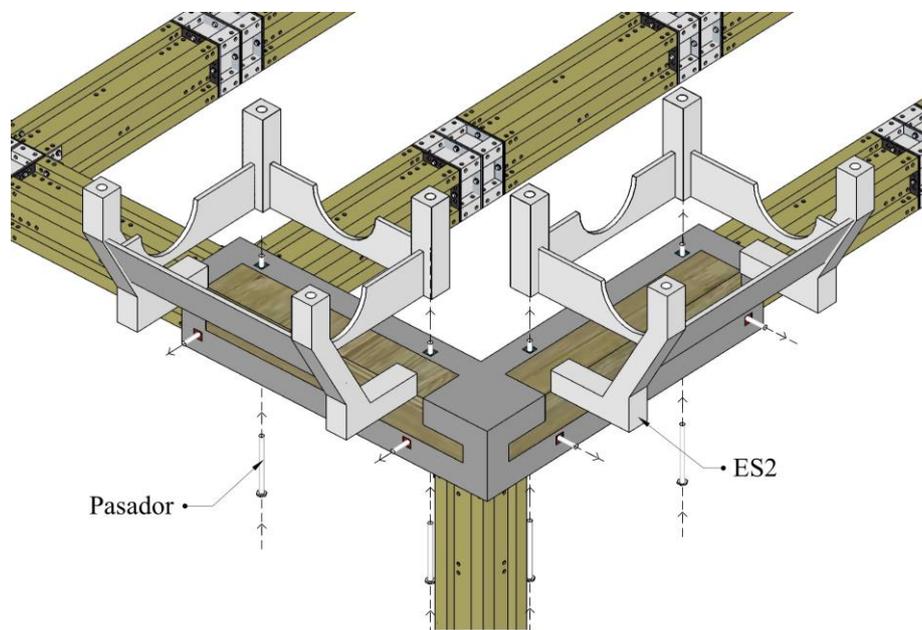


Figura 324. Fijación a la estructura del elemento de sustentación (ES2), mediante pasadores.
Colocación esquina exterior. Fuente: Elaboración propia

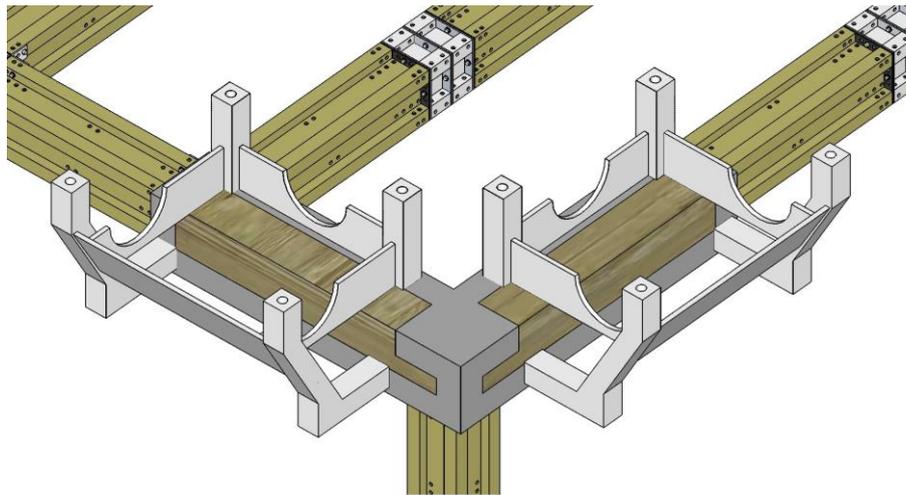


Figura 325. Elemento de sustentación (ES2) totalmente fijado
Fuente: Elaboración propia

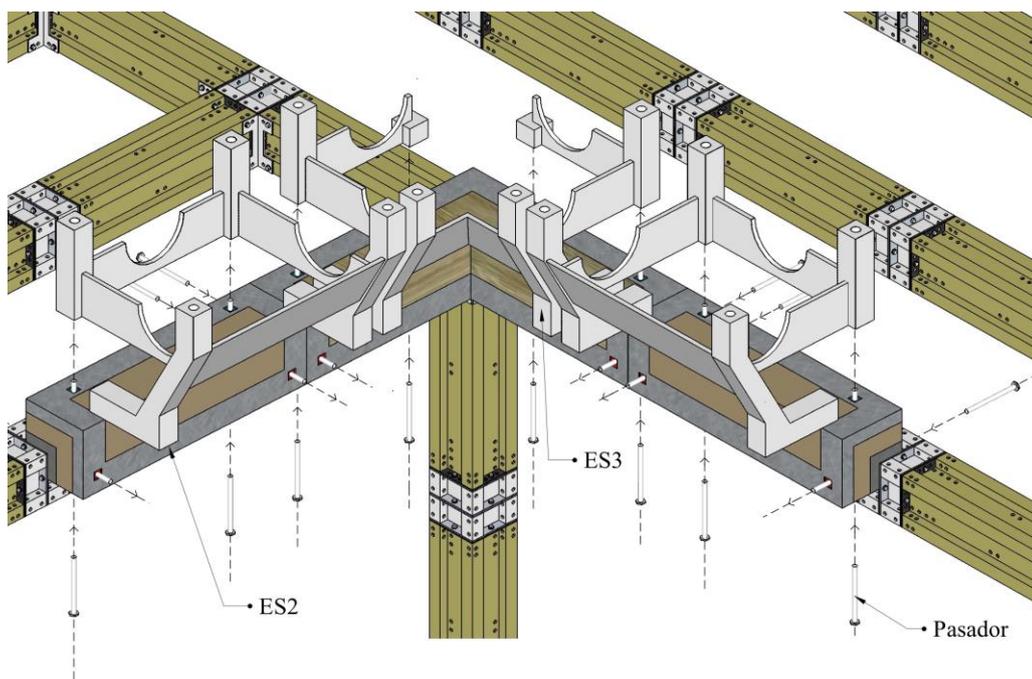


Figura 326. Fijación a la estructura de los elementos de sustentación ES2 y ES3 mediante pasadores.
Colocación esquina interior. Fuente: Elaboración propia

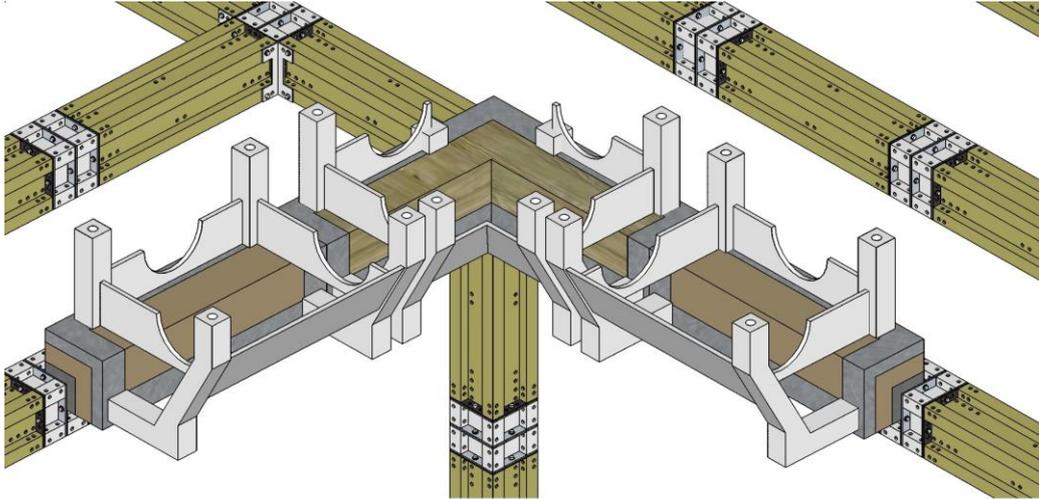


Figura 327. Elementos de sustentación (ES2) y (ES3) totalmente fijados
Fuente: Elaboración propia

9.4. Tuberías de evacuación. TE

Las tuberías de evacuación (TE) son los elementos encargados de canalizar o reconducir el agua de lluvia recogida hasta las bajantes y evacuarla hacia fuera de la edificación.

Las tuberías apoyarán en los elementos de sustentación previamente montados (figura 331), estas discurrirán por la zona intermedia entre las bandejas de recogida de agua y los paneles de aislamiento (figura 317).

9.4.1. Composición de las tuberías de evacuación (TE)

Las tuberías de evacuación (TE) de aguas son elementos cilíndricos de PVC u otro material que se considere oportuno, de diámetro constante (150mm) con dos, tres o cuatro bocas según sea el tipo de tubería (figura 330), en todos ellos, estas bocas se unirán con las adyacentes mediante unas juntas y un sistema de brida que proporcionará la fijación y estanqueidad necesaria (figura 354), también en su parte superior constará de una abertura longitudinal (figura 328) que permitirá la entrada del agua recogida por las bandejas de captación.

La bandeja superior se introduce en la tubería de manera que se evite el derrame de agua por fuera de la tubería a modo de embudo, tal y como se muestra en la sección siguiente (figura 329).

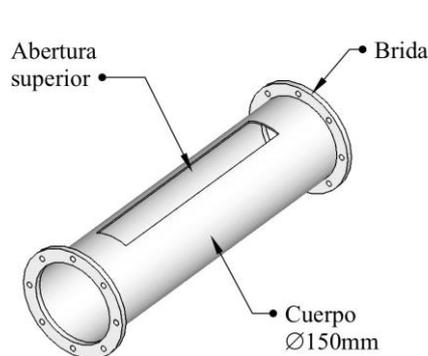


Figura 328. Composición de la tubería de evacuación
Fuente: Elaboración propia

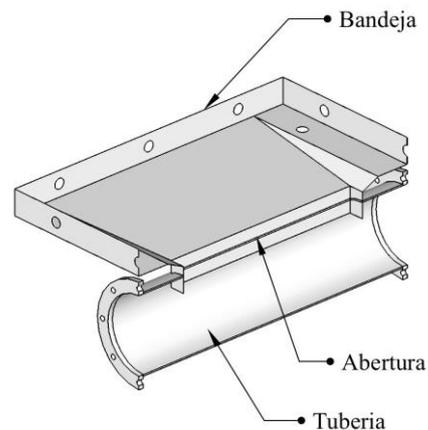


Figura 329. Unión entre la bandeja de recogida y la tubería de evacuación. Fuente: Elaboración propia

9.4.2. Tipos de tuberías de evacuación (TE).

Habr4 4 tipos de tuberías de evacuación (TE) dependiendo del elemento de cubierta (EC) al que pertenezcan, a continuación se establece en la tabla siguiente la relación de las tuberías con el posicionamiento dentro de los elementos de cubierta (EC) correspondientes (tabla 22), puesto que, dependiendo de los tipos de elementos de cubierta (EC) y, por tanto, de las posiciones que ocupan dentro de la superficie de la cubierta podrán o no portar un tipo de tubería u otro de los 4 existentes.

Tabla 22. Tipos de tuberías de evacuación (TE) y elementos de cubierta (EC) que integran la cubierta

Tuberías de evacuación						
Tipo		Medidas (mm)	EC			
T1	Tubería Lineal	600	EC1	EC2	EC3	EC4
T2	Tubería “T”	600x375	EC1	EC2	EC3	EC4
T3	Tubería “Cruz”	600X600	EC1	----	---	---
T4	Tubería doble “T”	600x375 con ángulo 90°	---	EC2	EC3	EC4

Fuente: Elaboración propia

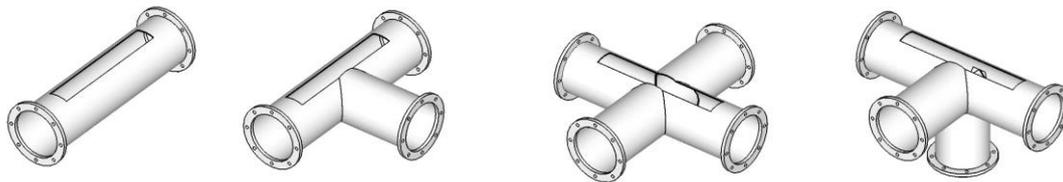


Figura 330. Composición de la tubería de evacuación T1, T2, T3 y T4 respectivamente.

Fuente: Elaboración propia

9.4.3. Montaje de tuberías de evacuación (TE)

Las tuberías indistintamente del tipo tendrán una abertura superior, bocas en sus extremos y un diámetro de 150mm (figura 331). El proceso de montaje es siempre el mismo, una vez colocados los elementos de sustentación, se apoyan sobre estos las tuberías, cada unidad de tubería de los 4 tipos no sobrepasará las dimensiones de los paneles de los elementos de cubierta (EC), con lo cual, las tuberías se unirán entre sí mediante unas juntas por sus bocas, tal y como se detallará en el apartado 9.7. correspondiente a uniones entre elementos.

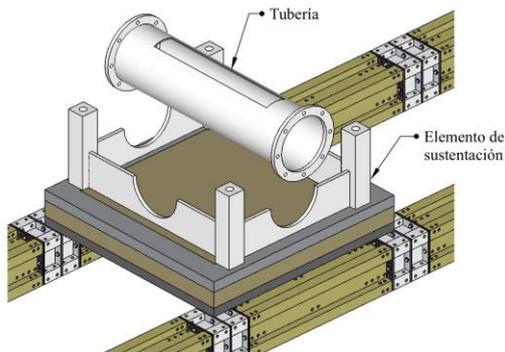


Figura 331. Montaje de tubería tipo sobre elemento de sustentación. Fuente: Elaboración propia

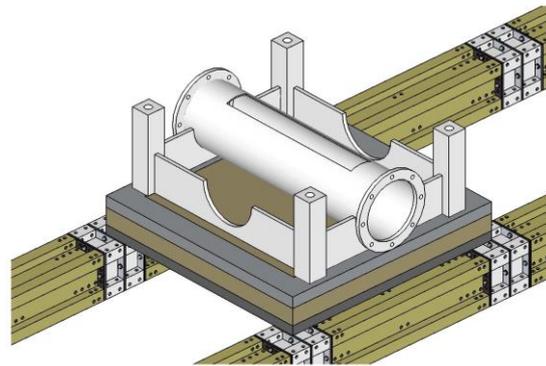


Figura 332. Tubería apoyada en el elemento de sustentación (ES). Fuente: Elaboración propia

Algunos tipos de tuberías (Lineal, “T”, “Cruz”) son independientes a la posición que adopten en referencia a los ejes X ó Y (figura 333).

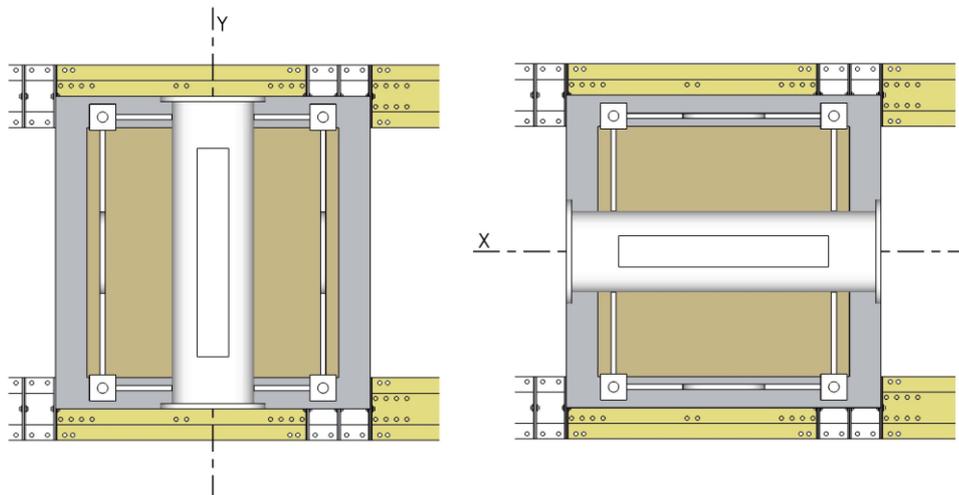


Figura 333. Composición de la tubería de evacuación (TE). Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el montaje de las tuberías de evacuación (TE) sobre sus elementos de sustentación (ES) correspondientes (figura 334 a 336) y, una vista general de una cubierta en proceso de montaje de las tuberías de evacuación (TE) (figura 337), donde se aprecian los distintos tipos de tuberías, habrá que entender que la colocación de las mismas variará en función de las cubiertas o necesidades, pero de manera general podrá experimentar una forma similar.

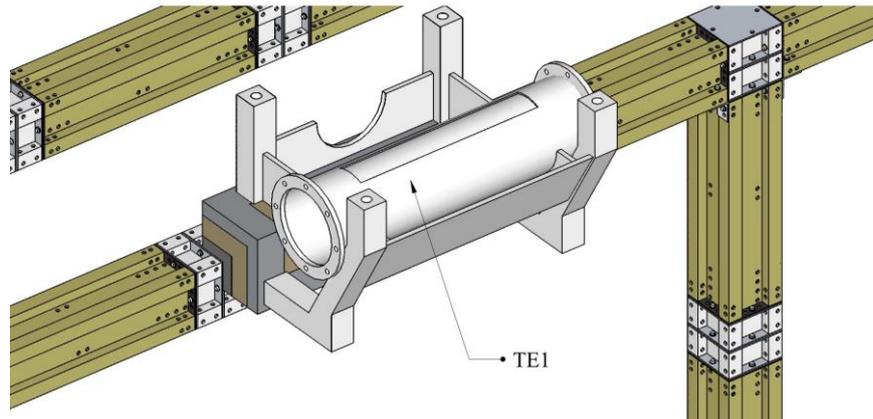


Figura 334. Tubería apoyada en elemento de sustentación (ES2) del panel perimetral
Fuente: Elaboración propia

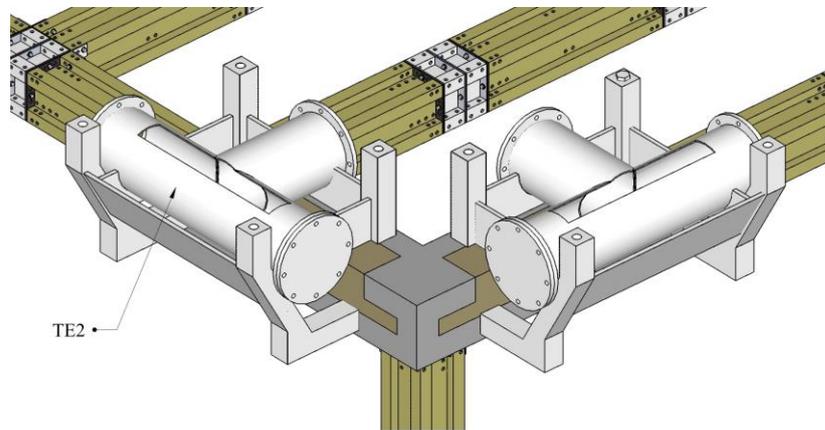


Figura 335. Tuberías apoyadas en elemento de sustentación (ES2) del panel de esquina exterior
Fuente: Elaboración propia

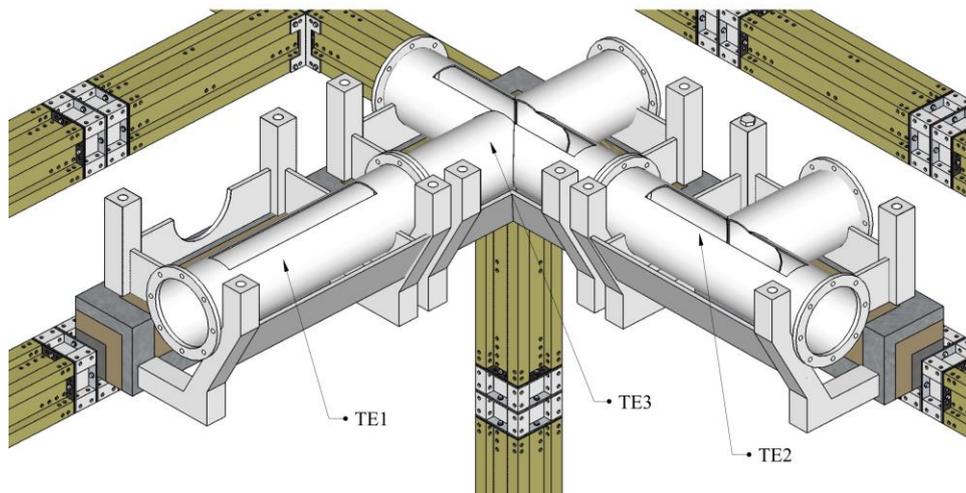


Figura 336. Tuberías apoyadas en elementos de sustentación (ES2) y (ES3) del panel de esquina interior
Fuente: Elaboración propia

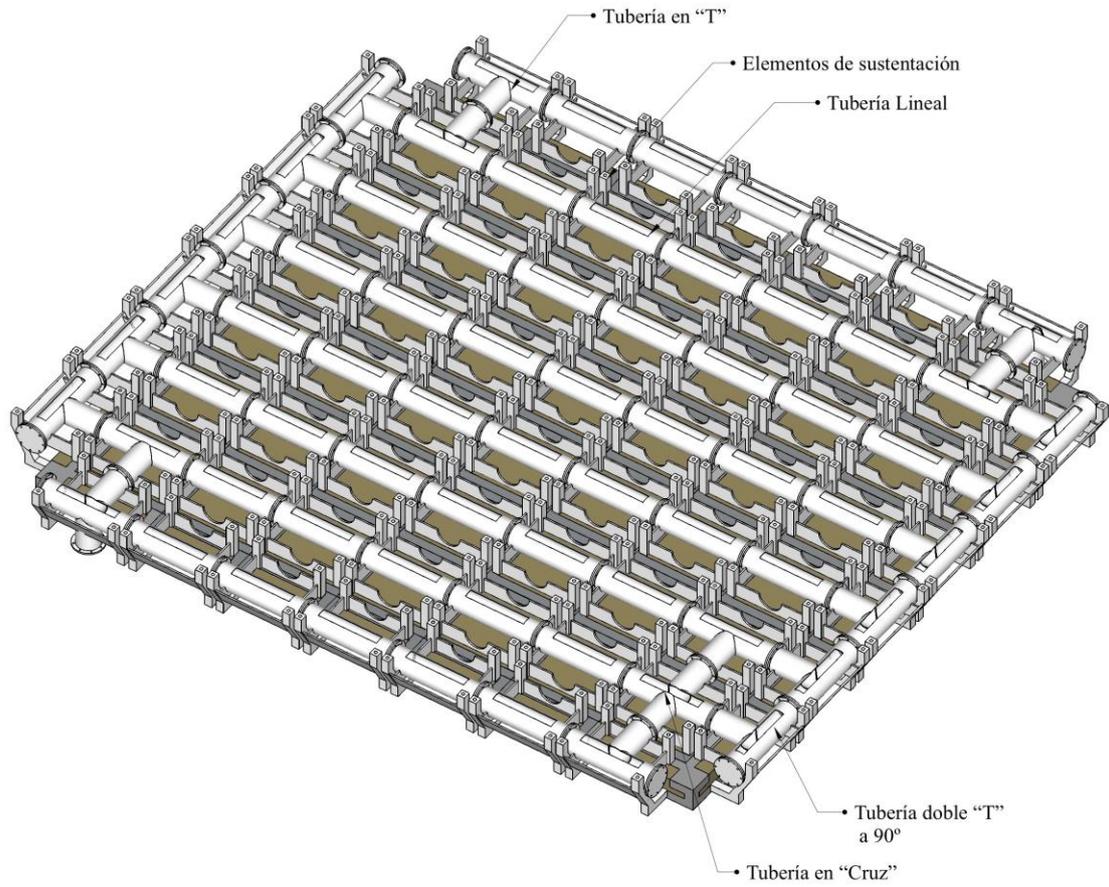


Figura 337. Perspectiva del proceso de montaje de tuberías y sus distintos tipos
Fuente: Elaboración propia

9.5. Bandejas de recogida (BR)

Las bandejas de recogida (BR) (figura 338) son elementos captadores de agua cuya función será la recogida del agua de lluvia y su recirculación a la canalización inferior, sirviéndose de su forma de pirámide invertida y proporcionando una evacuación correcta por su zona central, siendo capaz de canalizar el agua de la superficie de la bandeja de manera individualizada, cada panel recogerá un volumen de agua determinado, lo que permitirá que la totalidad del agua sea reconducida de forma conjunta.

9.5.1. Composición de las bandejas de recogida (BR)

Las bandejas de recogida (BR) se diseñaron en base a pirámides invertidas para facilitar la captación de aguas en sus zonas centrales, y en su conjunto adoptarán formas cuadradas, rectangulares o en “L”, dependiendo de la posición que ocupen y por tanto, del elemento de cubierta (EC) al que pertenezcan (tabla 23).

Las bandejas de recogida (BR) constarán de unas superficies inclinadas hacia el interior donde descargan el agua a modo de faldones (figura 339), en su parte lateral contienen dos planos horizontales de dimensiones reducidas con una serie de aberturas donde se colocarán los tornillos de fijación al elemento de sustentación, también en todo su perímetro contiene unas paredes laterales ligeramente elevadas con sus correspondientes aberturas que facilitarán la unión con las distintas bandejas contiguas, creando la estanqueidad necesaria y facilitando la colocación de la rejilla.

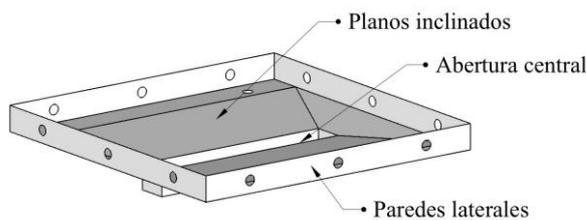


Figura 338. Bandeja de recogida
Fuente: Elaboración propia

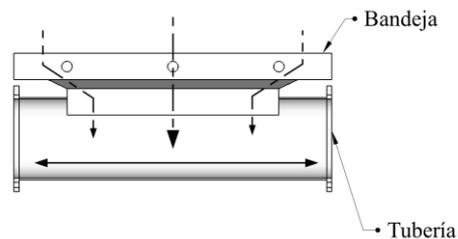


Figura 339. Sección de la bandeja de recogida
Fuente: Elaboración propia

9.5.2. Tipos de bandejas de recogida (BR)

Existen 5 tipos de bandejas de recogida (BR) (figura 340), estando sus formas y dimensiones en función de la posición que ocupan en la cubierta y, por tanto, de los elementos de cubierta (EC) a los que pertenecen (tabla 23).

Tabla 23. Tipos, dimensiones y posición de las bandejas de recogida (BR)

Bandejas de recogida			
Tipo		Medidas (mm)	EC
BR1 (dirección X)	Bandeja tipo	600x600	EC1
BR2 (dirección Y)			
BR3	Bandeja perimetral	600X450	EC2
BR4	Bandeja Esquina exterior	600x600x450 (medidas exterior)	EC3
BR5	Bandeja esquina interior	1200x1200x450 (medidas interiores)	EC4

Fuente: Elaboración propia

Las bandejas de recogida tipo (BR1 y BR2) son la mismas, lo único que las diferencia es la posición de su abertura central, esta se puede colocar en sentido X ó Y dependiendo de las necesidades en cuanto a la formación de la cubierta, viniendo condicionada por la posición de la tubería de evacuación (figura 333).

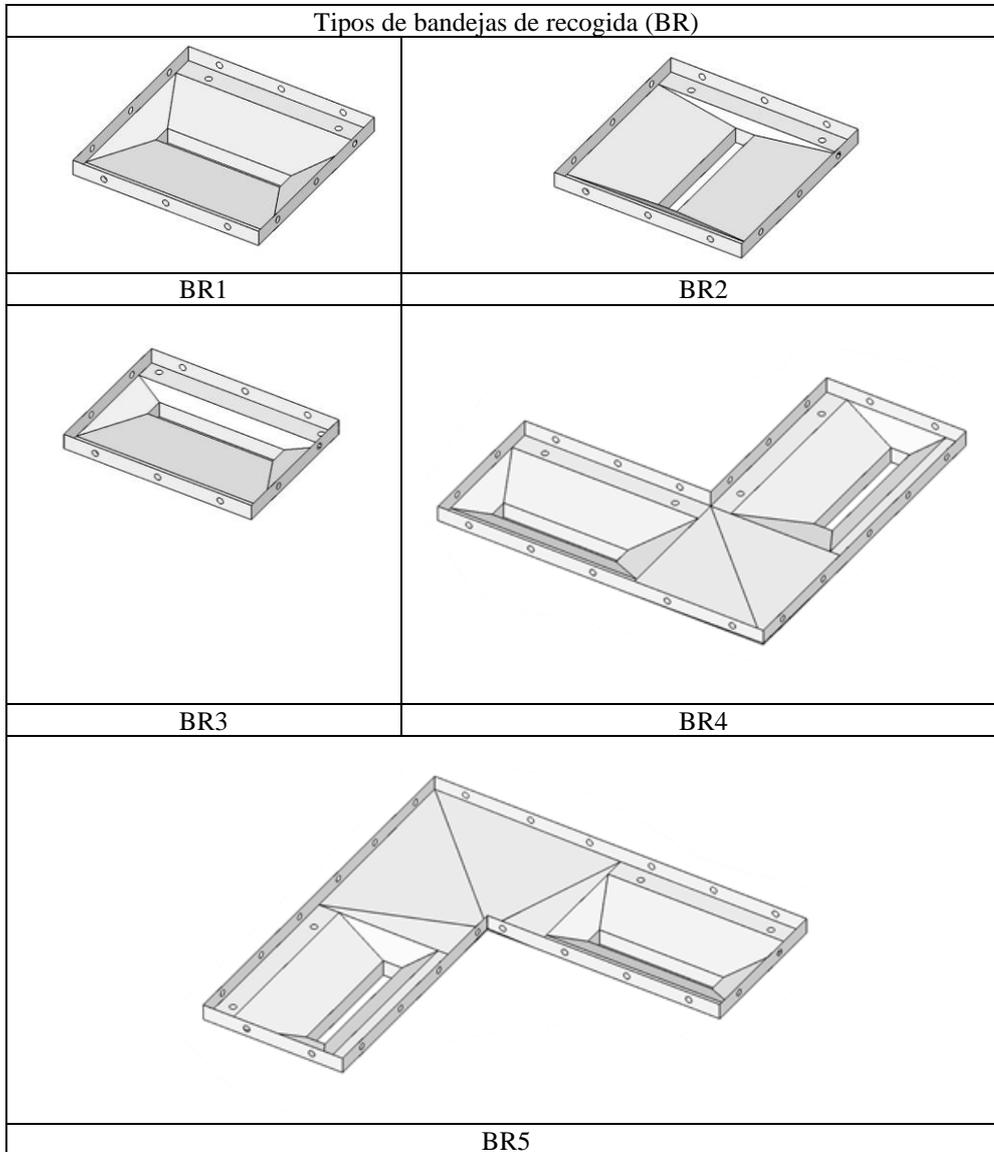


Figura 340. Tipos de bandejas de recogida (BR)
 Fuente: Elaboración propia

9.5.3. Montaje de las bandejas de recogida (BR)

Los 5 tipos de bandejas de recogida (BR) de agua se montarán a continuación de la colocación de las tuberías de evacuación (TE). Las bandejas apoyarán y se fijarán a los pilarucos de los elementos de sustentación (figura 341). Estas bandejas indistintamente del tipo de elemento de cubierta (EC) al que pertenezcan, se fijarán mediante tornillos en 4 puntos los elementos de cubierta (EC1 y EC2) y en 8 puntos los elementos de cubierta (EC3 y EC4) de sustentación uniéndose a ellos en sus cabezas perforadas y roscadas (figura 342), destacable será su “embudo” que se introducirá en la abertura superior de la tubería de evacuación lo que permitirá un vertido correcto del agua de recogida (figura 339)

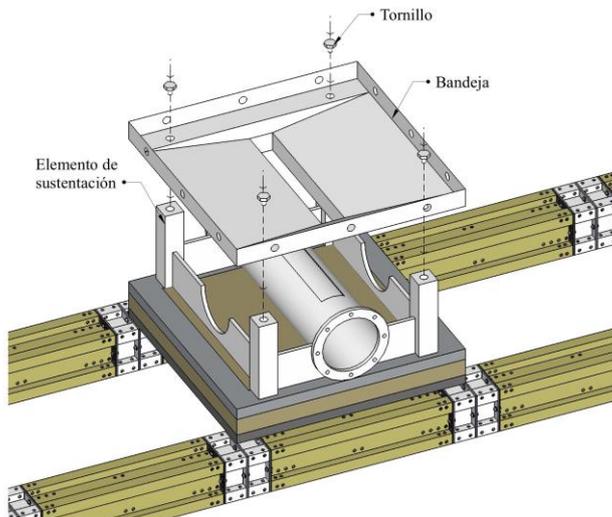


Figura 341. Montaje de la bandeja al pilaruco mediante tornillo
Fuente: Elaboración propia

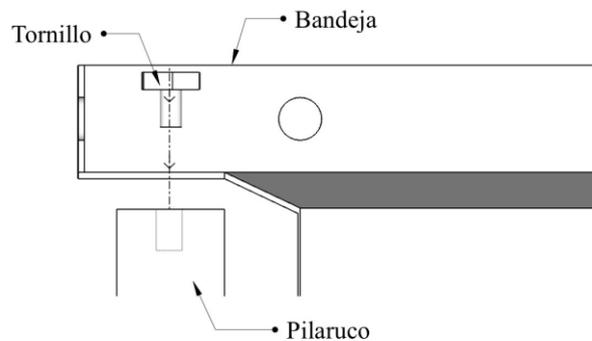


Figura 342. Detalle de fijación de la bandeja al pilaruco mediante tornillo
Fuente: Elaboración propia

Estas bandejas de recogida (BR) pueden tener una abertura y drenar independientemente a una tubería o tramo inferior (EC_1 y EC_2) o, en su caso, a dos tuberías como es el caso de los elementos de cubierta de esquina (EC_3 y EC_4) (figura 343), teniendo, por tanto, estas bandejas 2 aberturas para la recogida del agua de lluvia.

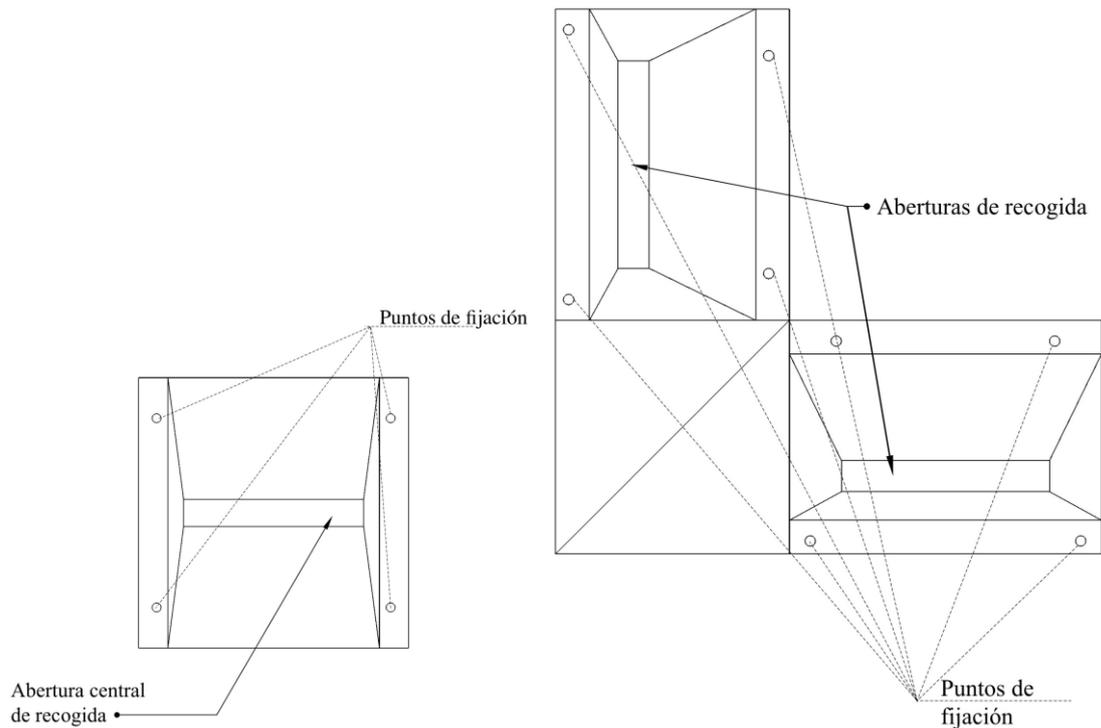


Figura 343. Aberturas de recogidas y puntos de fijación en los distintos tipos de bandejas, ejemplo de bandejas tipo BR1 y bandeja de esquina BR4. Fuente: Elaboración propia

Una vez colocada y fijada toda la unidad y conformado prácticamente el elemento de cubierta (EC), a falta de la rejilla, las bandejas de recogida (BR) se unirán entre sí por medio de sus paredes laterales y se fijarán mediante tornillos, entre pared y pared se colocarán unas juntas de estanqueidad (figura 359) completando de esta manera la unión de unas bandejas con otras, según se muestra en el apartado 9.7 de uniones entre elementos.

A continuación, se muestran los distintos tipos de bandejas de recogida (BR) pertenecientes a sus elementos de cubierta (EC) correspondiente.

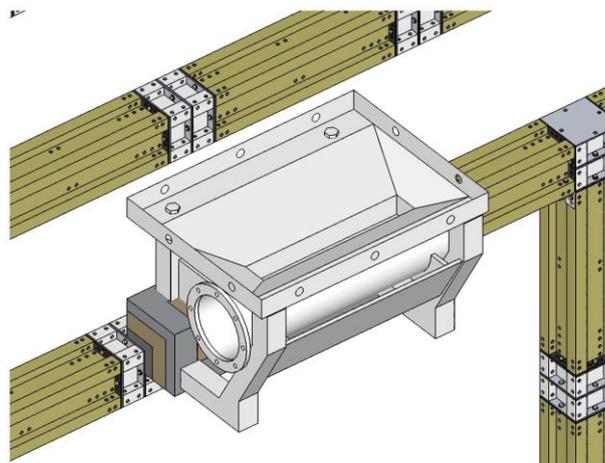


Figura 344. Montaje de bandeja de recogida (BR) en elemento de cubierta (EC) perimetral
Fuente: Elaboración propia

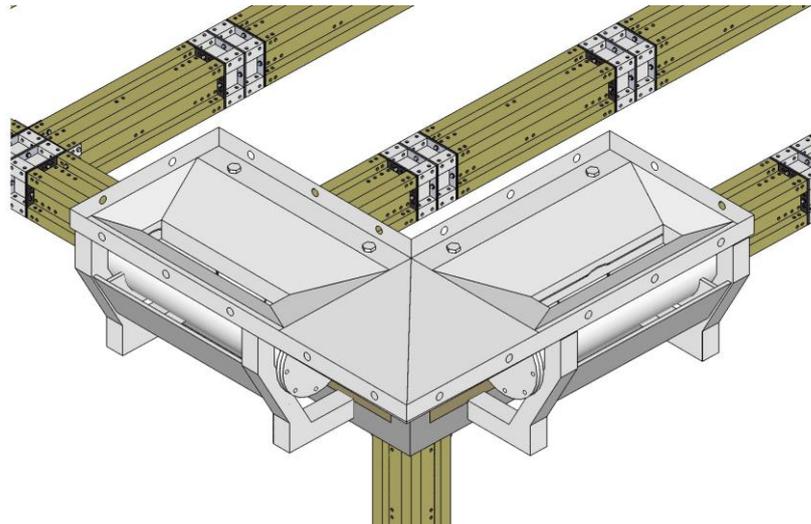


Figura 345. Montaje de bandeja de recogida (BR) en elemento de cubierta (EC) de esquina exterior. Fuente: Elaboración propia

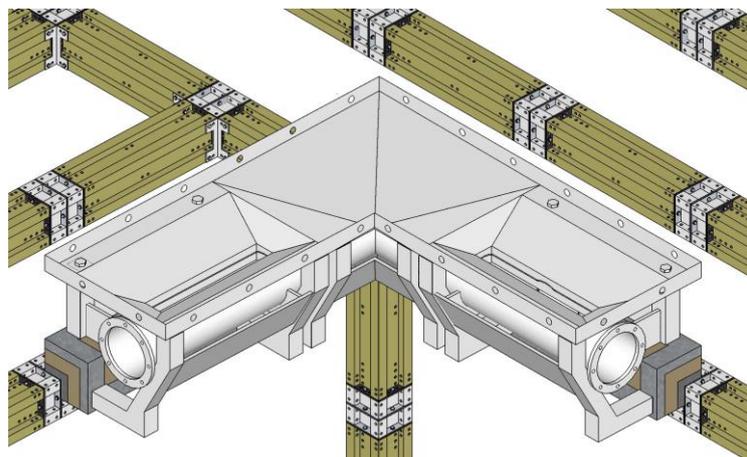


Figura 346. Montaje de bandeja de recogida (BR) en elemento de cubierta (EC) de esquina interior
Fuente: Elaboración propia

9.6. Rejillas de tránsito. RT

Las rejillas de tránsito²⁸⁵ (RT) son los últimos elementos a montar dentro de los elementos de cubierta (EC) (figura 307) cuya función es poder disponer de una superficie horizontal para crear una cubierta transitable, estarán formados a base de un tramex de dimensiones ligeramente inferiores a las de las bandejas correspondientes sobre las que apoyarán.

9.6.1. Composición de las rejillas de tránsito (RT)

Las rejillas de tránsito (RT) estarán compuestas en su parte central por un tramex metálico o de cualquier otro material que permite el paso del agua a través de él y que forme una superficie horizontal antideslizante para un adecuado tránsito de personas. En su parte perimetral contiene un marco con unas acanaladuras para evitar la interacción con los tornillos que unen los paneles entre sí. Estas 2 unidades forman el elemento de rejilla de tránsito (RT) (figura 347).

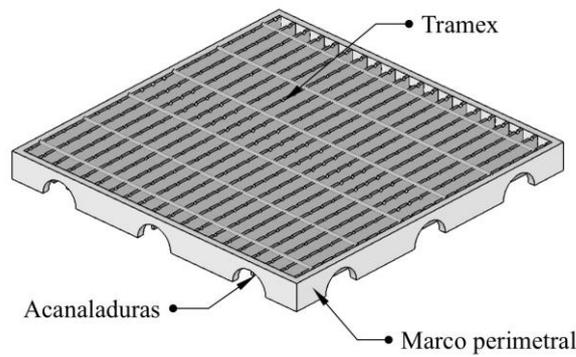


Figura 347. Composición de las rejillas
Fuente: Elaboración propia

9.6.2. Tipos de rejillas de tránsito (RT)

Existen 4 tipos de unidades rejillas de tránsito (RT₁, RT₂, RT₃, RT₄), tal y como se indica en la figura siguiente:

Tabla 24. Tipos y relación de rejillas con los elementos de cubierta (EC) que los integran

Bandejas de recogida			
	Tipo	Medidas (mm)	EC
RT1	Rejilla tipo	600x600	EC1
RT2	Rejilla perimetral	600X450	EC2
RT3	Rejilla esquina exterior	1200x1200x450 (medidas exteriores)	EC3
RT4	Rejilla esquina interior	600x600x450 (medidas interiores)	EC4

Fuente: Elaboración propia

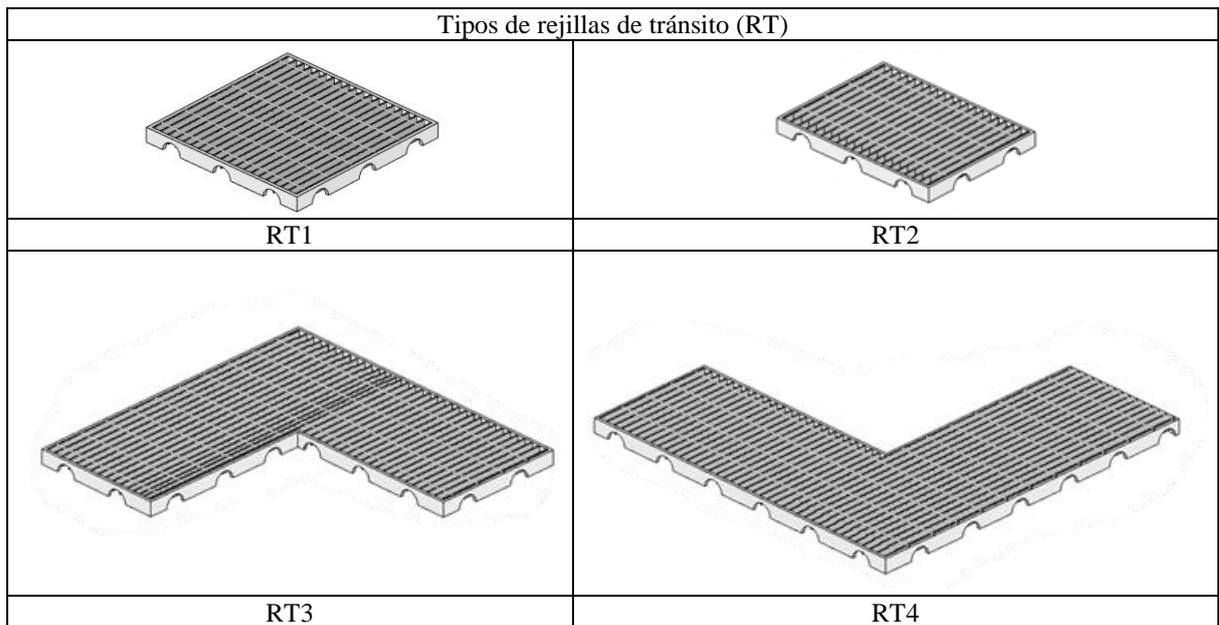


Figura 348. Tipos de rejillas
Fuente: Elaboración propia

9.6.3. Montaje de las rejillas de tránsito (RT)

Las unidades de rejillas se colocarán sin ningún tipo de fijación sobre las bandejas, únicamente apoyarán sobre ellas (figura 349), de esta manera las rejillas servirán para crear una superficie transitable de manera global, pero también para dar rigidez a cada una de las unidades de manera independiente, ya que evitarán las posibles deformaciones, alabeos y tensiones de cada una de ellas.

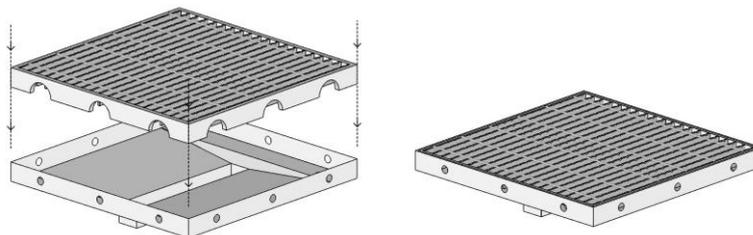


Figura 349. Montaje de rejilla de tránsito
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran los distintos tipos de rejillas de tránsito (RT) pertenecientes a sus elementos de cubierta (EC) correspondientes.

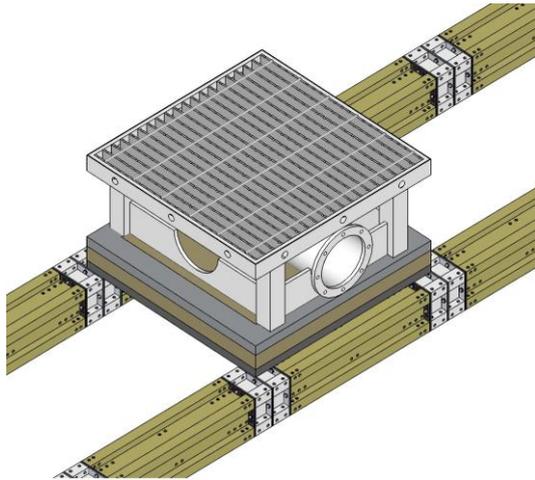


Figura 350. Montaje de rejilla de tránsito (RT1) sobre elemento de cubierta (EC1)
Fuente: Elaboración propia

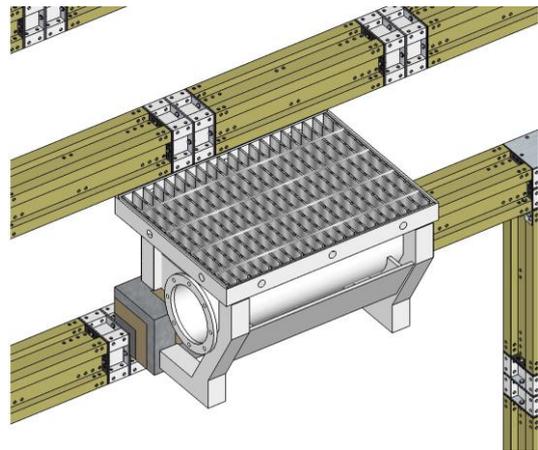


Figura 351. Montaje de rejilla de tránsito (RT2) sobre elemento de cubierta (EC2)
Fuente: Elaboración propia

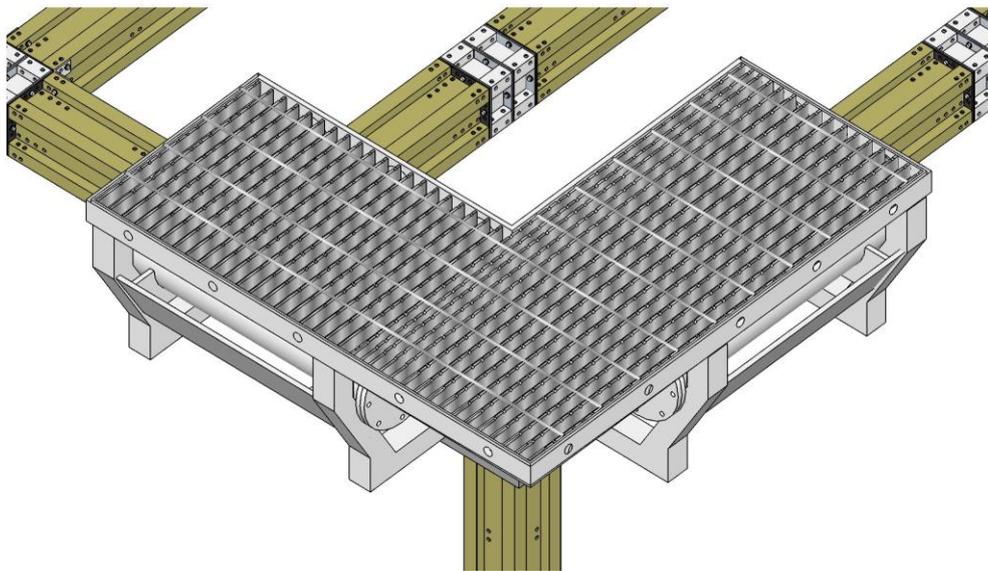


Figura 352. Montaje de rejilla de tránsito (RT3) sobre elemento de cubierta (EC3)
Fuente: Elaboración propia

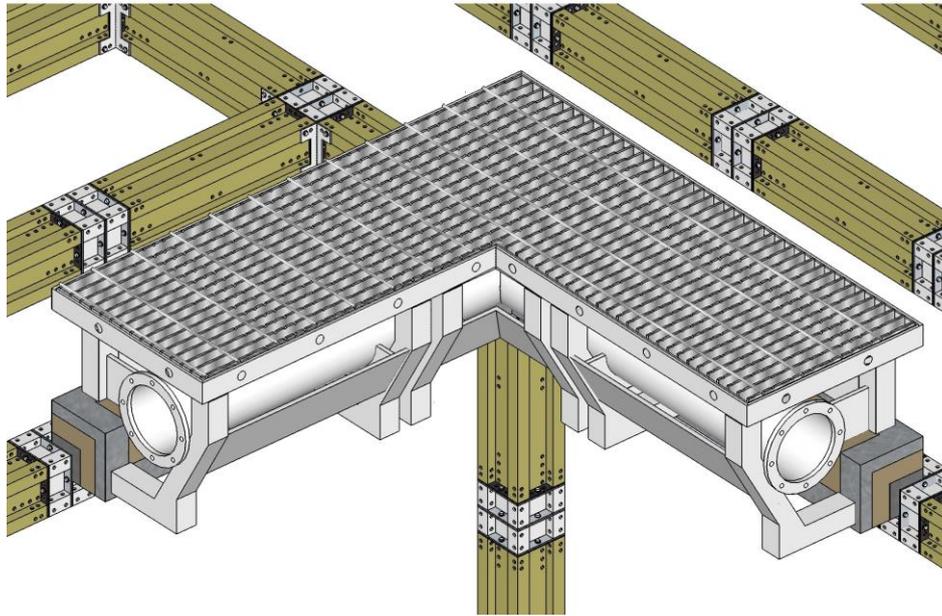


Figura 353. Montaje de rejilla de tránsito (RT4) sobre elemento de cubierta (EC4)
Fuente: Elaboración propia

9.7. Uniones entre elementos

El sistema de cubierta flexible (SCF) al igual que el resto de sistemas independientes produce un importante y elevado número de uniones entre sus elementos, uniones estas, que fueron diseñadas de la misma manera que cada uno de los elementos del sistema de construcción flexible, en base a:

- a) Montaje y desmontaje
- b) Sistematización para distintas variantes
- c) Sencillez

En este apartado se describirán las juntas y las cubrejuntas que se colocarán entre las distintas unidades que configuran los elementos de cubierta (EC). Las posibles uniones entre elementos en el sistema de cubierta flexible (SCF) afectarán a las siguientes unidades:

1. Paneles de aislamiento

Los paneles de aislamiento forman parte de un sistema independiente, sistema de panelizado flexible (SPEF) en desarrollo actualmente y, por tanto, no se incluye en la misma, por no ser objeto de esta Tesis.

2. Tuberías de canalización
3. Bandejas de recogida

Las juntas son los elementos que nos permiten lograr la estanqueidad entre las distintas unidades que componen el Sistema de cubierta flexible (SCF), son elementos elásticos que se adosarán en el perímetro de los materiales para poder unirlos de manera correcta mediante fuerzas de compresión. Las cubrejuntas (figura 382) se colocan para la protección de las juntas de las bandejas, detallándose en este apartado.

En el sistema de cubierta flexible (SCF) habrá dos tipos de juntas y un cubrejuntas, según los elementos que se quieran unir:

- a. Juntas de tuberías de evacuación (figura 354)
- b. Juntas de bandejas de recogida (figura 359)
- c. Cubrejuntas de las bandejas de recogida (figura 361)

9.7.1. Juntas de tubería (JT)

9.7.1.1. Composición de las juntas de tubería (JT)

La junta de tubería (JT) universal será circular de material elástico, de igual diámetro, espesor por definir a falta de estudio de tolerancias de fabricación, y con una serie de perforaciones igual al número de tornillos pasantes que se utilizarán para la unión correcta entre los elementos tubería, según se muestra en la figura siguiente (figura 354).

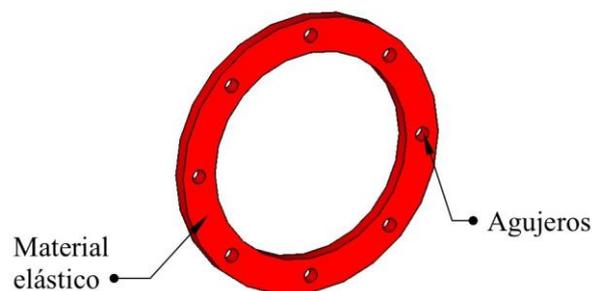


Figura 354. Junta de tubería (JT) Universal circular
Fuente: Elaboración propia

Estas juntas van a permitir la estanqueidad necesaria entre los diferentes elementos de tuberías, y permitirán una unión correcta entre ambas unidades (figura 355). Se ejercerá entre ellos una fuerza de compresión que vendrá originada por el apriete de los tornillos entre ambos.

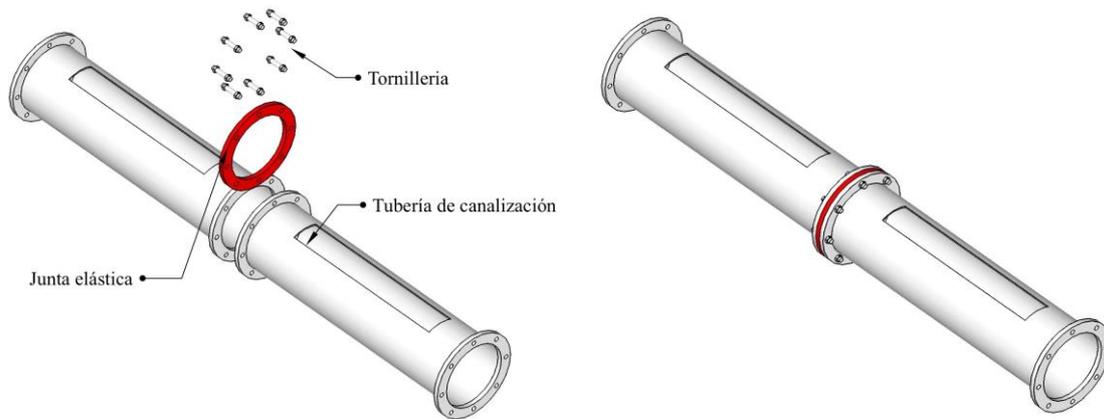


Figura 355. Colocación de la junta y apriete
Fuente: Elaboración propia

9.7.1.2. Tipos de las juntas de tubería (JT)

Las juntas serán únicas y estándar para cualquier tipo de tubería (tabla 22), el número de juntas de las tuberías será igual al número de bocas que contenga (tabla 25).

Tabla 25. Tipos de tubería y sus unidades de juntas universales

Juntas de canalización		
Tipo de tubería		Unidades
JT1	Tubería Lineal	2
JT2	Tubería “T”	3
JT3	Tubería “Cruz”	4
JT4	Tubería doble “T”	4

Fuente: Elaboración propia

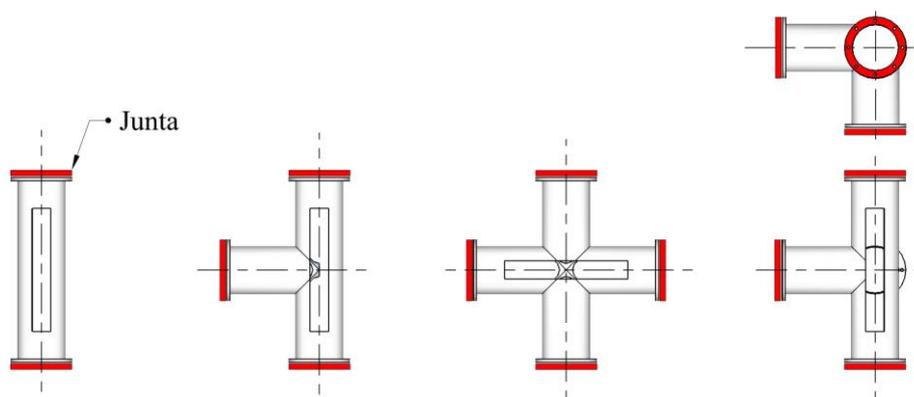


Figura 356. Tipos de tubería y su número de juntas
Fuente: Elaboración propia

9.7.1.3. Montaje y desmontaje de juntas de tubería (JT)

Las juntas de tubería (JT) se montarán una vez colocadas las tuberías sobre los elementos de sustentación, previamente a las bandejas de recogida, para facilitar de este modo la maniobrabilidad adecuada de las personas en su montaje. Generalmente, las juntas serán de un material elástico y con posibilidad de intercambio para un mantenimiento adecuado.

Las juntas compartirán (figura 357), una unidad para 2 bocas enfrentadas de distinto elemento de cubierta (EC). La estimación del número a colocar es sencilla y al ser del mismo diámetro y forma su colocación es igual en todos y cada uno de los casos.

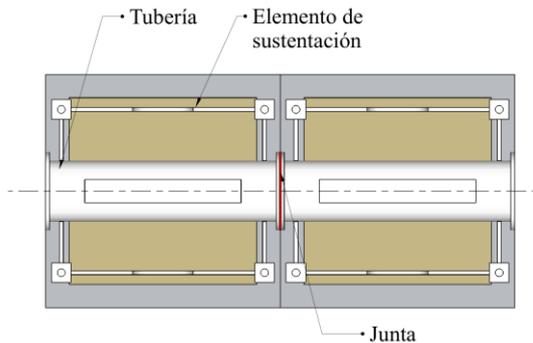


Figura 357. Ejemplo de unión de tuberías en línea
Fuente: Elaboración propia

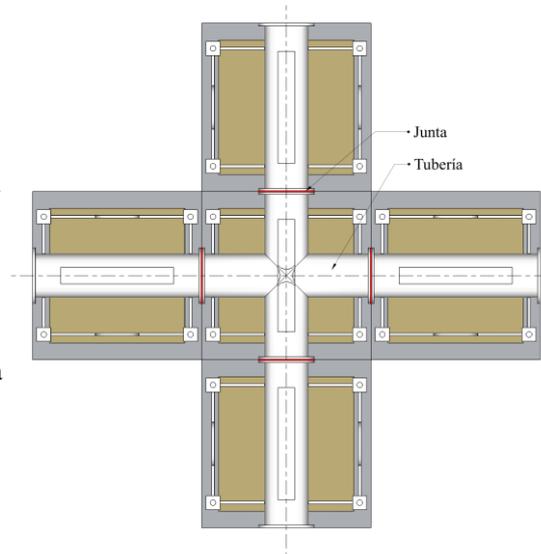


Figura 358. Ejemplo de unión de tuberías en cruz
Fuente: Elaboración propia

El desmontaje de estos puntos críticos se realizará de manera individualizada contribuyendo a una adecuada sustitución de las juntas para su correcto mantenimiento o, en su caso, de un desmontaje con aprovechamiento o reciclaje de las unidades. Este proceso se lleva a cabo de manera sistematizada, únicamente, desatornillando las bocas y retirando la unidad de junta.

9.7.2. Juntas de bandejas de recogida (JB)

Las juntas de las bandejas de recogida²⁸⁷ (JB) son elementos lineales de dimensiones diferentes en función del perímetro de las bandejas, que proporcionan a los elementos que unen la estanqueidad necesaria para evitar la entrada de agua a su través.

9.7.2.1. Composición de las juntas de bandejas de recogida (JB)

Estas juntas (figura 359) se componen de un material elástico que se amolda a las superficies laterales, permitiendo una unión eficaz, las diferentes juntas están perforadas para el paso de los tornillos a su través, la unión correcta se realiza mediante la fuerza de compresión de dos caras laterales opuestas.

Independientemente de estas juntas y, según se mostrará a continuación, se colocarán las cubrejuntas (véase apartado 9.7.3) pertinentes para la protección de estas, obteniendo así, una mayor estanqueidad frente a los condicionantes atmosféricos.

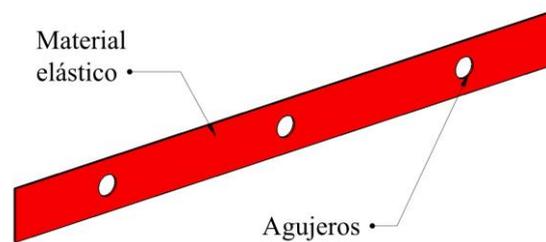


Figura 359. Junta lineal
Fuente: Elaboración propia

9.7.2.2. Tipos de juntas de bandejas de recogida (JB)

Las juntas en las bandejas serán lineales y de dimensiones diferentes, en consecuencia, con los distintos tipos de bandejas de recogida.

Tabla 26. Tipos de juntas de bandeja y sus medidas

Juntas de bandeja de recogida		
Tipo	Medidas (mm)	Bandejas
JB1	600	BR1, BR2, BR3
JB2	450	BR2, BR3, BR4
JB3	750	BR4
JB4	1050	BR3
JB5	1200	BR4

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior (tabla 26) describe los 5 distintos tipos de dimensiones lineales de las juntas y su integración entre los 4 tipos distintos de bandejas.

9.7.2.3. Montaje y desmontaje de juntas de bandejas de recogida (JB)

Las juntas se fijarán en cada uno de los lados perimetrales de las bandejas, adoptando sus dimensiones y número en función del número de lados de las bandejas.

El montaje de las juntas se realizará a medida que se fijen las bandejas de captación a los elementos de sustentación, se unirán por tanto varios paneles entre sí, a través de su perímetro con las pertinentes colocaciones de juntas lineales (figura 360) y sus fijaciones. Las protecciones de las juntas se realizan en un paso posterior con la colocación de las cubrejuntas (figura 361). Se tendrá en cuenta, al igual que para las juntas de tuberías, que las bandejas compartirán la junta en sus lados enfrentados entre 2 bandejas.

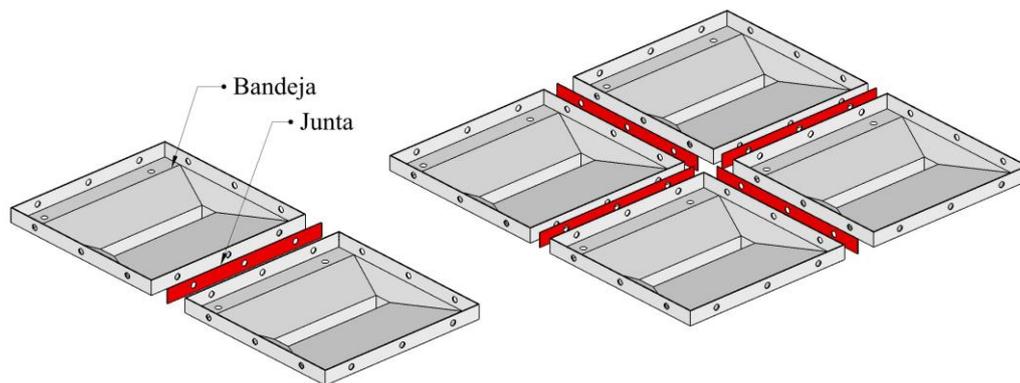


Figura 360. Disposición de las juntas entre las bandejas de recogida

Fuente: Elaboración propia

A la hora de realizar el desmontaje para las juntas lineales se tendrá en cuenta el proceso íntegro de su conformación a base de los cubrejuntas, con lo cual, al tratar el desmontaje será necesario primeramente la retirada de su cubrejuntas superior y, a continuación, ya se podrá sustraer el elemento lineal de junta, tal y como se describe en el capítulo posterior (véase apartado 9.7.3.).

El proceso de montaje será por este orden: 1.Bandeja, 2.Juntas 3.Cubrejuntas, siendo el proceso de desmontaje el orden inverso (figura 364).

9.7.3. Cubrejuntas de bandejas de recogida (CB)

Una vez colocadas las juntas de bandeja (JB), el siguiente paso será la unión y colocación de los cubrejuntas (CB) correspondientes para evitar una posible entrada de agua o filtración entre el junteado, protegiéndola y evitando un contacto directo de la junta con el exterior, encerrándola en el interior de una “U” invertida (figura 361).

9.7.3.1. Composición de los cubrejuntas (CB)

Las cubrejuntas son unos elementos con cuerpo rígido, sección en “U” e interior elástico (figura 361), que posee una perforaciones en su longitud para el paso de tornillería y, así, poder fijarse con los laterales de las bandejas de recogida (BR) para cubrir las y protegerlas. Las cubrejuntas interiormente estarán compuestas por un material elástico que aumentará la estanqueidad, y facilitará la unión entre materiales.

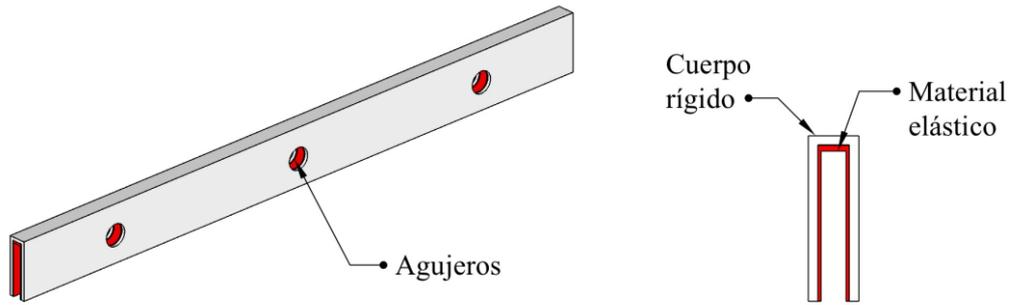


Figura 361. Composición del cubrejuntas
Fuente: Elaboración propia

9.7.3.2. Tipos de cubrejuntas (CB)

Los tipos de cubrejuntas (CB) irán en función del número de paneles laterales que protejan (tabla 27), esto definirá su forma. Los cubrejuntas (CB) se colocan a través de la longitud lateral (figura 364) o en los encuentros de esquina entre diferentes bandejas, en todos los casos su fijación se realiza mediante tornillería.

Tabla 27. Relación entre los tipos de cubrejuntas y las unidades de bandejas que protege

Cubrejuntas		
	Tipo	Unidades de bandejas que protege
CB1	Cubrejuntas Lineal o 2 paneles	2
CB2	Cubrejuntas en “L”	1/2
CB3	Cubrejuntas en “T”	2
CB4	Cubrejuntas en Cruz o 4 paneles	3/4

Fuente: Elaboración propia

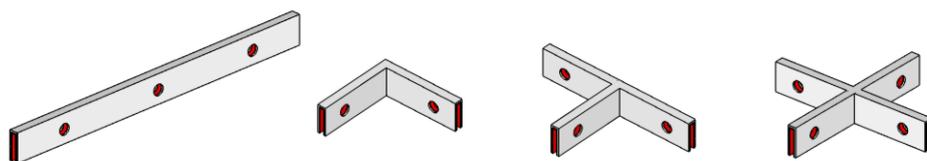


Figura 362. Tipos de cubrejuntas CB1, CB2, CB3 y CB4 correspondientes
Fuente: Elaboración propia

9.7.3.3. Montaje y desmontaje de cubrejuntas (CB)

Los cubrejuntas anteriores se colocarán una vez se hallan unido las bandejas con sus juntas correspondientes, y siempre sobre los laterales de los mismos, uniéndose a base de tornillos y comprimiendo sus caras, quedando de esta manera totalmente estancas (figura 363).

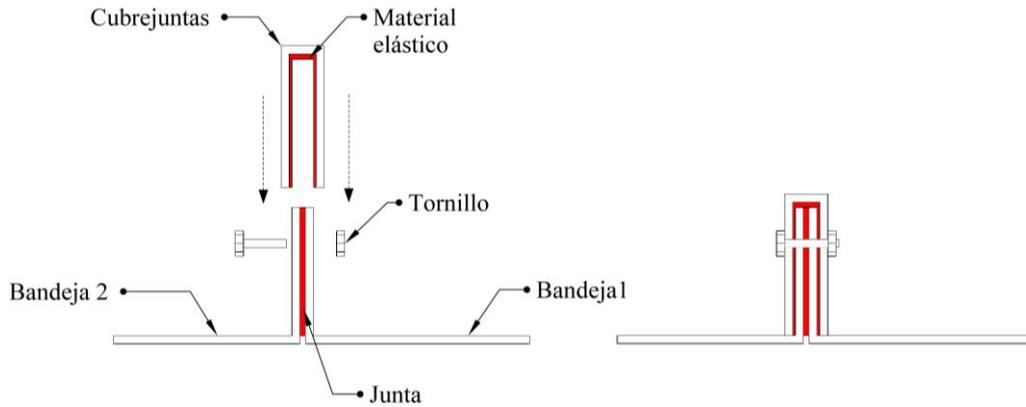


Figura 363. Proceso de montaje del cubrejuntas
Fuente: Elaboración propia

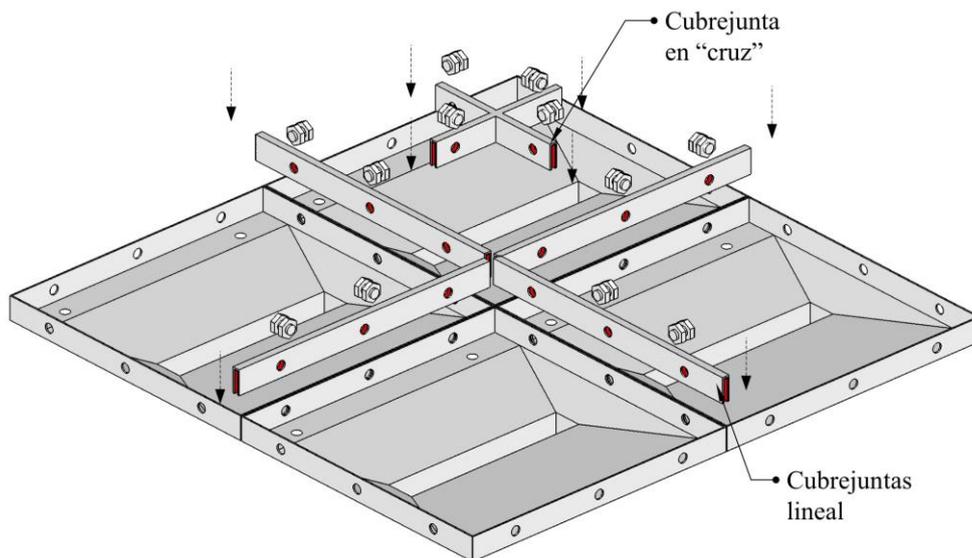


Figura 364. Proceso de montaje del cubrejuntas
Fuente: Elaboración propia

Los cubrejuntas (CB) tendrán un orden de colocación, primero se montarán los cubrejuntas lineales a las bandejas y, en segunda instancia se colocarán los cubrejuntas en “cruz”, en “L” o en “T”, que contendrán de la misma manera interiormente al cubrejuntas lineal, y por tanto deberán de tener una abertura en “U” acorde a esta dimensión. (figura 364).

El desmontaje de los cubrejuntas será individualizado e independiente al resto de las unidades de los elementos de cubierta (EC), únicamente se desmontarán los elementos de unión y se sustraerán los cubrejuntas. El proceso será el inverso al de montaje.

Capítulo 10. Red de evacuación del sistema de cubierta flexible (SCF)

La red de evacuación es aquella encargada de dar salida al agua de precipitación recogida sobre la cubierta de la edificación, de la manera más eficiente y sencilla. La generación de la red se considerará en proyecto y su diseño estará estipulado de antemano.

10.1. Composición

Los elementos que integran principalmente la red de evacuación son las tuberías (figura 330) tanto sus tipos como no menos importantes sus **puntos de evacuación** (figura 365). La finalidad de la red se basa en la recirculación del agua recogida por las bandejas (figura 340), para ello, hay que tener en cuenta la forma de la cubierta y sus dimensiones, ya que estas características definen el número y posición de los puntos de evacuación, siendo estos los tramos de tubería donde se dará salida al agua recogida hacia el exterior de la edificación.

10.1.1. Puntos de evacuación

Ahora bien, después de lo anterior es posible que nos hagamos la pregunta:

¿Y estos puntos de evacuación se pueden colocar en cualquier lugar o se establece algún tipo de limitación?

Los puntos de evacuación se posicionan en función de una limitación previa que se establece para el funcionamiento de la red de evacuación. Esta limitación vendrá impuesta por el propio diseño del sistema de tuberías adoptado en la cubierta que será totalmente horizontal y, por tanto, se producirá una inclinación natural del agua en base a el llenado de la misma, esto condiciona la colocación de los desagües o bajantes de evacuación, debiendo encontrarse los mismos a una distancia no mayor a 12m (120M) entre ellos para la máxima precipitación posible estudiada, esto en términos de llenado de tubería equivale a ocupar, a la distancia mayor (12m), una capacidad de la mitad de la sección de tubería, quedando margen suficiente para posibles imprevistos, según se muestra en los cálculos siguientes.

el número mínimo de puntos de evacuación a utilizar por cubierta es de dos y en lados opuestos enfrentados.

Esta premisa es independientemente de que con un punto de evacuación cubramos la superficie a evacuar, y teniendo en cuenta la posición que estos puntos pueden ocupar, existen 3 tipos:

a. Perimetral

Los puntos se encuentran en el perímetro de la cubierta . Es la opción más aconsejable debido a la sencillez para su colocación y evacuación.

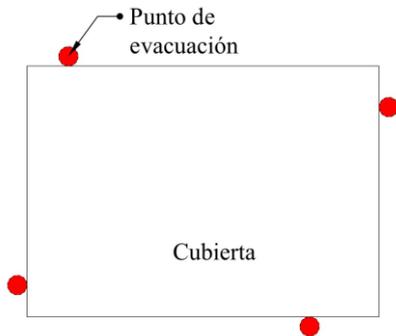


Figura 365. Posición de los puntos de evacuación perimetral o exterior. Fuente: Elaboración propia

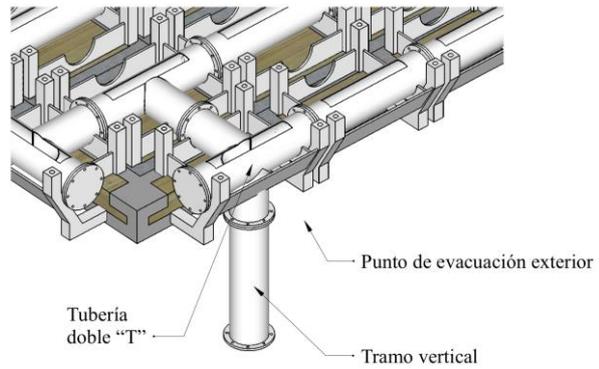


Figura 366. Punto de evacuación perimetral o exterior Fuente: Elaboración propia

b. Central

Los puntos se encuentran en posiciones intermedias o centrales del área de cubierta. Su posicionamiento debe evitarse, siempre que se pueda y no halla opción de colocar los anteriores.

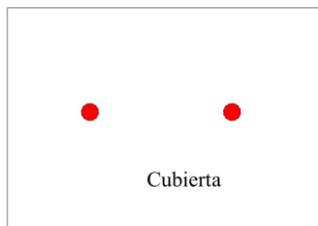


Figura 367. Posición de los puntos de evacuación interior Fuente: Elaboración propia

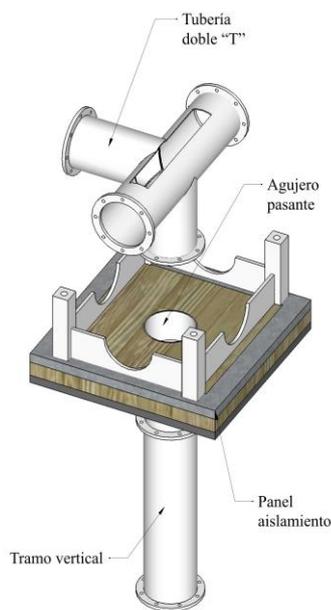


Figura 368. Composición. Punto de evacuación interior Fuente: Elaboración propia

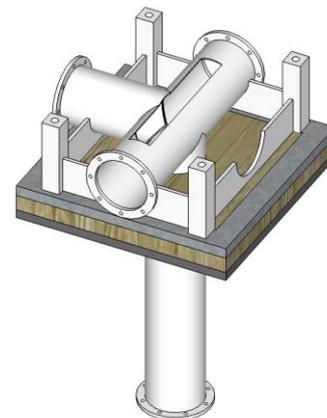


Figura 369. Punto de evacuación interior Fuente: Elaboración propia

c. Combinación de ambas

Este apartado se refiere a la utilización combinada tanto de los puntos interiores y exteriores en una misma cubierta.

10.1.2. Cálculos. Puntos de evacuación

Se realizarán una serie de cálculos en función de una Intensidad Media Máxima de lluvia:

$$I_{(t)} = 100 \text{ mm/hora}$$

En función de lo anteriormente comentado, y teniendo en cuenta la cuenca de recogida de aguas (figura 370), se realizarán una serie de cálculos que demuestran la suficiencia en la colocación de las bajantes cada 12m o lo que es lo mismo 20 elementos de cubierta (EC) (figura 370)

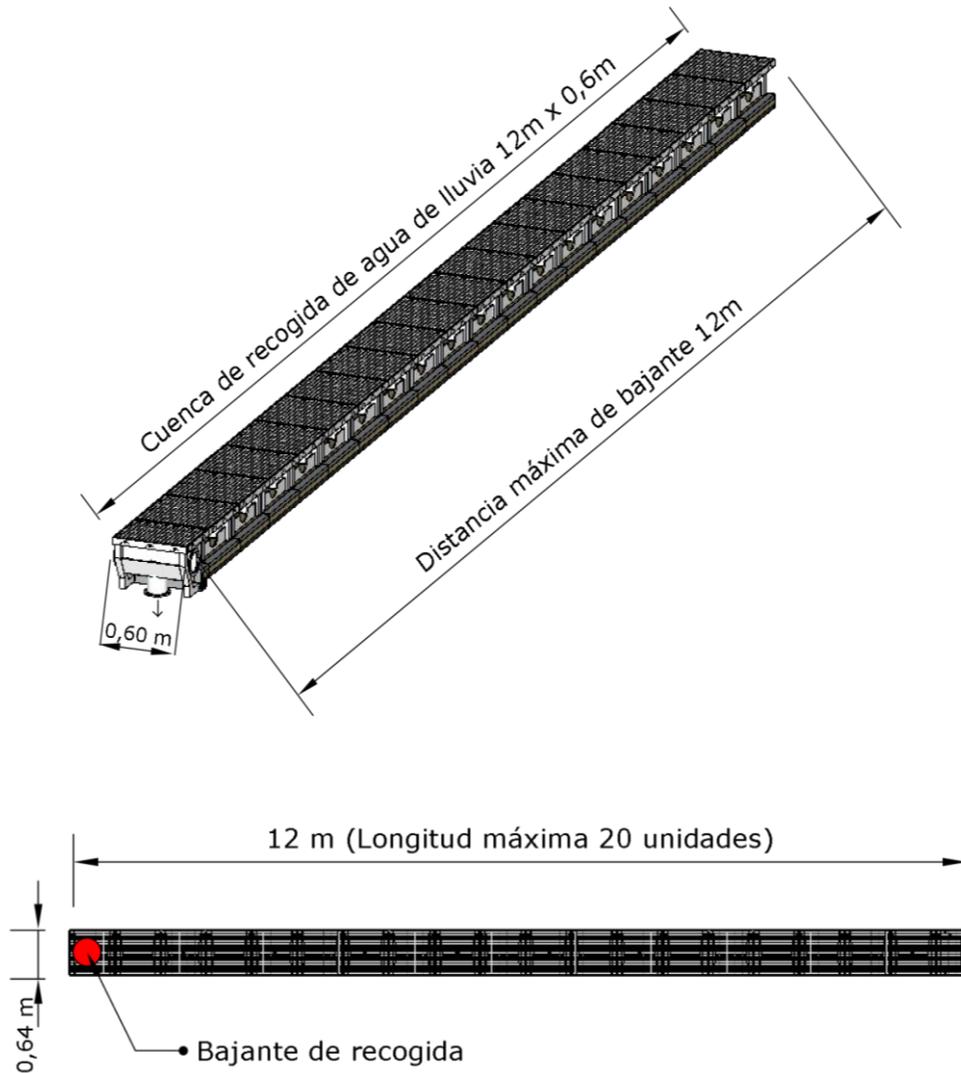


Figura 370. Distancia máxima entre bajantes
Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

$$It = 100l / m^2 / \text{hora}$$

$$\text{Área } A1 = 12m \times 0,6m = 7,2m^2$$

$$\text{Caudal } Q1 = 100l / m^2 / \text{hora} \times 7,2 m^2 = 720 l/\text{hora}$$

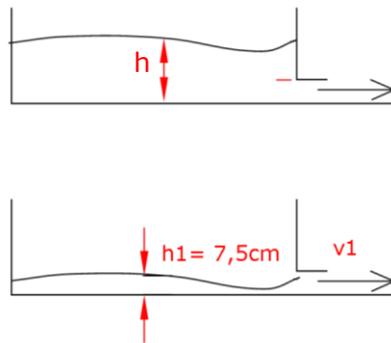
$$Q1 = 720 l/\text{hora} = 720 \cdot 10^{-3} / 3600 = 0,0002 m^3/s$$

Siendo,

h: altura tubería de evacuación (150mm)

h₁: media altura de la tubería de evacuación (75mm)

V₁: velocidad de salida (m/s)



$$Q = V \times S$$

Siendo,

Q: Caudal (m³/s)

V: Velocidad de salida (m/s)

S: área (m²), tener en cuenta que el diámetro de la tubería es 150mm.
y para los cálculos se supone 75mm.

$$V = Q/S = 0,0002 m^3/s / \pi \cdot 0,15^2 / 4 / 2 m^2 = 0,022 m/s$$

$$V = 0,022 m/s$$

Se comprueba que la velocidad del agua es muy baja (0,022m/s) para un orificio que recoge el agua de una cuenca completa de 12m x 0,6m.

A continuación, una segunda opción sería comprobar la recogida de agua de una superficie de 12mx12m (figura 372), puesto que es la máxima distancia entre bajantes enfrentadas. (figura 371)

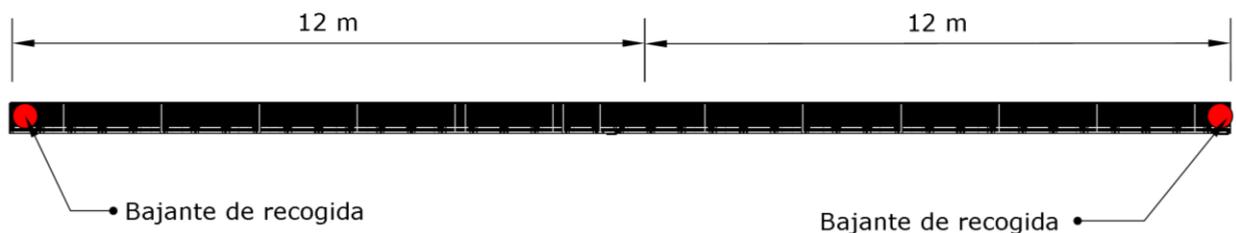


Figura 371. Bajantes enfrentados
Fuente: Elaboración propia

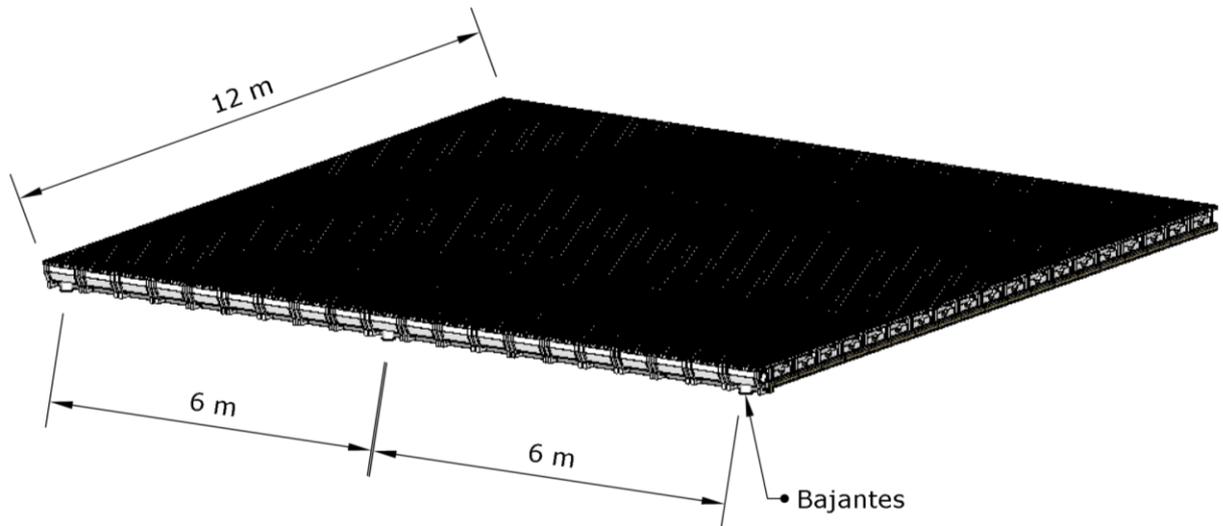


Figura 372. Cubierta con bajante
Fuente: Elaboración propia

Q_T = Caudal para 12m x 12m

A_T = Área 12m x 12m = 144 m²

Q_T = Caudal 100l/m² / hora x 144m² = 14400 l/h

$$Q_T = 14400\text{m}^3 / 3600\text{s} = 0,004 \text{ m}^3/\text{s}$$

Comprobaremos para 1 orificio de salida

$$Q = V \times S$$

Siendo,

Q: Caudal (m³/s)

V: Velocidad de salida (m/s)

S: área (m²), tener en cuenta que el diámetro de la tubería es 150mm.
y para los cálculos se supone 75mm.

$$V = 0,004\text{m}^3/\text{s} / \pi 0,15^2/4 / 2\text{m}^2 = 0,45\text{m/s}$$

$$V = 0,45 \text{ m/s}$$

Se comprueba que para un solo orificio la velocidad de salida es aceptable, aunque según el CTE el mínimo número de bajantes sería de 2, por tanto, es viable.

A continuación, en la tabla 28 se establece la relación existente entre los m² de superficie de cubierta y el número de bajantes necesarias a montar, habrá que tener en cuenta que la superficie máxima para una bajante es de 12m x 6m (72m²), lo que equivale a 20 unidades de cubierta x 10 unidades de cubierta (200 unidades de cubierta).

Tabla 28. Relación entre bajantes y superficie de cubierta

Nº Bajantes	Elementos de cubierta (EC)	Superficie
2	$EC \leq 200$	72 m ²
3	$200 < EC \leq 400$	144m ²
4 ó más	$400 < EC \leq$	1 más cada 72 m ²

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 11. Montaje y desmontaje del Sistema de cubierta flexible (SCF)

El montaje del sistema de cubierta flexible (SCF) se iniciará después de haber completado el montaje del sistema estructural flexible (SEF) sobre el que se fijará, a su vez, puede existir la posibilidad que el sistema de cubierta flexible (SCF) llegue a montarse de manera independiente en otras edificaciones, siempre y cuando, se adapten a las exigencias previas dimensionales y de montaje. Habrá dos posibles montajes:

1. Montaje en el propio sistema de construcción flexible.

Es el caso que describimos a continuación.

2. Montaje en una edificación independiente

Es un caso independiente a esta tesis doctoral y se estudiará de manera individualizada para cada caso planteado.

El montaje del sistema de cubierta flexible (SCF) de manera unitaria se detalló anteriormente a la hora de describir las distintas unidades que integran cada uno de los elementos de cubierta (EC) (figura 307). En este apartado se desarrolla el montaje de manera global a partir del SEF ya montado y, a la espera de recibir el Sistema de cubierta flexible (SCF).

Las etapas en el montaje serán:

1. Colocación de los paneles
2. Fijación de los elementos de sustentación
3. Colocación de la red de evacuación
4. Montaje de las bandejas de recogida
5. Colocación de la rejilla transitable

Estos 5 pasos resumen de manera general el montaje del Sistema de cubierta flexible (SCF) visualizado en las figuras siguientes (figuras 374 a 384).

El proceso sigue un orden de colocación, siendo fundamental dada la sistematización de los procesos de montaje, una la programación y planificación de los mismos. Además como cada uno de estos procesos se realizará en seco, nos permitirá un desmontaje individualizado de sus elementos. La etapa de desmontaje se realiza en el orden inverso al montaje.

11.1. Limitaciones del SCF

El sistema de cubierta flexible (SCF) aceptará gran variedad de formas y dimensiones siempre y cuando estas sean ortogonales, formando todos los planos y encuentros ángulos de 90°. Aun así, hay que tener en cuenta que la cubierta tiene unas limitaciones impuestas por su propia formación estructural y evacuación de aguas, y también por la impuesta por el propio sistema estructural flexible (SEF) que es la base para la fijación de ésta al sistema de construcción flexible. Cabe recordar, como ya se comentó en capítulos anteriores que el diseño del sistema de cubierta flexible (SCF) parte de la horizontalidad total de cada uno de los elementos que la integran.

11.1.1. Tipos de limitaciones

a) Limitaciones de diseño

- Posición de los puntos de evacuación

b) Limitaciones estructurales

- Sistema estructural flexible (SEF)

- Sobrecargas

a. Limitaciones de diseño

Esta limitación vendrá impuesta por el propio diseño del sistema de tuberías, según lo expuesto anteriormente (véase apartado 11.1.1.), puede considerarse una limitación propia del sistema de cubierta flexible (SCF), impuesta de antemano y como consecuencia de las limitaciones físicas de las tuberías, esta limitación se impone para el buen funcionamiento de la red de evacuación, y su cumplimiento es estricto.

b. Limitaciones estructurales

b.1. Sistema estructural flexible (SEF)

El sistema Estructural Flexible (SEF) en su máxima limitación para la formación de un volumen diáfano monta elementos estructurales horizontales (EEh) de dimensiones 48M, estando muy por debajo del radio de barrido de los puntos de evacuación (figura 370), por consiguiente la limitación de la cubierta está muy por encima de la formación de volúmenes diáfanos aislados, únicamente afectará en la composición de volúmenes (\sum volúmenes diáfanos), de esta manera las limitaciones del sistema estructural flexible (SEF) no condicionan a la composición del sistema de cubierta flexible (SCF) (figura 373).

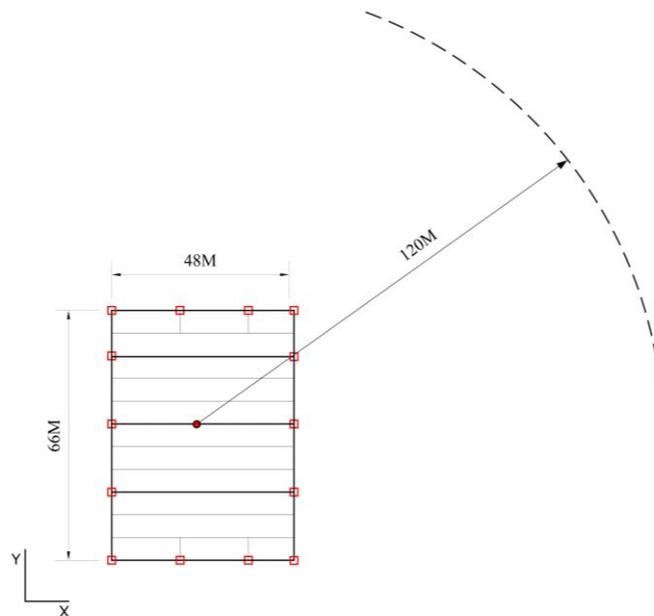


Figura 373. Limitaciones del sistema de cubierta flexible (SCF) y el sistema estructural flexible (SEF). Fuente: Elaboración propia

b.2. Sobrecargas

Las distintas sobrecargas que se pueden observar en el Sistema de cubierta flexible (SCF) serían aquellas causadas por:

A. Sobrecarga de uso (tránsito de personas)

Al ser una cubierta transitable debe poseer capacidad resistente para el tránsito de personas de manera adecuada, estando equipada con una rejilla de tránsito para tal efecto.

B. Agua de precipitación

El agua de precipitación provocará unas cargas importantes en el propio sistema de cubierta flexible (SCF), al ser una cubierta totalmente plana. Se estudiarán para que la resistencia de cada uno de los elementos.

C. Nieve

El propio diseño plano de la cubierta que genera un condicionante de cara a las precipitaciones que se produzcan como consecuencia de la nieve, esta crea una importante sobrecarga en el plano de cubierta debido a su diseño plano, lo que limitará el uso del sistema de cubierta flexible (SCF) a zonas de baja precipitación por nieve.

D. Viento

El sistema de cubierta flexible (SCF) se diseñará con capacidad suficiente para resistir vientos de intensidad moderada.

11.2. Proceso de montaje

1. Colocación de los paneles

El proceso de montaje se inicia tras haber montado el sistema estructural flexible (SEF) (figura 374) sobre el que apoyarán los paneles de aislamiento (figura 375), estos se fijarán como mínimo en 4 puntos, mediante tornillos pasadores (figura 313), los mismos que permitirán que los pilarucos de sustentación se fijen.

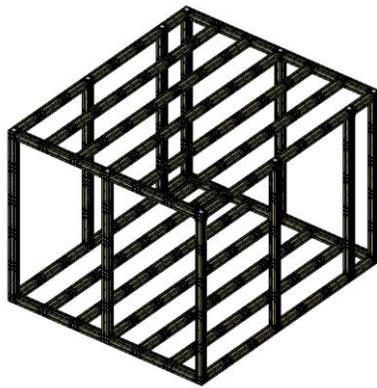


Figura 374. Sistema estructural flexible (SEF)
Fuente: Elaboración propia

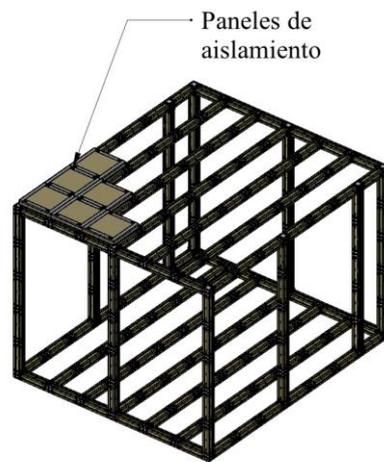


Figura 375. Paneles de aislamiento
Fuente: Elaboración propia

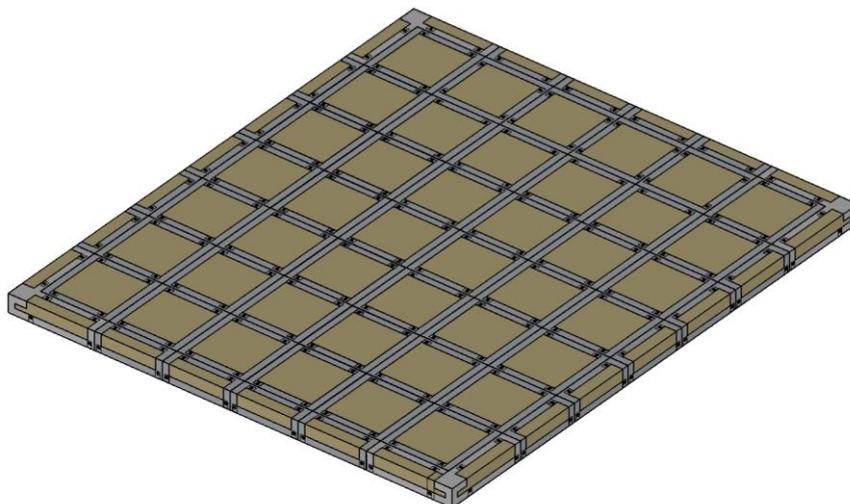


Figura 376. Panelizado completo de la cubierta
Fuente: Elaboración propia

2. Fijación de los elementos de sustentación

Una vez posicionados los pilarucos, se colocarán los 4 paneles paralelos 2 a 2 (figura 319), estos tienen una media caña en su parte central lo que facilita el apoyo y sujeción de las tuberías de evacuación, que se colocarán a continuación y por ellas discurrirá el agua recogida por las bandejas (figura 378).

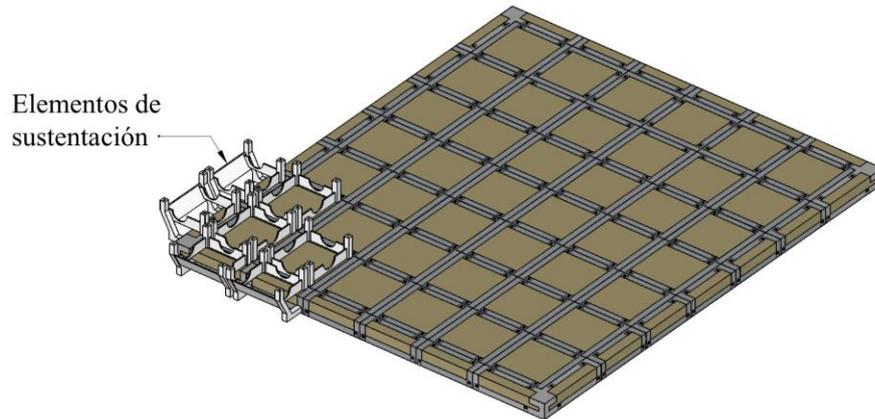


Figura 377. Montaje de los elementos de sustentación
Fuente: Elaboración propia

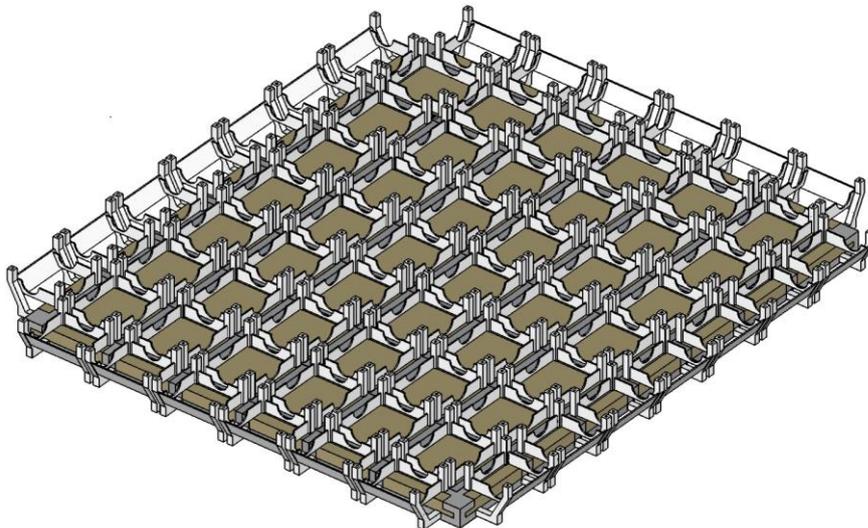


Figura 378. Montaje completo de los elementos de sustentación
Fuente: Elaboración propia

3. Colocación de la red de evacuación

Las tuberías que conforman la red tienen en su parte superior una abertura longitudinal (figura 328) en la que introducirá el embudo de la bandeja de recogida, que a su vez se fija sobre 4 pilarucos de los elementos de sustentación mediante tornillos (figura 379).

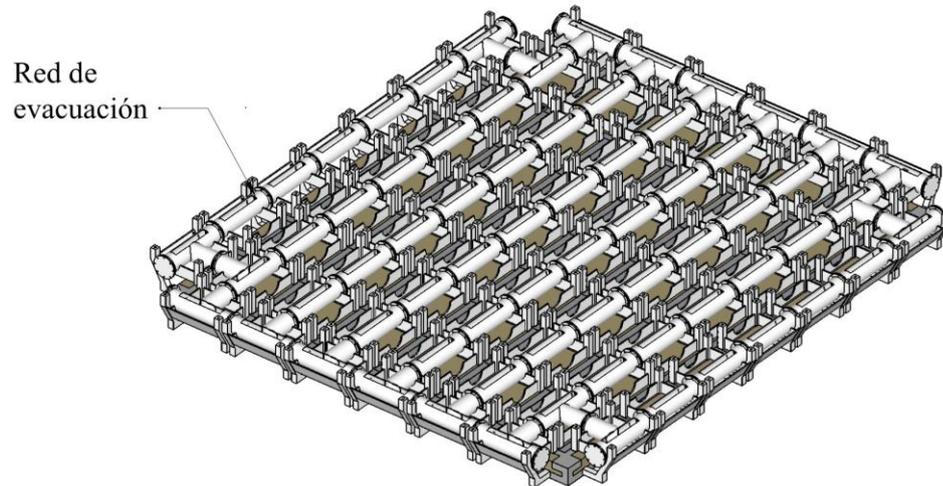


Figura 379. Montaje completo de la red de evacuación
Fuente: Elaboración propia

4. Montaje de las bandejas de recogida

Las bandejas de recogida cubrirán toda la superficie de la cubierta proporcionando una captación de agua individualizada, que transmitirán a las tuberías de evacuación (figura 381).

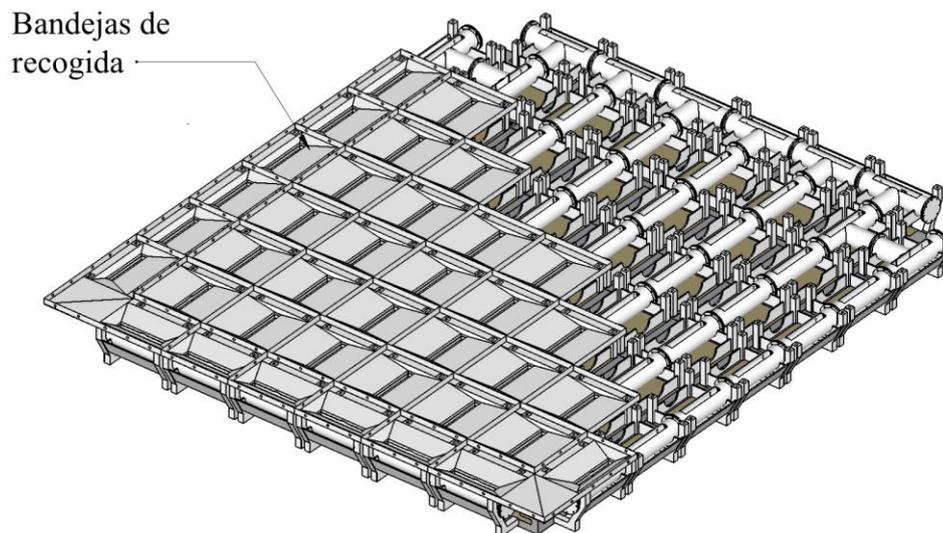


Figura 380. Montaje de bandejas de recogida
Fuente: Elaboración propia

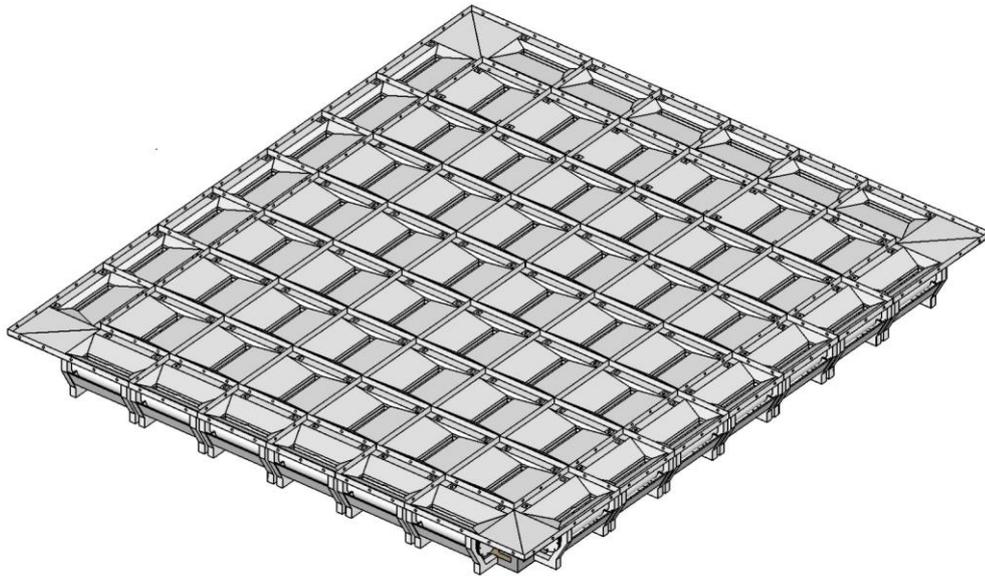


Figura 381. Montaje completo de bandejas de recogida
Fuente: Elaboración propia

5. Fijación de la rejilla transitable

Una vez colocada las bandejas, sobre ellas se introducirán las rejillas de transito, dotando de rigidez a cada unidad y permitiendo convertir a la cubierta plana en transitable (figura 382).

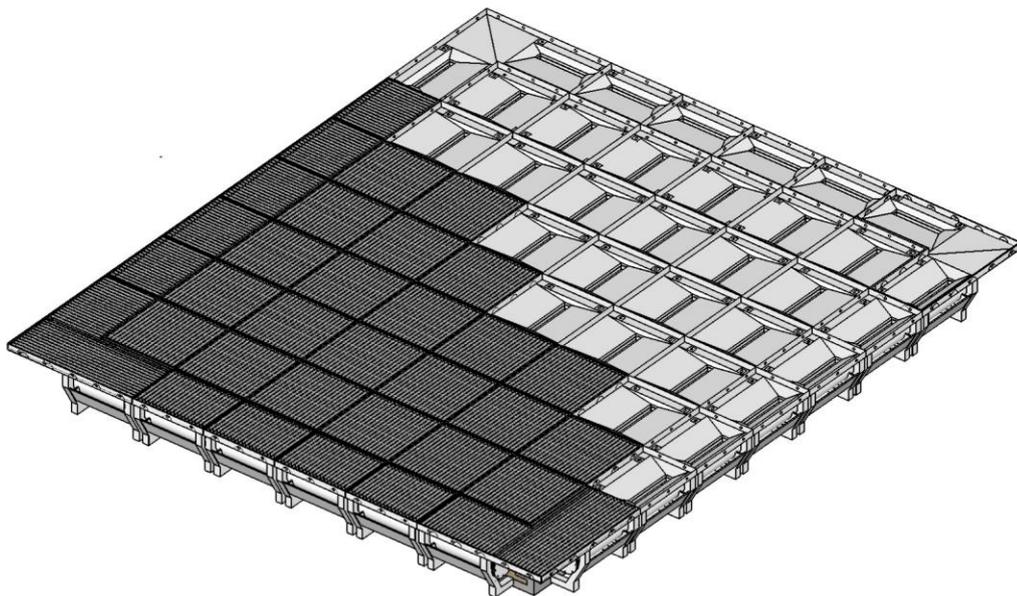


Figura 382. Montaje de rejillas transitables
Fuente: Elaboración propia

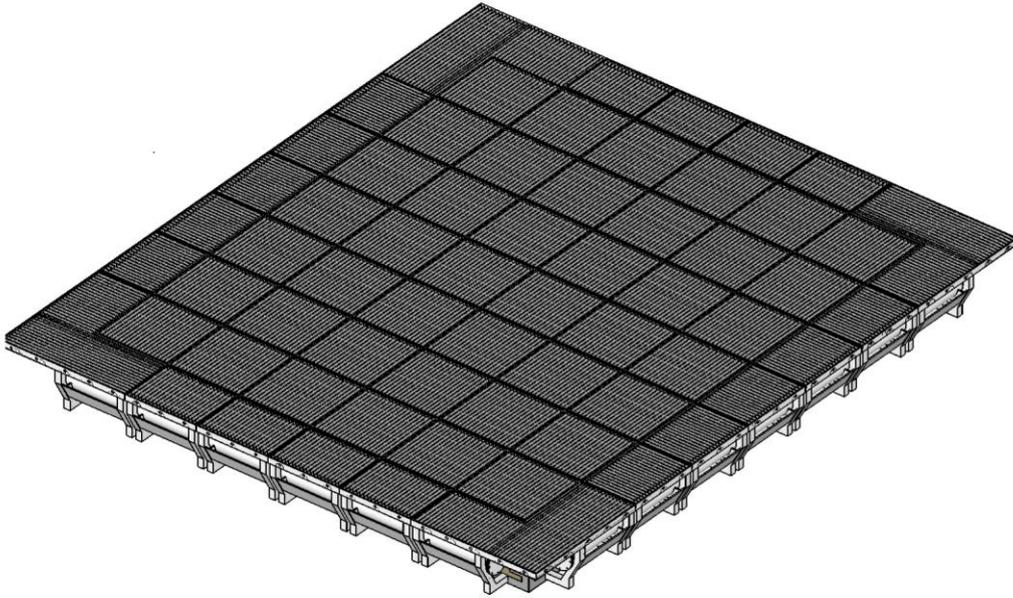


Figura 383. Montaje completo de rejillas transitables
Fuente: Elaboración propia

Este proceso de montaje (figura 383) se realiza con cada una de las unidades tipo 6Mx6M. El proceso es sistemático y se caracteriza por ser los elementos industrializados y ligeros, es una repetición sin posibilidad de error. En las otras zonas donde los elementos son diferentes en forma, pero no en su proceso de montaje, éste se realiza de la misma manera, nos referimos a la zona perimetral o a las esquinas ya sean interiores o exteriores.

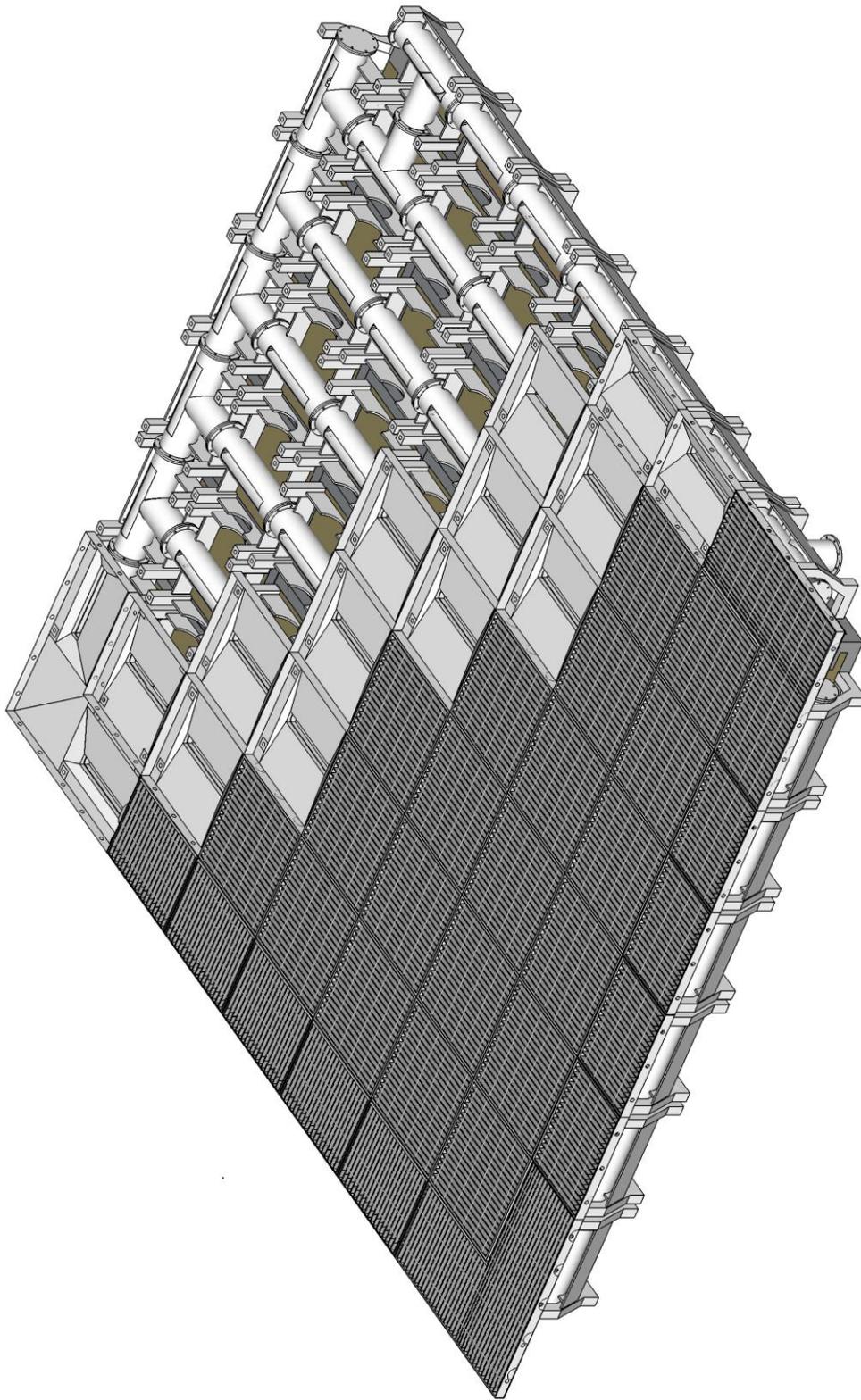


Figura 384. Cubierta completa
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 12. Aplicación del sistema de cubierta flexible (SCF)

12.1. Ejemplo del Sistema de Cubierta Flexible (SCF)

A continuación, se propone un sencillo ejemplo para la aplicación del sistema de cubierta flexible (SCF) a un posible caso. La cubierta requerida se montará sobre un plano horizontal de dimensiones:

Longitud: 5,4m

Ancho: 6,0m

En base a sintetizar el proceso de montaje, debemos de preguntarnos:

¿Cómo organizaremos la posible cubierta para cumplir con los requisitos iniciales?

¿Cuántos elementos industrializados y de que tipo utilizaremos?

Proceso:

1. Es necesario tener la estructura previa conformada sobre la que se asentará el sistema de cubierta flexible (SCF). Esta estructura estará conformada en base a los volúmenes diáfanos y sus características y limitaciones descritas en el bloque 2. sistema estructural flexible (SEF).
2. Se establecerán un sistema de coordenadas (X,Y), asociándose cada uno de ellos a un lado del rectángulo (figura 385).
(5,4mx6,0m) ≈ (54Mx60M)
3. En el plano horizontal existen 2 zonas claramente diferenciadas
 - A. Zona central: En esta zona se montarán los elementos de cubierta (EC1)
Eje X: 54M
Eje Y: 60M
 - B. Zona perimetral
 - B1. Zona perimetral de esquina exterior: En esta zona se montarán los elementos de cubierta (EC3)
 - B2. Zona perimetral central: En esta zona se montarán los elementos de cubierta (EC2)

La solución de la cubierta se observa en la figura 385, donde se aprecian todos los elementos de cubierta (EC) montados, a su vez en las figuras 386 y 387 se aprecian los elementos a montar de juntas y cubrejuntas correspondientes en el proceso, cabe resaltar que la solución será única, exceptuando la variabilidad en la dirección de recogida y circulación de aguas que se estudiará para cada proyecto concreto, según se explicó en el capítulo 10 (Red de evacuación).

Las unidades de elementos montados para la cubierta (54Mx60M) serán los sintetizados en las figuras anteriores y expuestos de manera ordenada según la tabla 29.

Zona Central (Nx * Ny) : 9unidades x 10 unidades = 90 unidades EC1

Zona Perimetral: Nx= 2 x 8 unidades = 16 unidades

Ny=2 x 9 unidades = 18 unidades

Esquinas = 4 unidades

Total: Zona central + zona perimetral + esquinas = 124 unidades

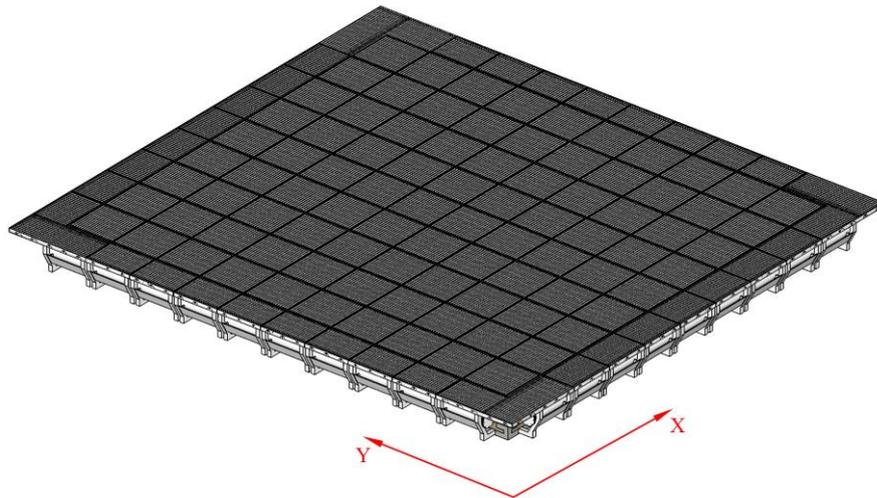


Figura 385. Cubierta (54Mx60M). Cubierta montada
Fuente: Elaboración propia

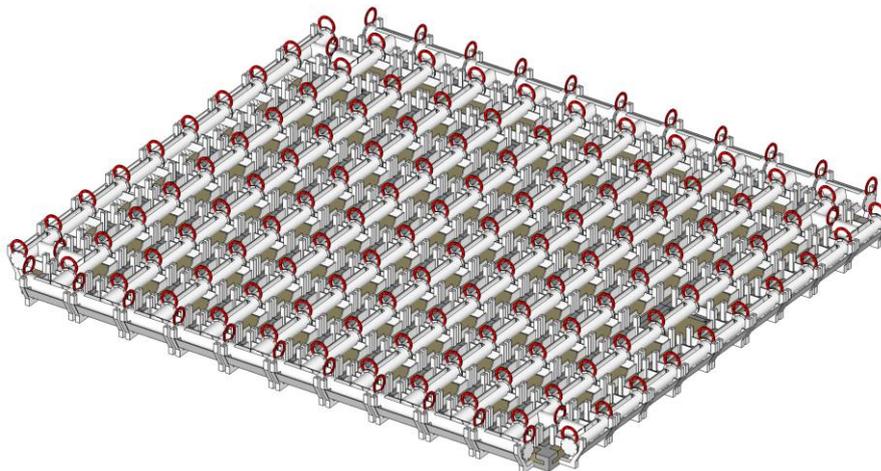


Figura 386. Cubierta (54Mx60M). Juntas circulares para tubos de evacuación
Fuente: Elaboración propia

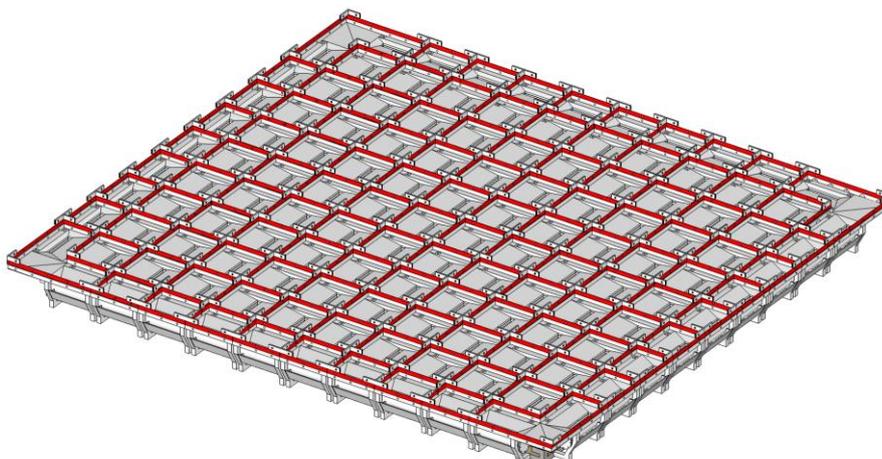
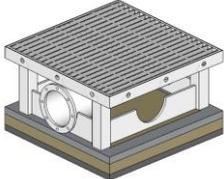
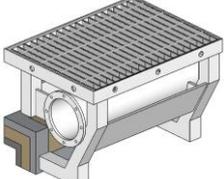
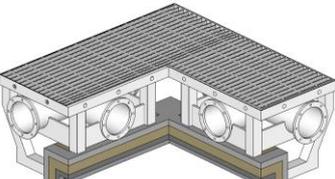


Figura 387. Cubierta (54Mx60M). Juntas lineales y cubrejuntas
Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Unidades de elementos industrializados a utilizar

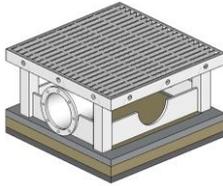
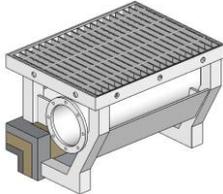
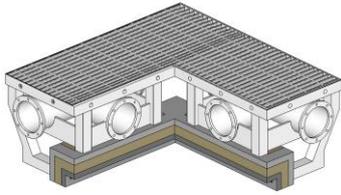
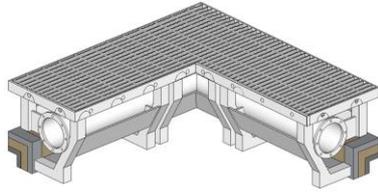
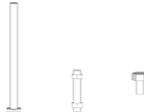
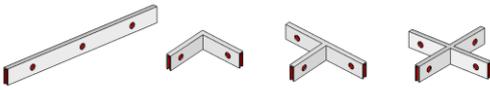
Elemento	Figura	Unidades
EC1		90
EC2		30
EC3		4
Junta circular		146
Junta bandeja (JB)		JB450mm: 34 JB600mm: 229 JB1050mm: 8
Cubrejuntas (Cb)		Cb Lineal 1050mm: 8 Cb Lineal 600mm: 229 Cb Lineal 450mm: 34 Cb "L": 8 Cb "T": 34 Cb "Cruz": 178

Fuente: Elaboración propia

12.2. Catálogo de elementos del sistema de cubierta flexible (SCF)

En este apartado y para resumir el sistema de cubierta flexible SCF, se propone una tabla que contiene los distintos elementos diferentes que lo componen.

Tabla 30. Catálogo de productos

SEF		
Elementos	Figura	Características
1		600X600mm
2		600X450mm
3		600X600X450mm
4		1200x1200x450mm
5		L:180mmxØ10mm L: 50mmxØ8mm L:5mmxØ4mm
6		Ø 150mm
7		Longitudes: 450mm, 600mm,750mm,1050mm, 1200mm
8		Lineal: dimensión juntas L: 200mmx200mm T: 400mmx200mm Cruz: 400x400mm

Fuente: Elaboración propia

Bloque 4

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Capítulo 13. Conclusiones

El sistema constructivo propuesto pretende abrir un nuevo enfoque en el mundo de la construcción, con participación de los propios usuarios en el diseño y ejecución de sus viviendas. Además, la propuesta significa algo más que economía y rapidez, ya que abre las puertas a otra manera de actuar frente a los posibles cambios y necesidades de uso de las edificaciones a lo largo de la vida útil de las mismas.

La flexibilidad es su punto más destacable, gracias a esto el sistema se convierte en algo general, universal o mejor dicho “abierto”, abierto a ofrecer más con menos y a crecer, decrecer, adaptarse, desaparecer, reutilizarse y transformarse de nuevo.

Dado lo ambicioso del proyecto inicial de estudiar todos los sistemas de una vivienda, (cimentación, estructura, envolvente vertical, cubierta, instalaciones, etc.) las limitaciones de espacio y tiempo no han permitido pasar a desarrollar más que dos sistemas que son el referido a la estructura y el de cubierta, pero los conceptos desarrollados en la investigación nos marcan claramente la línea a seguir desarrollando, dado el interés de los resultados obtenidos.

El trabajo aquí presentado muestra una clara tendencia a la industrialización de la construcción, enfocándolo desde el punto de vista del montaje de una “máquina”, con posibilidad de ser reversible en cuanto que va a permitir la acción contraria de desmontar. Este enfoque abre el camino al cambio de espacios y volúmenes según las necesidades de los usuarios.

A continuación, se tratarán las conclusiones propuestas más destacables para el sistema de construcción flexible y posteriormente se hará especial referencia a cada uno de los 2 sistemas tratados en la tesis, el sistema estructural flexible (SEF) y el sistema de cubierta flexible (SCF).

Sistema de construcción flexible para viviendas unifamiliares.

El sistema de construcción flexible para viviendas unifamiliares se caracteriza por utilizar únicamente elementos industrializados modulados, de reducidas dimensiones, manejables por personas y que presenten un ensamblaje fácil y sencillo. Además, tiene una gran capacidad de adaptación a diversas geometrías ortogonales y dispone de la flexibilidad necesaria para permitir realizar modificaciones estructurales a lo largo de la vida útil del edificio.

El sistema pretende ser sistemático y de fácil comprensión para los usuarios-montadores. Se propone un montaje y desmontaje que no requiere mano de obra especializada, y por tanto admite la posibilidad de que sean los mismos usuarios del edificio, quienes puedan ensamblar todo el edificio.

Todos los elementos utilizados son industrializados y resultan ser de fácil fabricación.

El sistema, al permitir un desmontaje íntegro e individualizado de cada uno de los elementos que lo integran, facilita los procesos de reutilización y reciclaje de los mismos, contribuyendo a una construcción sostenible.

El sistema de construcción flexible para viviendas unifamiliares es un sistema global, no es en sí mismo una entidad física, sino el conjunto de unión de todos los sistemas comentados para la realización de un edificio (cimentación, estructura, envolvente vertical, cubierta, instalaciones, etc.) pero teniendo en cuenta que este sistema global debe de imponer las relaciones y conexiones moduladas entre los diferentes sistemas establecidos.

Sistema Estructural Flexible (SEF).

El proceso de formación de un esquema estructural para un edificio, pasa por realizar diferentes combinaciones a través del **par estructural generador** con sus 2 unidades básicas (UB_i), de tal forma que lleguemos a obtener un elemento estructural (EE). Una vez que disponemos de estos elementos formaremos los pórticos estructurales (PE), que a su vez distribuyéndolos convenientemente permite obtener la estructura deseada.

Las unidades básicas (UB_i) presentan siempre la misma sección exterior.

Las unidades básicas (UB_i) son unas piezas constituidas por perfiles laminados en frío especiales, que permiten una fácil unión y que presentan 2 posibles espesores en función de las necesidades de diseño estructural. Estos espesores son $e_1=2\text{mm}$ en coloración verde y también el $e_2=3\text{mm}$ en coloración roja.

Las uniones ortogonales se logran utilizando una escuadra universal más los correspondientes tornillos que van a ser solo de 2 tipos.

Los pórticos estructurales (PE) van a estar constituidos por vigas y pilares. La generación de vigas y pilares se consigue manteniendo la misma sección exterior, y añadiendo diferentes elementos, según una secuencia establecida en progresión aritmética. Los volúmenes diáfanos obtenidos presentan una modulación que sigue la progresión aritmética, limitada por luces máximas.

Con el objetivo de establecer un planteamiento sistemático para generar esquemas estructurales, se establece que, cada esquema estructural debe estar asociado a un volumen diáfano. Este volumen va a estar definido por tres coordenadas (X,Y,Z) cuyos valores van a estar modulados y se corresponden con series aritméticas perfectamente definidas.

La concepción del sistema estructural flexible (SEF) pasaría por establecer un perímetro volumétrico (PV) que permite definir unos pórticos estructurales (PE), para llegar a obtener un volumen diáfano (V), comprendido en el esquema estructural propuesto.

El sistema estructural flexible (SEF) propone esquemas estructurales para edificios convencionales con una o dos plantas, que presentan luces menores o iguales a 4,8 metros, y que se organizan según una retícula ortogonal tridimensional.

El sistema estructural flexible (SEF) es el que organiza y dirige el diseño y proyecto del edificio.

Otras características destacables del sistema estructural flexible (SEF) serían:

1^a. El sistema estructural flexible permite obtener una gran cantidad de esquemas estructurales para edificios convencionales organizados como retículas ortogonales.

2^a. Cada esquema estructural está asociado a un volumen diáfano.

3^a. Cada volumen diáfano permite una ampliación o reducción, entre diferentes volúmenes diáfanos. Además, esta adición o reducción puede ser en horizontal y en vertical.

4^a. No impone impedimentos culturales arquitectónicos a los usuarios del edificio.

5^a. Permite una fácil reutilización de elementos estructurales, al tener solo 5 piezas diferentes y disponer una gran variedad de volúmenes a construir.

- 6ª. Es un claro ejemplo de producción en masa con personalización de los resultados.
- 7ª. Permite la construcción de pequeños o grandes estructuras en función de los recursos económicos de los posibles usuarios.
- 8ª. Los elementos industrializados de los que consta el sistema estructural flexible, presentan una gran facilidad de transporte y almacenaje.
- 9ª. Permite dar respuesta inmediata ante cualquier catástrofe humanitaria.
- 10ª. El sistema presenta amplias posibilidades de aplicación en construcciones especiales, tales como: estaciones espaciales, edificios provisionales en áreas de alto impacto ecológico, restringidas, etc.

Sistema de Cubierta Flexible (SCF).

El sistema de cubierta flexible (SCF), también ha sido un trabajo singular puesto que el condicionante de sumar y restar superficies de cubierta se enfrenta de alguna manera a las pendientes tradicionales de las cubiertas. En este caso la cubierta va a presentar una pendiente del 0,0%, es decir es totalmente plana.

Este sistema de cubierta flexible (SCF) está formado por:

- 4 unidades de cubierta compactas
- diversos tornillos de unión,
- 1 tipo de junta circular
- 5 tipos de juntas lineales
- 3 tipos de cubrejuntas,

Se puede resumir en 4 unidades propias de cubierta y 10 elementos auxiliares de cubierta.

Las unidades de cubierta van a presentar la misma modulación general que el sistema estructural Flexible (SEF).

Otras características destacables del sistema de cubierta flexible (SCF) son:

- 1ª. Con las 4 unidades de cubierta compactas, y utilizando los 10 elementos auxiliares, el sistema nos permite obtener todas las combinaciones posibles de superficie de cubierta, en función de su modulación.
- 2ª El sistema de cubierta flexible (SCF) está diseñado para un montaje y desmontaje de cada uno de los elementos, esto facilita variaciones en su formación para futuras reformas sin necesidad de variar toda la superficie de cubierta.
- 3ª También permite un mantenimiento fácil y eficaz al ser registrable.
- 4ª Es transitable y se puede caminar sobre él sin ningún problema.
- 5ª Presenta la particularidad de recogida total de aguas de lluvia y recircularlas.
- 6ª Su diseño proporciona un aislamiento térmico adicional a crear un espacio entre la superficie de impermeabilización y la superficie soporte de estructura o forjado.

7ª Se adapta perfectamente al sistema estructural flexible (SEF)

8ª A cada volumen diáfano generado según el sistema estructural flexible (SEF), se le puede incorporar una cubierta según el sistema de cubierta flexible (SCF).

9ª También permite la reutilización, no impone impedimentos arquitectónicos culturales predeterminados, etc.

Capítulo 14. Futuras líneas de investigación

El sistema de construcción flexible para viviendas unifamiliares como bien se comentó, abarca en esta tesis 2 de 8 posibles sistemas, en los que en un principio se dividió la vivienda para analizarla bajo las premisas aquí tratadas. Por tanto, parece evidente que completar el resto de los subsistemas sería una línea futura de investigación muy interesante. Es posible que al generar el resto de los sistemas haya que revisar lo propuesto por alguna necesidad específica, y esto supondría un proceso de retroalimentación importante.

Abrir nuevas vías en el diseño y construcción de viviendas, con adaptación a los cambios durante la vida útil de la misma sea posible.

Industrializar sistemas de construcción utilizando materiales a ser posible la mayor parte de origen orgánico como es la madera, bambú, etc., pero donde los elementos industrializados sean de pequeñas dimensiones, manejables por personas y con pocos elementos del “catálogo de productos”.

Combinación de materiales para realizar los elementos industrializados diferentes, como pueden ser de madera con uniones en acero inoxidable, envolventes de corcho con bastidores de polímeros, etc.

Bibliografía

- Adanson, P. y Arbunich, M. (2002). *Eichler: Modernism rebuilds the American Dream*. Gibbs Smith. Utah.
- Altozano, F. y Reyes, JM. (2008). *d_21 system: un juego para ser habitado*. Informes de la Construcción, Vol. 60, 512, 61-69, octubre-diciembre.
- Armesto, L. (2014). *La Maison Standar de Jean Prouvé en Meudon*, rita, nº2, octubre.
- Bergdoll, B. y Christensen, P. (2008). *Home Delivery: fabricating the modern dwelling*. The Museum of Modern Art. New York.
- Bernard, P. (1982). *La construcción por componentes compatibles*. Editores técnicos asociados, S.A. Barcelona. pp.172-212.
- Blanc, A. McEvoy, M. y Plank, R. (1993). *Architecture and construction in Steel*. The Steel Construction Institute. London. pp168-170
- Cordell, C. (2011). *Remote prefabricated home*. Recuperado el 10 agosto de 2018 de http://westonwords.weebly.com/uploads/8/3/6/6/8366258/_cordell_fianl_presentation_wb.pdf.
- Dardi, C., Pedio, R. y Piano, R. (1982). *Renzo Piano. Pezzo per pezzo / Piece by Piece*. Casa del libro editrice. Roma
- Davies, C. (2005). *The prefabricated home*. Reaktion books. Great Britain.
- Decker, J. y Chieci, C. (2005). *Quonset Hut: Metal Living for a Modern Age*. Princeton Architectural Press. New York.
- Feijó, E. (2012). *Arquitectura modular basada en la teoría de los policubos.. Trabajo de fin de carrera*. La Universidad Católica de Loja. Recuperado el 7 abril de 2018 de <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/3195/1/729X122.pdf>.
- Fetters, T. (2002). *The Lustron Home: The History of a Postwar Prefabricated Housing Experiment*. Mcfarland. North Carolina.
- Frampton, K. (2000). *Le Corbusier*. Ediciones Akal. Madrid.
- Francois, J. (1990). *Prouvé: cours du CNAM, 1957-1970: essai de reconstitution du cours à partir des archives Jean Prouve*. Mardaga. Bélgica.
- Gans, D. (1987). *The Le Corbusier Guide*. Princeton Architectural Press. New York. pp.126-127.
- Giedion, S. (2009). *Espacio, tiempo y arquitectura*. Editorial Reverte. Barcelona.
- Helfrich K. y Whitaker, W. (2006). *Crafting a Modern World: The architecture and design of Antonin and Noémi Raymond*. Princeton Architectural Press. New Jersey.
- Herbert, G. (1984). *The dream of the factory-made house: Walter Gropius and Konrad Wachsmann*. MIT Press.

- Huizinga, J. (2007). *Homo Ludens*. (16ªEd). Madrid. Alianza.
- Jackson, N. (1996). *The modern Steel house*. Routledge. New York.
- Joedicke, J. (1989). *Weissenhofsiedlung Stuttgart*. K. Krämer. pp. 45.
- Knaack, U., Chung-Klatte, S. y Hasselbach, R. (2012). *Prefabricated Systems: Principles of Construction*. Birkhauser. Basel. Suiza.
- Koncz, T. (1977). *Construcción Industrializada*. Blume. Madrid.
- Kronenburg R. (2014). *Architecture in motion: The history and development of portable building*. Routledge. New York.
- Maccarini, L. (2011). *El concepto de reciclabilidad aplicado a los materiales de construcción y a los edificios: propuesta de índices para evaluar la reciclabilidad de los sistemas constructivos*. (Tesis Doctoral) UPC. Recuperado 5 junio de 2018 de www.tdx.cat/bitstream/10803/83639/1/TLMV1de1.pdf. pp. 263 y pp.265.
- Mcevoy, M. (1994). *External Components*. Routledge. New York.
- Morales, P. (2005). *Genético versus generativo, o de la generación automática de formas*. Publicaciones del COAC. Barcelona. Recuperado el 3 agosto de 2018 de <https://psolam.wordpress.com/2013/04/27/genetico-vs-generativo-de-la-generacion-automatica-de-formas/>.
- Norberg-Schulz, C. (2005). *Los principios de la arquitectura moderna: sobre la nueva tradición del siglo XX*. Editorial Reverte. Barcelona. pp. 31-36.
- Paris, O. (2014). *La tecnología de la construcción y la sostenibilidad. La gestión y la desmontabilidad de los sistemas constructivos como estrategia para el cierre del ciclo de vida de los materiales en la arquitectura*. Proyecto Post Doctoral. UPC. Recuperado el 8 agosto de 2018 de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/23670/EPSEB%20DRAC%20DfD.pdf>.
- Piano, R. (1978) *Lezioni di Design*. Entrevista de Giorgio Tartaro. “La casa evolutiva”. RAI Educational.
- Quezada, D. y Burneo, E. (2012). *Arquitectura Modular basada en la Teoría de Policubos*. Recuperado el 8 de agosto de 2018 de http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2012_84.content.pdf.
- Reyes, JM. (1985). *S3c, prototipos de vivienda contruidos por componentes compatibles*. Informes de la Construcción. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Recuperado el 8 de agosto de 2018 de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1822/2022>.
- Reyes, JM. (2005). *La experiencia domino.21 involucró a la maderera. AITIM*. Marzo/Abril, nº 234. Madrid: AG Palermo.
- Rotan, T. (2014). *The Architecture of Paul Rudolph*. University os Massachusetts.

- Salas, J. (1981). *Alojamiento y tecnología: ¿industrialización abierta?*. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, pp 105-106.
- Salas, J. (2008). *De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico*. Informes de la construcción, Vol. 60, 512, 19-34. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC). Madrid, octubre-noviembre.
- Safdie, M. (2009). *Moshe Safdie: Volume 1*. The Image Publishing. Australia
- Seaker, R. y Lee, S. (2006). *Assessing Alternative Prefabrication Methods: Logistical Influences*. Advances in Engineering Structures, Mechanics and Construction. M. Pandey et al. pp. 607–614.
- Serrentino, R. y Molina, H. (2008). *Arquitectura Modular basada en la Teoría de Policubos*. Recuperado el 8 de agosto de 2018 de <http://cumincades.scix.net/data/works/att/8a44.content.pdf> .
- Smith, R. E. (2011). *Prefab Architecture. A guide to modular design and construction*. John Wiley and Sons. New York.
- Sousa, P. (2013). *Structures and Architecture: New concepts, applications and challenges*. CRC Press. London.
- Staib, G., Dorrhöfer, A. y Rosenthal, M. (2008). *Components and systems. Modular construction. Design structure. New technologies*. Detail. Munich.
- Steele, J. (2002). *Eames House*. Phaidon. London.
- Utzon, J. (2009). *Additive Architecture: Prefab. Hellerup*. Blondal. Dinamarca.
- VVAA. (2010). *Prefab City*. Northeastern University Architecture. Fall, pp.10-25. Recuperado el 8 de agosto de 2018 de <https://camd.northeastern.edu/architecture/portfolio/prefab-city/>.
- Wadel, G. (2009). *La sostenibilidad a la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda* (Tesis Doctoral). UPC. Barcelona.
- Wagner, R. y Duckett, A. (2010). *Levittown*. Arcadia Publishing. South Carolina

Apéndices

Apéndice A. Patente Española. Unidad para la formación de cubiertas transitables. ES2610203.B2.

Apéndice B. Artículo en revista indexada del JCR. Advances in Civil Engineering. “Design of Flexible Structural System for building”.

Apéndice A. Patente Española. Unidad para la formación de cubiertas transitables. ES2610203.B2.

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 610 203**

21 Número de solicitud: 201601071

51 Int. Cl.:

E04D 13/04 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

09.12.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

26.04.2017

Fecha de concesión:

04.09.2017

45 Fecha de publicación de la concesión:

11.09.2017

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO (50.0%)
C/ San Francisco 3
33003 Oviedo (Asturias) ES y
LOZANO MORENO , Diego (50.0%)**

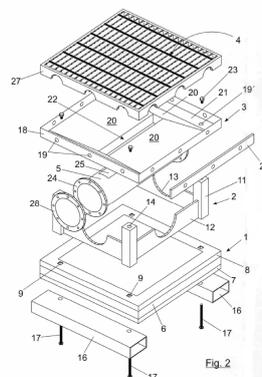
72 Inventor/es:

**LOZANO MORENO , Diego;
MARTÍN RODRÍGUEZ , Ángel ;
SERRANO LÓPEZ, Miguel Ángel y
LÓPEZ AENLLE, Manuel**

54 Título: **Unidad para la formación de cubiertas transitables**

57 Resumen:

Unidad para formación de cubiertas transitables, que está compuesta por un panel de base (1) de naturaleza aislante, un soporte (2), que apoya y va fijado sobre el panel de base (1); una bandeja (3) que va montada sobre el soporte (2) de fijación; una rejilla (4) que va montada sobre la bandeja (3); y un colector (5) en el que vierte la bandeja (3).



ES 2 610 203 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP 11/1986.

DESCRIPCIÓN

Unidad para la formación de cubiertas transitables.

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a una unidad de impermeabilización y aislamiento de cubiertas, que permite obtener cubiertas transitables y que presenta la característica de tener pequeñas dimensiones y formar cubiertas planas sobre la superficie a cubrir, que
10 no requieren pendiente alguna para evacuar las aguas de lluvia.

Antecedentes de la invención

Ya son conocidas cubiertas transitables para edificaciones, generalmente compuestas
15 por una serie de elementos de apoyo, que se disponen sobre la superficie a cubrir, con separación que permite la circulación de agua entre los mismos, sobre cuyos elementos de apoyo se disponen, con diferentes sistemas de montaje, rejillas para permitir el paso del agua de lluvia hacia los canales de evacuación limitados entre los elementos de apoyo. Este tipo de cubiertas están concebidas para disponerse sobre superficies
20 continuas de cerramiento de la construcción, por ejemplo, de tipo terrazas, y no sirven como medio de impermeabilización y aislamiento de la cubierta.

Por otro lado, las cubiertas transitables del tipo indicado presentan generalmente
25 problemas de montaje, mantenimiento y duración.

Descripción de la invención

La presente invención tiene por objeto una unidad para la formación de cubiertas transitables que está constituida por unos componentes industrializados, de pequeñas
30 dimensiones, que son de fácil ensamblaje y manejables por una persona y que, además de poder mantener la estanqueidad y aislamiento, son resistentes a diferentes acciones meteorológicas como pueden ser las sobrecargas de uso, acciones de viento, nieve, etc.

La unidad de la invención está constituida por una serie de componentes industrializados,
35 los cuales se unen entre sí de una forma sencilla y sistemática hasta conformar una teja plana. Posteriormente, mediante la adición de sucesivas unidades o tejas se llega a cubrir toda la superficie edificada, manteniendo la estanqueidad y aislamiento global, así como la resistencia conjunta de la cubierta.

Estos componentes industrializados presentan una gran adaptabilidad a diferentes
40 geometrías de cubiertas ortogonales.

Su uso general está previsto para todo tipo de edificaciones, situadas en lugares donde
45 no se prevea una acumulación de nieve importante.

La cubierta constituida por las unidades de la invención es transitable y permite un fácil
mantenimiento.

La unidad de la invención es aplicable en aquellos sectores en los que se diseñen,
50 fabriquen, produzcan, utilicen o construyan sistemas o materiales de construcción, por ejemplo, en el sector de la edificación, o en el de las industrias manufactureras diversas.

De acuerdo con la invención, la unidad para la formación de cubiertas transitables comprende:

- Un panel de base de naturaleza aislante:
- Un soporte de fijación, que apoya y va fijado sobre la estructura portante de la cubierta;
- 5 - Una bandeja que va montada sobre el soporte de fijación;
- Una rejilla que va montada sobre la bandeja, cubriendo a dicha bandeja;
- 10 - Un colector en el que vierte la bandeja, que va dispuesto entre dicha bandeja y el soporte de fijación y va montado en el citado soporte.

El panel de base será de contorno poligonal y el soporte de fijación tendrá un contorno menor, compuesto por columnas perpendiculares al panel de base y por paneles que discurren entre cada dos columnas consecutivas. El panel de base y la bandeja se apoyan perpendicularmente en sentidos opuestos sobre las columnas de la estructura soporte, a las que se fijan.

El colector de la unidad de la invención es de estructura tubular y va montado en posición paralela al panel de base, entre escotaduras de dos paredes paralelas opuestas de la estructura soporte. El colector de estructura tubular dispone en su pared de una ventana longitudinal superior a la que va conectada una abertura central que presenta la bandeja en el fondo.

25 **Breve descripción de los dibujos**

En los dibujos adjuntos se muestra un ejemplo de realización, no limitativo, en los que:

- La figura 1 es una perspectiva de una unidad para la formación de cubiertas transitables, constituida de acuerdo con la invención.
- 30 - La figura 2 es un despiece en perspectiva de la unidad de la figura 1.
- La figura 3 es una sección de una de las columnas de la unidad de la Fig. 1.
- 35 - La figura 4 muestra en perspectiva seccionada el acoplamiento entre bandeja y colector.
- La figura 5 muestra la unión entre bandejas de unidades consecutivas.
- 40 - La figura 6 muestra en perspectiva el panel de base de la unidad de la invención y el soporte de fijación.
- La figura 7 una sección del panel de base, según la línea de corte VII-VII de la figura 6.
- 45 - La figura 8 muestra en perspectiva un cubrejuntas en cruz.
- La figura 9 muestra en perspectiva un cubrejuntas lineal.
- La figura 10 muestra el perfil del cubrejuntas lineal de la figura 9.
- 50 - La figura 11 muestra la unión entre 4 bandejas, con cubrejuntas lineal y el cubrejuntas en cruz.

Descripción detallada de un modo de realización

La constitución y características de la unidad de la invención se describen seguidamente con mayor detalle, con referencia al ejemplo de realización mostrado en los dibujos antes relacionados y que deben igualmente entenderse sin carácter limitativo del alcance de la invención.

En las figuras 1 y 2 se muestra una unidad para la formación de cubiertas transitables, que está compuesta por un panel de base (1), un soporte (2) de fijación, una bandeja (3), una rejilla (4) y un colector (5). El conjunto adopta forma prismática recta, de planta cuadrada y está concebido para el cierre, impermeabilización y aislamiento de cubiertas.

El panel de base (1), figuras 6 y 7, está concebido como panel aislante, que permite incorporar al sistema una protección térmica y acústica. Para ello este panel puede adoptar una constitución tipo sándwich, con un cuerpo central (6) a base de un material aislante, cuya naturaleza estará en función de los diferentes requerimientos térmicos y acústicos exigidos. El panel se completará con un marco inferior (7) un marco superior (8), resistentes que darán rigidez al panel. El panel de base (1) dispone de cuatro pasajes (9) en cada uno de los cuales va montado un casquillo (10).

Sobre el panel de base (1) va dispuesto el soporte (2) de fijación, figuras 2 y 6, en forma de marco, de menor contorno que el panel de base (1) y con columnas (11) conectadas por tabiques (12) dotados, a partir de su borde superior, de una escotadura (13) de contorno cóncavo, por ejemplo, aproximadamente semicircular. Las columnas (11) disponen a partir de sus extremos, Fig.3, de alojamientos para la fijación de una cazoleta superior (14) y otra inferior (15) roscada. Las cazoletas inferiores (15) quedan enfrentadas a los casquillos (10) del panel de base, figura 7. El soporte (2) y panel de base (1) se apoyan y van fijados sobre la estructura de la cubierta, compuesta por ejemplo por viguetas (16), mediante tornillos (17), Fig. 2, que se enroscan en la cazoleta roscada inferior (15) de las columnas (11).

Sobre el soporte (2) de fijación, figura 2, va montada la bandeja (3) que servirá en el conjunto como captador de agua y dispone, figuras 4 y 5, de una pared periférica (18), con orificios (19), y un fondo que está compuesto por planos inclinados (20) en cuatro direcciones, a partir de las paredes (18), y dos zonas planas (21). Estos planos inclinados permitirán evacuar el agua hacia la abertura (22) central. En las zonas planas (21) del fondo dispone también de orificios (19') a través de los que se pasan tornillos (23), Figura 2, que se enroscan en las cazoletas roscadas superiores (14) de las columnas (11), Fig. 3.

El proceso de montaje sería el siguiente:

- a) Se coloca el panel de base (1) sobre la estructura de viguetas (16).
- b) Se fija este panel (1), mediante tornillos (17). a las columnas (11) del soporte de fijación (2) y a las viguetas (16).
- c) Se coloca el colector entre las escotaduras (13).
- d) Sobre la zona superior de las columnas (11) de fijación y una vez colocada la bandeja (3), se atornilla a la columna con tornillos (23).
- e) Para la adición de otras unidades de formación de cubierta, se deberán colocar las juntas (29) y también de los cubrejuntas lineales (30), figura 5. Además, colocación

de los cubrejuntas en cruz (30'), figura 8, en las esquinas. Todo ello unido por los correspondientes tornillos.

- 5 f) Una vez fijada toda la unidad se coloca la rejilla (4) embebida en la bandeja y únicamente posada.

Las bandejas (3) vierten, a través de la abertura central (22), en el colector (5), Figuras 2 y 4, compuesto por un tramo tubular que dispone en su pared de bridas (24) extremas de unión y de una ventana longitudinal (25), Figura 2, de dimensiones y posiciones
10 coincidentes con la abertura central (22) de las bandejas (3), para su conexión mutua, según se muestra en la figura 4. Para ello la abertura central (22) de las bandejas queda rematada por un faldón inferior (26) que penetra en la ventana longitudinal (25).

El colector (5), de estructura tubular, va montado sobre las escotaduras (13) del soporte
15 (2), en posición paralela al panel de base (1).

Por último, sobre la bandeja (3) se dispone la rejilla (4), figura 2, que apoya a través de la pared inferior (27), que permite hacer transitable la cubierta y sirve además como
20 elemento para rigidizar la misma y para mantener constante la diagonal de las bandejas, todo ello frente a diferentes acciones sobre la edificación. Esta rejilla irá simplemente apoyada sobre la bandeja (3), permitiendo así un fácil mantenimiento y limpieza de la cubierta.

Los componentes descritos que conforman la unidad de la invención estarán
25 preferentemente modulados en la serie 6M, según ISO 1040; 1983.UNE41604:1997.

Una vez configurada la unidad de la invención, el sistema permite la adición de otras unidades semejantes, manteniendo la estanqueidad, aislamiento y resistencia ante las
30 acciones exteriores sobre la edificación. También se mantiene la superficie plana de toda la cubierta.

Las bridas (24) del colector (5) tubular permiten dar continuidad al conducto de
35 evacuación conformado por la conexión de sucesivas unidades, con interposición de una junta de estanqueidad (28) entre bridas de colectores pertenecientes a unidades consecutivas.

Como ya se ha indicado, la bandeja (3) se conecta al colector (5) a través del faldón (26),
40 figura 4, que remata interiormente la abertura central (22) de las bandejas (3). El faldón citado se introduce en la ventana longitudinal (25), de manera que el agua recibida por la bandeja es conducida al colector sin posibilidad de fuga, produciéndose un efecto de "goterón", todo ello según se representa en la figura 4. Así mismo las posibles condensaciones de agua, surgidas en la cara interna de la bandeja, pueden fluir por esta superficie hasta llegar al faldón (26) y por el efecto goterón descargar en el colector (5). Este colector (5) se apoya en el soporte (2) sobre las escotaduras (13) de cada dos
45 paredes paralelas opuestas, consiguiéndose su estabilidad ante posibles acciones de cualquier tipo, al quedar "emparedada" entre el soporte (2) y la bandeja (3).

Para conseguir la estanqueidad de la cubierta en general y en particular la unión estanca
50 entre unidades consecutivas, las paredes (18) de las bandejas disponen de taladros (19), permitiendo la unión entre bandejas pertenecientes a unidades consecutivas, con interposición de una junta de estanqueidad (29), según se muestra en las figura 5 y mediante la posterior colocación de cubrejuntas lineal (30) en forma de U, donde las caras exteriores aportan la rigidez necesaria y las caras interiores son de un material elástico con propiedades de junta de estanqueidad, que se disponen en posición

invertida, cabalgando sobre cada dos paredes (18) adosadas de bandejas (3) consecutivas. Las juntas (29) y cubrejuntas (30) disponen de orificios (31 y 32) enfrentables a los orificios (19) de las paredes (18) de las bandejas para el paso de tornillos (33), mediante cuyo apriete se logra la compresión necesaria de las juntas (29) para asegurar la estanqueidad entre bandejas (3) consecutivas.

La unión entre bandejas (3) debe además reforzarse, en los encuentros entre cuatro bandejas, figura 11. mediante cubrejuntas en cruz (30'), figura 8, con brazos acanalados, de igual estructura que los cubrejuntas lineales, que se acoplan en posición invertida en los encuentros entre cuatro bandejas y que dispone igualmente de orificios (32), enfrentables a los orificios (19) de las paredes de las bandejas (3), para el paso de los tornillos (33) de unión a dichas bandejas.

El panel de base (1) puede estar constituido por materiales de reducida rigidez, pero con buenas propiedades de aislamiento térmico y acústico, con lo que al ejercer la compresión de los tornillos de unión a la estructura de la cubierta se podrían producir deformaciones no deseadas. Este problema se evita con los casquillos (10) rígidos, que van embutidos en el material que conforma el panel de base, y marcos inferiores (7) y superiores (8), figura 7.

Mediante la unidad descrita puede formarse una cubierta plana impermeable y transitable, que se conseguirá añadiendo un número determinado de unidades como las descritas. El proceso de montaje podemos dividirlo en las siguientes etapas:

1. En primer lugar, se colocaran los paneles de base (1) de aislamiento sobre la estructura de la cubierta, compuesta por ejemplo a base de viguetas (16) estructurales de la cubierta.
2. Posteriormente se colocarán los soportes (2) de fijación. En este momento se irán introduciendo por la parte inferior de las viguetas los tornillos (17) de anclaje pasando por el panel de base (1), a través de los pasajes (9) hasta llegar a la base de las columnas, donde se roscarán los tornillos antes citados a las cazoletas inferiores (15) de las columnas (11).
3. Una vez ensamblados los soportes (2), se irán colocando los colectores (5), conectándose colectores de unidades consecutivas a través de sus bridas (24), con interposición de una junta anular (28) de estanqueidad, figura 2.
4. Sobre la ventana longitudinal (25) del colector (5), figura 2, se colocará la bandeja (3), que constituirá el captador de agua, introduciendo sus faldones (26), figura 4, sobre esta ventana, de modo que actúe a modo de goterón y por tanto dando estanqueidad al sistema de captación de agua.
5. Unión de las bandejas (3) con los soportes (2), por medio de los tornillos (23) con cabeza estanca, que se enroscarán en la cazoleta superior (14), figura 3, de las columnas (11) del soporte (2).
6. Colocación de la rejilla (4) de rigidización, simplemente dejándola apoyar sobre la bandeja (3), figura 2.

Como ya se ha indicado, al ir adicionando las diferentes unidades de formación de cubierta transitable, la cubierta deberá completarse colocando unidades consecutivas, según se requiera para la superficie a cubrir, debiendo conectar entre si las bandejas (3) de unidades adyacentes. Para ello se deberá colocar las juntas de estanqueidad (29)

entre las paredes periféricas (18) de las bandejas. Posteriormente se colocarán los cubrejuntas lineales (30) y finalmente en las esquinas los cubrejuntas en cruz (30'), figuras 5 y 8. Finalmente introduciremos los tornillos (33) a través de los orificios (19) (31) (32) para proceder al apriete y conseguir la estanqueidad.

5

En la cubierta se dispondrán, a distancias predeterminadas, sumideros para la evacuación del agua recogida a través de la cubierta conformada mediante la unidad de la invención.

10 La constitución de la unidad para la formación de cubiertas transitables permite ampliar o reducir la superficie a cubrir de una manera fácil y sencilla, sin mano de obra especializada. Aumentando el número de unidades podrá ampliarse la superficie de cubierta, y en caso necesario o deseado también reducirla.

15 En la formación de cubiertas pueden aparecer puntos singulares, normalmente asociados a esquinas y cornisas, que podrán requerir una geometría diferente de la unidad de la invención. Para ello pueden utilizarse bandejas (3) de diferentes dimensiones y contorno, por ejemplo en forma de L, y colectores (5) con ramificaciones en forma de T, doble T, etc. Del mismo modo pueden utilizarse rejillas de diferentes dimensiones y contornos,
20 para coincidir con el de las bandejas (3) utilizadas.

Mediante el hueco delimitado entre las bandejas (3) y el panel de base (1) se obtiene una cubierta ventilada.

25 En las figuras 9 y 10 se muestra un cubrejuntas lineal, de sección acanalada, en forma de U, que incluye una pared externa (35) rígida, por ejemplo de naturaleza metálica, y una capa interna (34) de naturaleza elástica, apta para servir como junta de estanqueidad.

Los brazos del cubrejuntas en cruz (30') presentan igual constitución.

30

REIVINDICACIONES

1. Unidad para la formación de cubiertas transitables, **caracterizada** por que comprende:

- 5 - un panel de base (1) de naturaleza aislante;
- un soporte (2) de fijación, que apoya y va fijado sobre el panel de base (1);
- una bandeja (3) que va montada sobre el soporte (2) de fijación;
- 10 - una rejilla (4) que va montada sobre la bandeja (3), cubriéndola;
- un colector (5) en el que vierte la bandeja (3), que va dispuesto entre dicha bandeja (3) y el soporte (2) de fijación y va montado en dicho soporte (2);

15

cuyo soporte de fijación está compuesto por columnas (11) perpendiculares al panel de base (1) y tabiques (12) que discurren entre cada dos columnas consecutivas; y cuyo panel de base (1) y bandejas (3) se apoyan perpendicularmente en sentidos opuestos y se fijan sobre las columnas (11) del soporte (2); y cuyo colector (5), que es de estructura tubular, va montado en posición paralela al panel de base (1), entre escotaduras (13) de dos tabiques (12) paralelos y opuestos del soporte y dispone superiormente en su pared de una ventana longitudinal (25) a la que va conectada una abertura central (22) que presenta la bandeja (3) en el fondo.

20

25 2. Unidad según reivindicación 1, **caracterizada** por que el panel de base (1), la bandeja (3) y el soporte (2) son de contorno cuadrado, coincidentes en el panel de base (1) y bandeja (3) y de menores dimensiones en el soporte (2).

30 3. Unidad según reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que el panel de base comprende un cuerpo central (6), un marco inferior (7), un marco superior (8) de refuerzo, y cuatro casquillos (10) alojados en otros tantos pasajes (9) que atraviesa el cuerpo central (6) y marcos (7 y 8) para el paso de tornillos de fijación a la estructura (16) de la cubierta.

35 4. Unidad según reivindicación 1, **caracterizada** por que el soporte (2) está compuesto por cuatro columnas (11) situadas en los vértices del contorno, y cuatro tabiques (12) que discurren entre dos columnas y presentan, a partir de su borde superior, una escotadura (13) central.

40 5. Unidad según reivindicación 1, **caracterizada** por que la bandeja (3) presenta una pared periférica (18), de contorno coincidente con el del panel de base (1), un fondo definido por dos zonas planas (21) y cuatro planos inclinados (20), con inclinación descendente a partir de las paredes, que concurren hacia la abertura central (22), disponiendo en las zonas planas (21) de orificios (19) coincidente con las cazoletas (14)

45 de las columnas (11) del soporte (2), para el paso del tornillo (23) de fijación a la estructura de la cubierta.

50 6. Unidad según reivindicación 1, **caracterizada** por que el colector (5) es de configuración cilíndrica de longitud igual al lado del panel de base (1), de diámetro aproximadamente igual al de las escotaduras (13) de los tabiques (12) del soporte (2) y va abierto por sus extremos, rematados en bridas periféricas (24) con orificios coincidentes.

7. Unidad según reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que las columnas (11) del soporte (2) llevan embutidas en sus extremos cazoletas roscadas superiores e inferiores (14 y 15), las inferiores de las cuales quedan enfrentadas a los casquillos (10) del soporte de base (1) y las superiores (14) a los orificios (19.) de las bandejas (3).

5

8. Unidad según reivindicación 5, **caracterizada** por que la pared periférica (18) de la bandeja presenta orificios (19) para el paso de tornillos (33) de unión entre bandejas consecutivas, con interposición de una junta de estanqueidad (29).

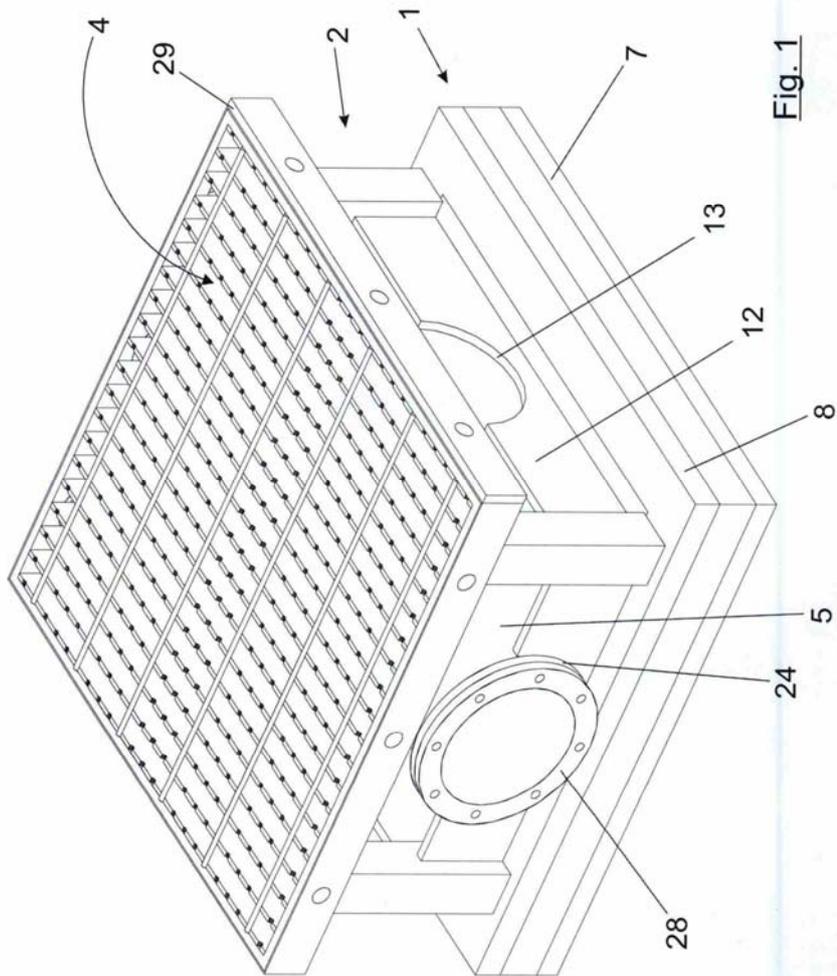
10

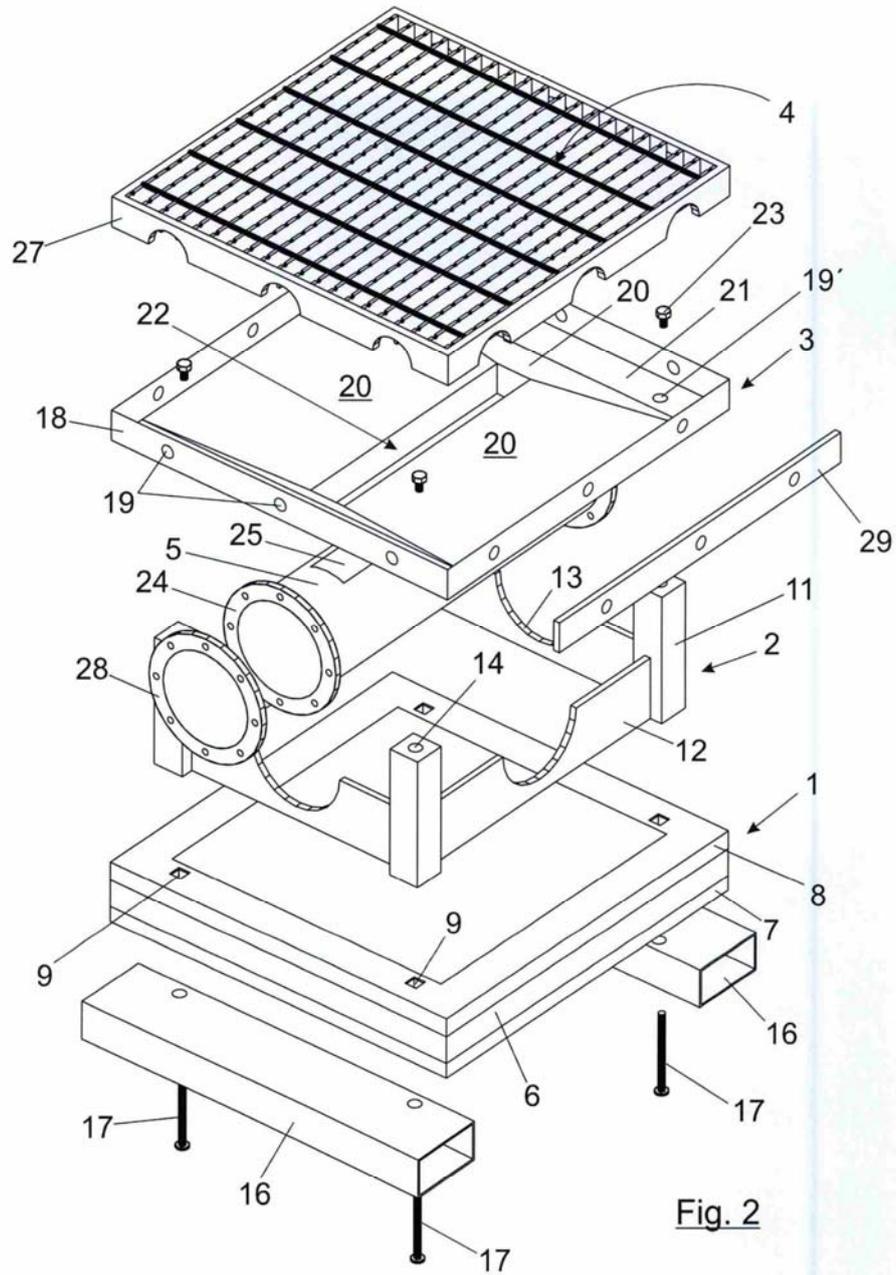
9. Unidad según reivindicación 8, **caracterizada** por que comprende además cubrejuntas lineales (30) acanalados que se disponen cabalgando sobre paredes adosadas de bandejas consecutivas, cuyos cubrejuntas disponen en sus paredes de orificios (32) enfrentables a los orificios (19) de las paredes de las bandejas para el paso de los tornillos (33) de unión.

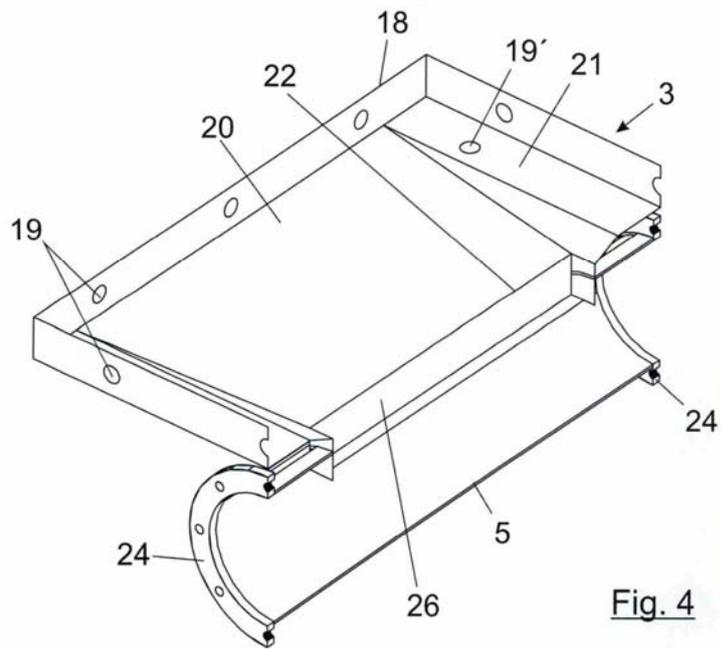
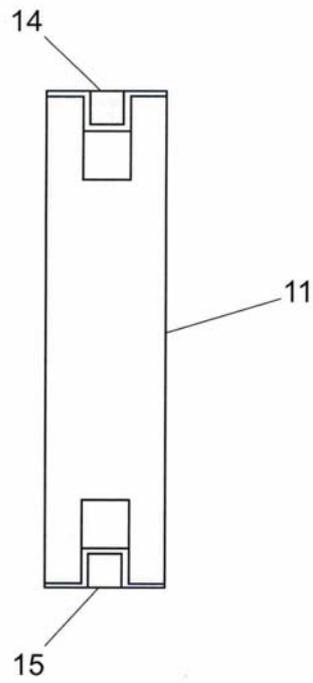
15

10. Unidad según reivindicación 8, **caracterizada** por que en los encuentros entre cuatro bandejas se disponen cubrejuntas en cruz (30') de brazos acanalados dotados en sus paredes de orificios (32) enfrenta bies a los orificios (19) de las paredes de las bandejas, para el paso de los tornillos (33) de unión.

20







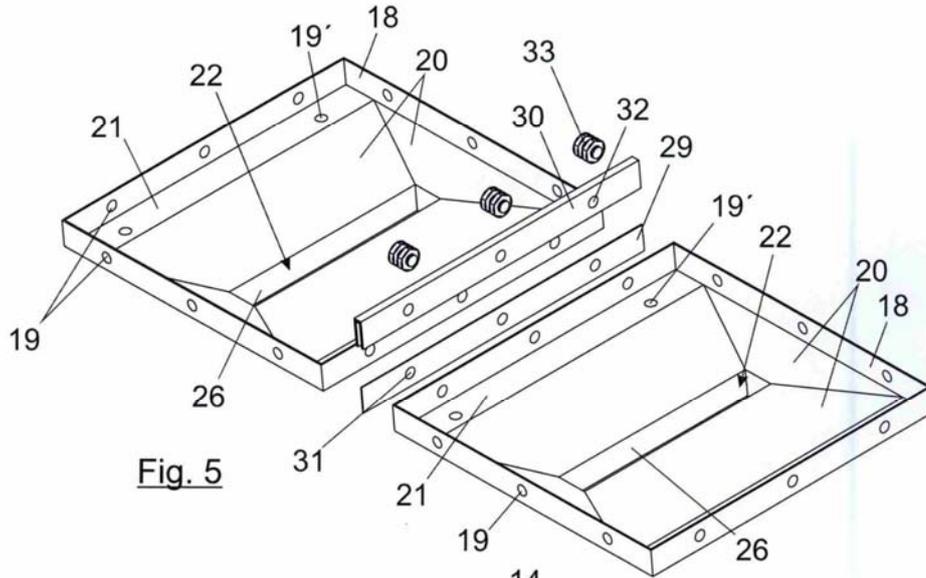


Fig. 5

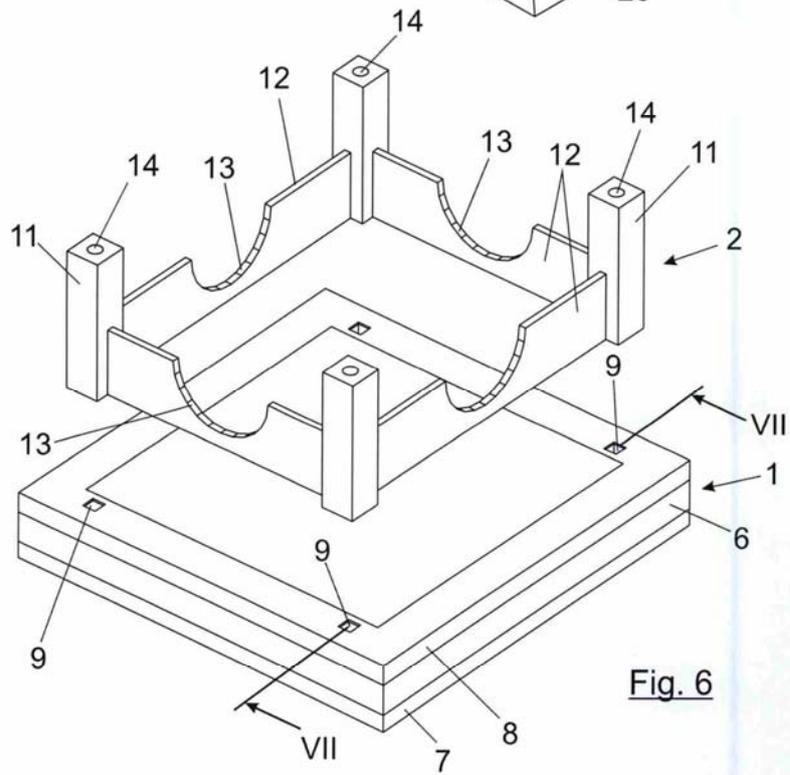


Fig. 6

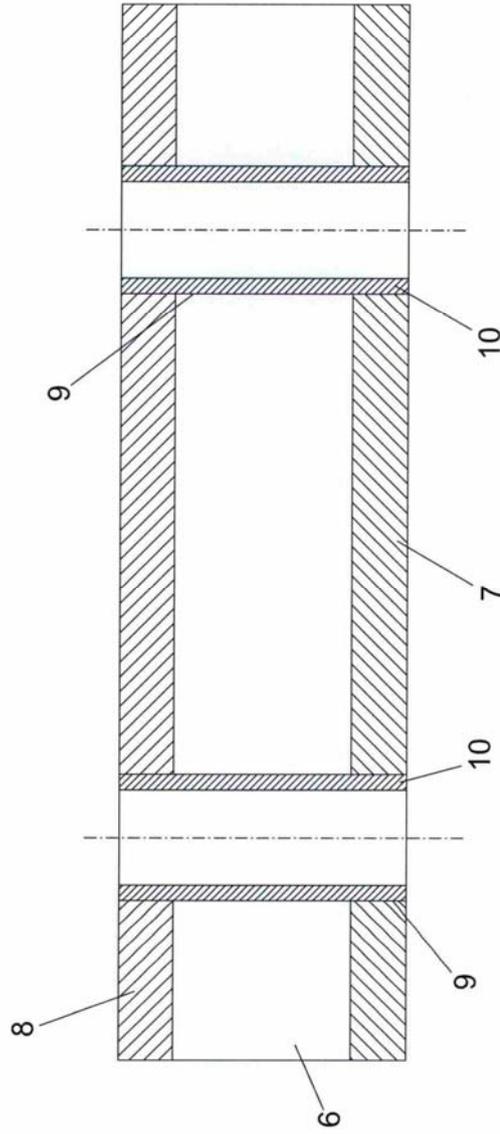


Fig. 7

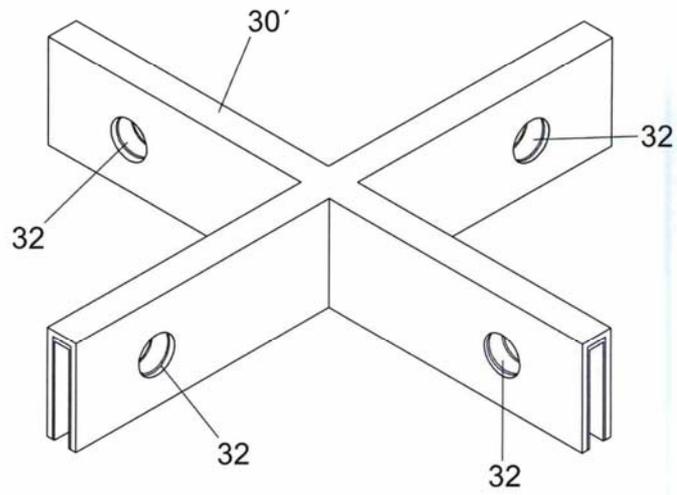


Fig. 8

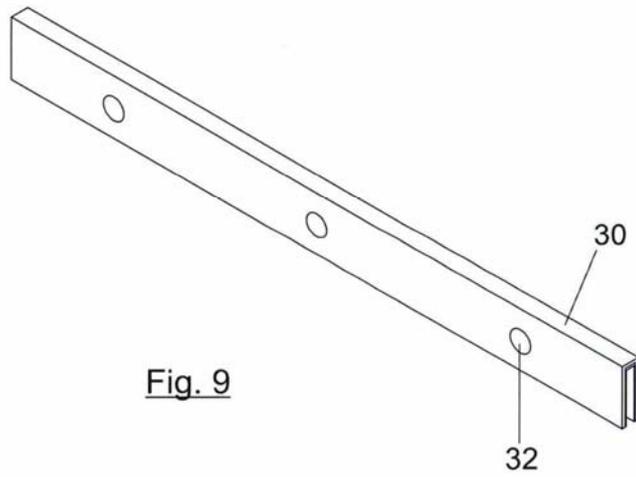


Fig. 9

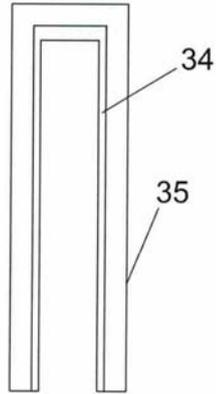


Fig. 10

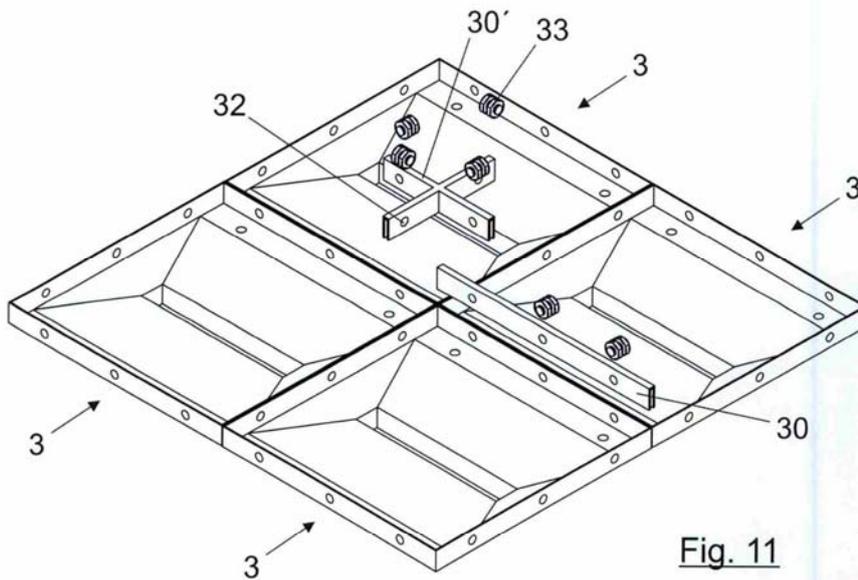


Fig. 11



- ②① N.º solicitud: 201601071
 ②② Fecha de presentación de la solicitud: 09.12.2016
 ③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **E04D13/04** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 4065883 A (THIBODEAU LEO THOMAS) 03/01/1978, Columna 1, línea 56 - columna 3, línea 22; figuras.	1,4,5,8,9
A	MX 2016000054 A (AHLMANN ACO SEVERIN) 09/03/2016, resumen; página 8, línea 22-página 9, línea 20; página 11, líneas 11- 22; página 13, Línea 21 – página 15, línea 18; figuras 1,3-5.	1,4,5
A	US 2518620 A (NORMAN HUGHES EDWARD) 15/08/1950, columna 3, líneas 72-75; columna 4, línea 48- columna 5, línea 3; figuras 1, 2,4.	1,6
A	EP 2404497 A1 (OTSUBO TERUTO) 11/01/2012, Párrafos [0013]-[0015], [0034]-[0037]; figuras 1-6,16-20.	1,2
A	JP H1175568 A (KYODO KY TEC KK) 23/03/1999, (Resumen). [en línea][Recuperado el 12/04/2017]. Recuperado de: EPODOC/EPO Database; figuras 1-5, 25-32.	1,2,8-10

Categoría de los documentos citados

- X: de particular relevancia
 Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
 A: refleja el estado de la técnica

- O: referido a divulgación no escrita
 P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
 E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

<p>Fecha de realización del informe 17.04.2017</p>	<p>Examinador M. Sánchez Robles</p>	<p>Página 1/4</p>
---	--	------------------------------

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

E04D

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 17.04.2017

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-10	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-10	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 4065883 A (THIBODEAU LEO THOMAS)	03.01.1978
D02	MX 2016000054 A (AHLMANN ACO SEVERIN)	09.03.2016
D03	US 2518620 A (NORMAN HUGHES EDWARD)	15.08.1950
D04	EP 2404497 A1 (OTSUBO TERUTO)	11.01.2012
D05	JP H1175568 A (KYODO KY TEC KK)	23.03.1999

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El documento D01 (ver figuras y columna 1, línea 56 a columna 3, línea 22) divulga una cubierta transitable (ver figura 1) que comprende (ver figuras 2 y 3): un soporte de fijación (15); una bandeja (20) que va montada sobre el soporte de fijación (15); una superficie de suelo sobre las bandejas (20) formada por tablones (17) con rendijas (18) entre ellos que dejan pasar el agua a su través; un colector (28) en el que vierten las bandejas y que va montado en los soportes (15). Bajo los soportes (15) se pueden colocar paneles (31, ver figura 1 y columna 2, líneas 65-68). Los soportes (15) están formados por tabiques. Las bandejas (20) (ver figura 4) presentan una pared periférica (23) con orificios (26) para la unión al soporte y a las otras bandejas, y planos inclinados (21, 22, 25) para conducir el agua hacia el colector. Entre las bandejas (ver figura 6) se disponen unos cubrejuntas acanalados (30) cabalgando sobre las paredes adosadas de bandejas consecutivas.

A diferencia de la reivindicación 1 de la solicitud, este documento no contiene un panel base aislante, ni soportes compuestos por columnas perpendiculares al panel, ni un colector entre escotaduras de dos tabiques paralelos del soporte, y que tiene una estructura tubular al que va conectada una abertura central que presenta la bandeja.

El documento D02 (ver resumen; página 8, línea 22-página 9, línea 20; página 11, líneas 11- 22; página 13, línea 21-página 15, línea 18; figuras 1,3-5) contiene una unidad de desagüe de superficies transitables que comprende unos soportes (96, ver figuras 3 y 5) compuestos por columnas de fijación sobre una base; una bandeja (10) que se apoya sobre las columnas (96); una rejilla montada sobre la bandeja (10) cubriéndola (ver página 11, líneas 11-22); un colector (80) en el que vierte la bandeja, que va dispuesto bajo la bandeja y entre los soportes, y que va conectado a la bandeja por una abertura central (82) que presenta la bandeja (10) en el fondo.

El documento D03 (ver figuras 1,2,4; columna 3, líneas 72-75; columna 4, línea 48- columna 5, línea 3) muestra un drenaje de una superficie exterior (ver figura 1) compuesto por unidades de alcantarillas conectadas (1 a 11), en las que cada unidad comprende una rejilla superior (32, ver figura 2) sobre un cuerpo soporte que comprende una bandeja inferior (20, ver figura 4) y unas paredes verticales soporte con escotaduras (26 a 29) sobre las que va montado hacia afuera un colector tubular.

El documento D04 divulga (ver figuras 1-7, 16-20; resumen; párrafos [0013]-[0015], [0034]-[0037]) una cubierta vegetal con una estructura reticular (ver figuras 1, 2 y 17-20) de unidades de bandejas (13, ver figura 3) que van montadas sobre unos soportes o columnas (6).

El documento D05 contiene (ver resumen y figuras 1 a 5, 25 a 32) una superficie vegetal de cubierta de un edificio con una retícula de unidades contiguas formadas (ver figura 5) por bandejas (7) que superiormente tienen un filtro (3) e inferiormente unos orificios (6), y que a su vez están sobre otras bandejas o colectores (28). Los bordes entre bandejas contiguas tienen cubrejuntas (figura 31) acanalados invertidos y en cruz.

A la vista de los anteriores documentos citados del estado de la técnica anterior se considera que la invención definida en las reivindicaciones de la solicitud no se encuentra comprendida en el estado de la técnica anterior por lo que es nueva (Art. 6.1 LP 11/1986), ni resulta evidente para un experto en la materia por lo que tiene actividad inventiva (Art. 8.1 LP 11/1986).

Apéndice B. Artículo en revista indexada del JCR. *Advances in Civil Engineering*. “Design of Flexible Structural System for building”.

Design of Flexible Structural System for building customize.

Authors: Diego Lozano, Ángel Martín, Miguel A. Serrano, Carlos López-Colina

Department of Construction, University of Oviedo, Campus de Gijón. Spain.

Diego Lozano l7architecture@gmail.com , Ángel Martín martinangel@uniovi.es ,

Miguel A. Serrano serrano@uniovi.es, Carlos López-Colina lopezpcarlos@uniovi.es

Abstract.

The main aim of this research work is to design a structural system for building customize, through simple industrialized components. The system is able to adapt to different orthogonal geometries and presents the necessary flexibility to allow modifications over the structure of the building throughout its life.

The so named ‘flexible structural system’ (FSS) is characterized by using only small industrialized components, handled by one person which exhibit an easy and simple assembly. The new system proposes the use of just two different pieces named Basic Units (BUi) with only two possible thicknesses for any of them. The system is composed of only 5 different pieces.

The generating process of the structural system is based on different combinations of the Basic Units (BUi) to obtain Resistant Members (RMn). These Resistant Members allow to build structural Frames (F) and finally the addition of structural frames allows to generate diaphanous volumes (DV) obtained the desired structure for the building.

The limit of structural length is set at 4.8 meters.

Finally, an example is shown where a structure for a diaphanous volume is obtained, using the referred industrialized elements. This shows that the system is systematic and easy to understand by users.

We want the users themselves to design and build their own home as well as make the necessary modifications throughout the useful life of the building. This is the final objective.

Keywords: Industrialized building, modularity, building design, industrial product design, “do it yourself”.

1. Introduction

1.1 Introduction to industrialized construction level two headings

Para Today's society has a clear trend to consume products manufactured in large quantities and therefore relatively inexpensive, but at the same time the option of customizing these products (mass customization) is also increasing. The actual society no longer recognizes a 'long useful life' for products, but rather the fulfilment of a life cycle perfectly adapted to a particular product. In this life cycle variables such as the continuously changing trends, the economy or the fashion have influence, in addition to the innate quality of the product itself (Smith 2011).

There is currently a global market, therefore products manufactured in a specific place can be used anywhere in the world. So if someone intends to design products to be used by consumers in remote places (Khalfan 2014), sometimes with different cultures, it will find it really difficult especially if it wishes to introduce a customization criterion (Mokhtariani 2017).

In a general design process it may be of great interest to introduce the concept of 'Do It Yourself ' (Wolf & McQuitty 2011) since this approach will allow that the consumer by himself is involved as a basic part of the product creation process and thus to achieve that desired customization.

The starting point is the assumption that we are pleased to create, or as Johan Huizinga (Huizinga 2000), said 'the instinct play to build, this must be the great incentive to explode in the 21st century'. So we delight to be able to use products whose final design have been made by ourselves, but at the same time, we also want that this process of 'creation' is very simple, easy and cheap (Liang 2017).

It is considered that the instinct 'play to build' must be the great incitement to be exploited in the 21st century. Nowadays, there are some clear samples of this trend and it can be seen that some very well-known companies like IKEA (Norton 2012) and LEGO have perfectly assumed this idea and their main stream is based on this 'do it yourself'.

If these concepts are moved to the construction scope, the self-construction concept can be established as a process by which we could build our own homes, or at least some parts of them, with a high degree of customization, at a reasonable price and very important, being easy of assembly. This concept would require the use of industrialized components that present the characteristic of 'Ready to assembly'.

With this research it is intended to make flexible and to extend the self-construction concept not only to reach the self-manufactured housing, but also to be able to convert the housing over the time to adapt it into the specific needs during its life cycle. A relation home - user can be looking for that reflects the character of the further that best suits the needs of the moment. Then, and at this very moment, a new form of housing will be have imagined.

1.2 Proposal of a Global System for Flexible Construction to industrialized construction

1.2.1 Objective

The main aim is to be able to build a building using industrialized components (Gershenson 2003), whose assembly can be performed by the own users allowing them adapting to their future needs throughout the life cycle of the aforementioned construction.

Obviously, it is necessary to define some limitations regarding the proposed Global

System of Flexible Construction, in such a way that its conception is more practical, systematic and approachable. These limitations are:

- Buildings with 1 or 2 floors
- Low or medium live loads
- Maximum span of 4.8 meters
- Maximum height of 3 meters by storey

The potential use of these buildings could be:

- Buildings Residential
- Temporary and/or seasonal buildings
- Educational buildings
- Health building
- Other uses. Singular buildings

1.2.2 General requirements of the Global System of Flexible Construction.

The aim is to design a building system based on the following characteristics:

- (1) Set of independent components clearly defined (Kursiak 2002) (product catalog)
- (2) Countless possible combinations between these components.
- (3) Easy and systematic assembly and disassembly.
- (4) Dry construction
- (5) Unskilled labour. Ready to assembly (Yadollahi 2014)
- (6) Light and easy to handle by one or two persons.
- (7) Execution following a basic instruction manual (friendly computer app)

The general concept of the Global System of Industrialized Construction is based on:

'Using a finite set of different industrialized components, with assembly compatibility between them, we can combine them n-times to obtain the desired construction'.

1.2.3 Spatial modelling

For the development of this system, the starting point is a modelling according to which each and every one of the proposed buildings will be associated with a volume orthohedron (orthogonal parallelepiped) or set of orthohedrons that may be interacting with each other. See figure 1.

The orthohedron will be limited by an outer covering supported by a structural system (SSF) and with a diaphanous and empty interior 'shoe box'.

This modelling in orthohedrons allows obtaining the following geometric characteristics:

- 6 faces that always will be rectangular
- 8 equal corners
- 12 equal edges
- Angles of 90° in all plane intersections

On each of the 6 proposed faces of a primitive orthohedron, it is possible to attach some new orthohedrons, to obtain an addition of volumes that will constitute the required building.

A new premise is added to these orthohedrons, according to which the dimensions will follow a dimensional order based on a 6M modulation (M = 100 mm) (ISO 1983), (ISO 1989).

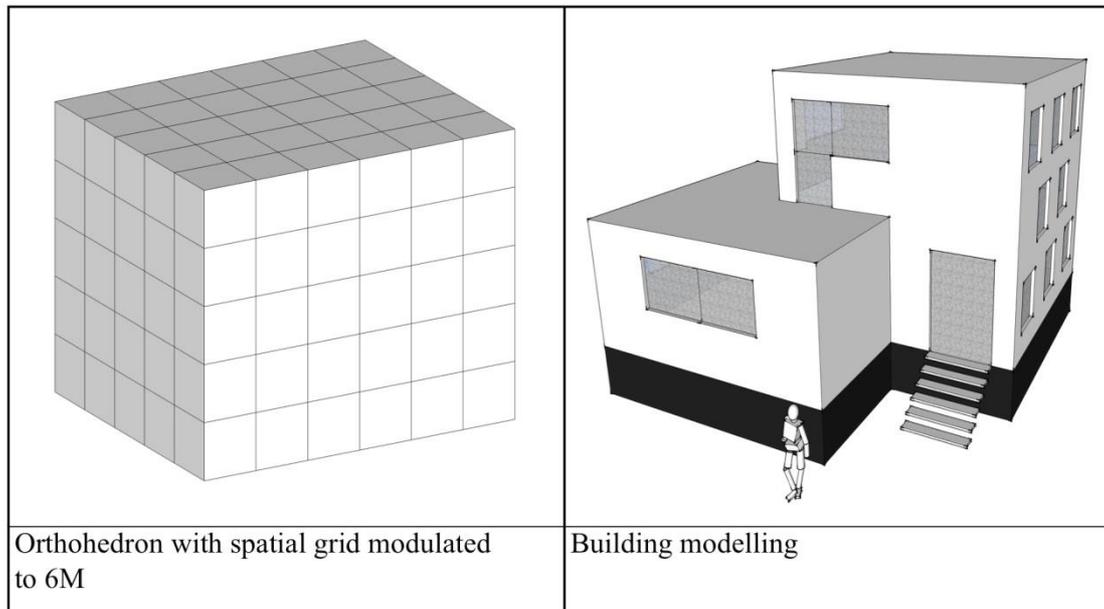


Figure 1. Model of building generated by orthohedrons (orthogonal parallelepipeds)

1.2.4 Dividing the Global System of Industrialized Construction in specific systems

Taking into account the great complexity of the elements that may appear in an entire building, it seems reasonable to divide this Global System for Flexible Construction in several more specific systems, among those that can be found:

- (1) For Foundations (Spain. Patent No: ES 2 568 328 B2)
- (2) Flexible Structural System
- (3) External board-External wall coverings
- (4) Internal board-Internal wall coverings
- (5) Roof (Spain. Patent No: ES 2 610 203 B2)
- (6) Spaces and pipes for facilities
- (7) Stairs
- (8) Removable walls
- (9) Connections and seals

(10) Etc.

A basic condition is required that all the specific systems described are interrelated, so that as a whole they constitute a global system. Therefore the dimension of modular and dimensional coordination will be maintained in all of them with a value of 6M (ISO 1983), (ISO 1989).

The main aim of this work is the design of the Flexible Structural System.

2. Flexible Structural System.

2.1 Proposal of the Flexible Structural System.

Possibly in the traditional construction, the structural system has been conceived as something totally static and invariable in time, throughout the life of a building. Now it is the moment to try to break this barrier.

The Flexible Structural System 'FSS' emerges as a solution to the attempt of obtaining a structural system that supports a great adaptation to multiple constraints of volumetric design, as well as the possibility of making easy and affordable changes in the structure of a building, throughout its life (Mesa 2017).

The adaptation of the structural scheme to the use variations is the main characteristic of the proposed system and therefore it is the idea that this work would wish to transmit (Zhang 2017).

This structural flexibility is conceived as the ability to

- (1) To create many different volumes structurally related.
- (2) To be able to increase or to reduce the current volumes.

- (3) Easy assembly and disassembly of any industrialized component.
- (4) To be able to execute an opening on walls and floors in the defined volume:
 - Vertical wall: doors, windows.
 - Horizontal floor: opening for stairs
- (5) To generalize the connection systems.
- (6) To design the minimum number of different industrialized components.
- (7) To use light components at a human scale. (manageable by one or two people)

In general, the design of a new building project requires initially to define a structural typology (including the foundation system) to continue later with other industrialized elements of each of the specific systems commented above.

However, it is important to note, that thanks to the structural system the master lines of construction are drawn, allowing defining and establishing the volumes. Therefore a good design of the Flexible Structural System 'FSS,' will determine the success or failure of the proposed new constructive method.

The dimensions of the components of the flexible structural system follow a dimensional order based on a modulation 6M (M= 100 mm).

2.2 Specific background for the Flexible Structural System

Having a look on general industry and more specifically in the construction of industrial storage systems, it can be seen that there are industrial shelving systems that present very peculiar characteristics that are interesting for the construction industrialization (see figure 2) and are of great interest for this research work.

The systems of industrial shelves generally consist of the use of a few steel members, as

beams and columns allowing many assemblies among them through connectors with the aim of constituting a storage system. One of the most interesting characteristics is that they allow storage adapted to the needs of the required industrial activity (Liu 2015).

Among the general characteristics that can be highlighted for these storage systems are:

- Finite and small set of different industrialized components
- Adaptability to volumes
- Joint simplicity
- Lightweight components
- Ease of assembly and disassembly



Figure 2. Structural flexibility with shelving systems.

In addition, these systems of shelving have evolved to become a single system for both the storage part and the structural system of the building. This concept is already known as self-supporting systems. See figure 3.

These concepts of industrial shelving have been one of the sources of inspiration for the proposal of the flexible structural system.



Figure 3. Structural system of self-supporting shelves, for the construction of a building

2.3 Main characteristics of the Flexible Structural System (FSS)

The main characteristic of the FSS is that it uses the same structural profile for any generation of a structural model, maintaining constant the external cross section of the profile. See figure 4. This characteristic allows and facilitates all the required assemblies.

Furthermore an optimization of the required structural material is achieved just varying the thickness of the profiles. However, to cover the intention of the system's versatility, only 2 thicknesses of profiles are proposed, since increasing their number would make assembly difficult for non-skilled people. The most suitable material to comply with these characteristics is the cold formed steel profiles.

The general conception of the flexible structural system (FSS) is based on establishing a series of staggered concepts, so that starting from a pair of initial components, which will be named structural generating couple and combining them, diaphanous volumes may be created.

The staggered concepts to be established and developed are:

- (1) Structural generating couple (2 basic units).

- (2) Member resistant
- (3) Frames (Wall frames and beam frames)
- (4) Diaphanous volume
- (5) Structural scheme for the diaphanous volume

2.3.1 Geometry of the proposed profile

The proposed section is a square one with longitudinal channels in any external face and with the external dimensions of 120 x 120mm. (See Figure 4).

The section arises as a result of trial and error after considering many combinations, where the easy connection of different components was a priority, as well as their easy coupling and decoupling within a structural scheme already defined and seeking that the interference between components was minimal. Another priority was to do it with a reduced number of pieces to make the system as versatile as possible.

The bigger difficulties arise in situations of dismantling and especially in singular points such as corners and both external and internal edges. Finally after many proofs the final design for the cross section was reached. Figure 4 shows this proposed cross section.

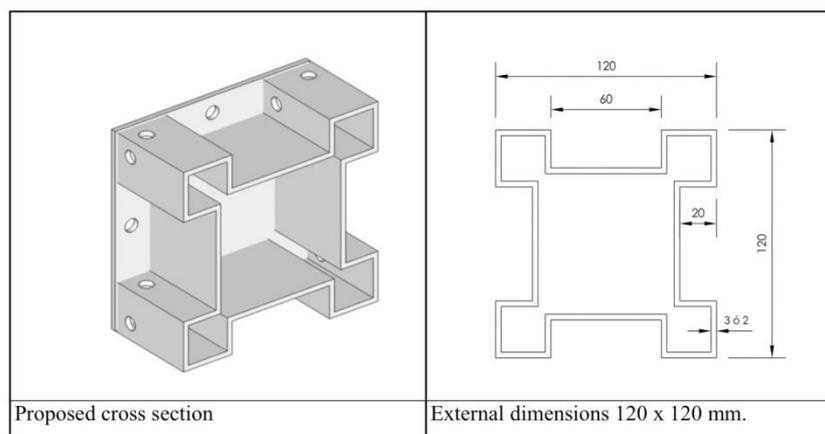


Figure 4. Proposed cross section. External dimensions 120 x 120 mm.

2.3.2 Material optimization

In general, given the different demands of building actions (self-weights, live loads, wind, etc.) the different structural elements will require optimizing their section. As the FSS had imposed that the external dimensions of the profile will be kept constant only the thickness of the profile may be modified. In order not to extend the final number of pieces and to simplify the execution process, only two thicknesses are proposed:

- Small thickness = 2.0 mm denoted by green colour.
- Big thickness = 3.0 mm denoted by red colour.

It is a little bit "rough" optimization at a structural level but for the flexible structural system the simplicity of components and their easy assembly must be more important than to handle a high number of different pieces with different thicknesses although more optimized structurally speaking.

This paper is focussed in the conceptual design of the proposed system, therefore some data, such as those related to thickness, are derived from initial calculations that are included in section 4.3 'Reliability analysis of the structure'. It is worth to mention that the whole research is in progress and a next step is to prepare a full scale prototype including the connections, that will be experimentally tested in the laboratory to verify the reliability of the system and, if necessary, to correct it to achieve its viability. The test results also will help to validate the numerical model that will allow, if necessary, to carry out more precise calculations.

2.3.3 Qualitative characteristics of the proposed

The most important qualitative characteristics of the profile are:

- (1) Easy to manufacture. The profiles will be manufactured in cold formed steel

following an ordinary forming process to obtain the desired cross section. Despite being a hollow section, its shape is not complex to be manufactured since the current folding technology allows producing these in continuous and fast processes. This easy manufacturing process will allow cost reduction.

(2) The optimization of structural sections is achieved varying the wall thicknesses of components for the resistant members. As above commented just two thicknesses are proposed while the outside dimensions of the cross section remain constant.

(3) The possibility to use the 4 faces of the profile. It is possible to attach different elements by an easy assembly over the 4 faces. This allows creating orthogonal 3D structures.

(4) Easy to assembly. The longitudinal outer channels in the proposed cross section, allow inserting the connection pieces, making it easy to form a plane joint among the components.

3. Components of the flexible structural system

3.1 Structural generating couple. Basic units (BU_i)

It is proposed a structural generator unit that is composed of two industrialized components that will be named 'basic units': BU1, BU2. See figure 5.

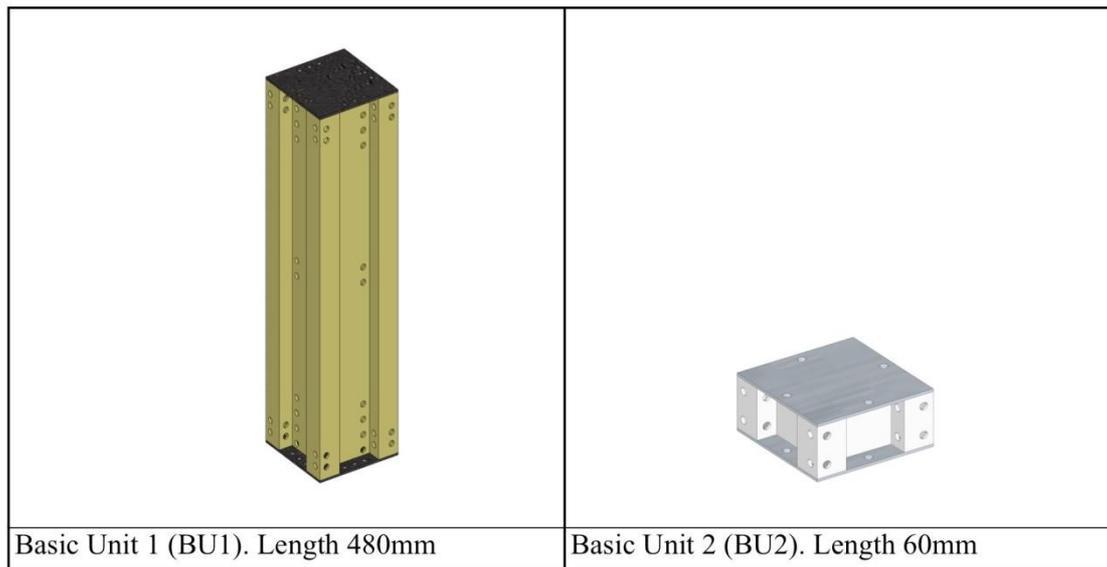


Figure 5. Structural generating couple (BU1, BU2)

The basic unit 1 (UB1) has the mentioned cross section and its length equals $24M/5$ (480 mm) with $M= 100$ mm (ISO 1040 UNE 41604: 1997).

The basic unit 2 (UB2) has the same cross section but its length is just $3M/5$ (60 mm).

These two basic units UB1, UB2 present the same cross section and their external dimensions are kept constant. In addition to complete these basic units the profiles include plates that are connected by welds on both ends of them. See figure 6.

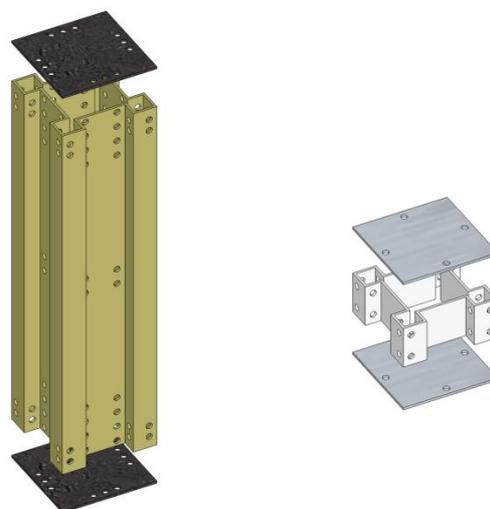


Figure 6. Forming the basic units: profile and closing plates

The plates present several hole in the middle of any of the four sides near to their edges that will allow the connection between these basic units.

Thus the proposal of the flexible structural system consists of having only these two simple elements that admit the possibility of a great number of combinations allowing generating the structural scheme for a building.

Furthermore, as above commented it is intended optimize the cross sections using just two thicknesses. According to this the flexible structural system (FSS) only would require 4 different industrialized components, namely (see figure 7):

- Basic Unit 1 (BU1) thickness $t= 2\text{mm}$ green colour
- Basic Unit 1 (BU1) thickness $t= 3\text{mm}$ red colour
- Basic Unit 2 (BU2) thickness $t= 2\text{mm}$ green colour
- Basic Unit 2 (BU2) thickness $t= 3\text{mm}$ red colour

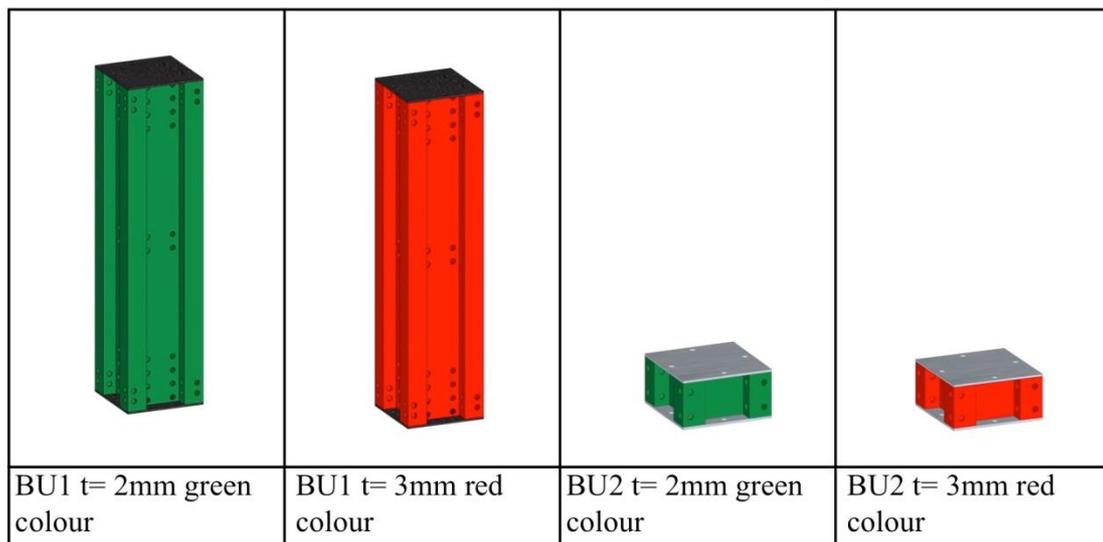


Figure 7. Basic units: BU1 and BU2, with different colours depending on their thickness

The described basic units allow the longitudinal direct assembly by means of joints with mechanical fasteners. The joint is very simple both in the assembly and disassembly

process. See figure 8.

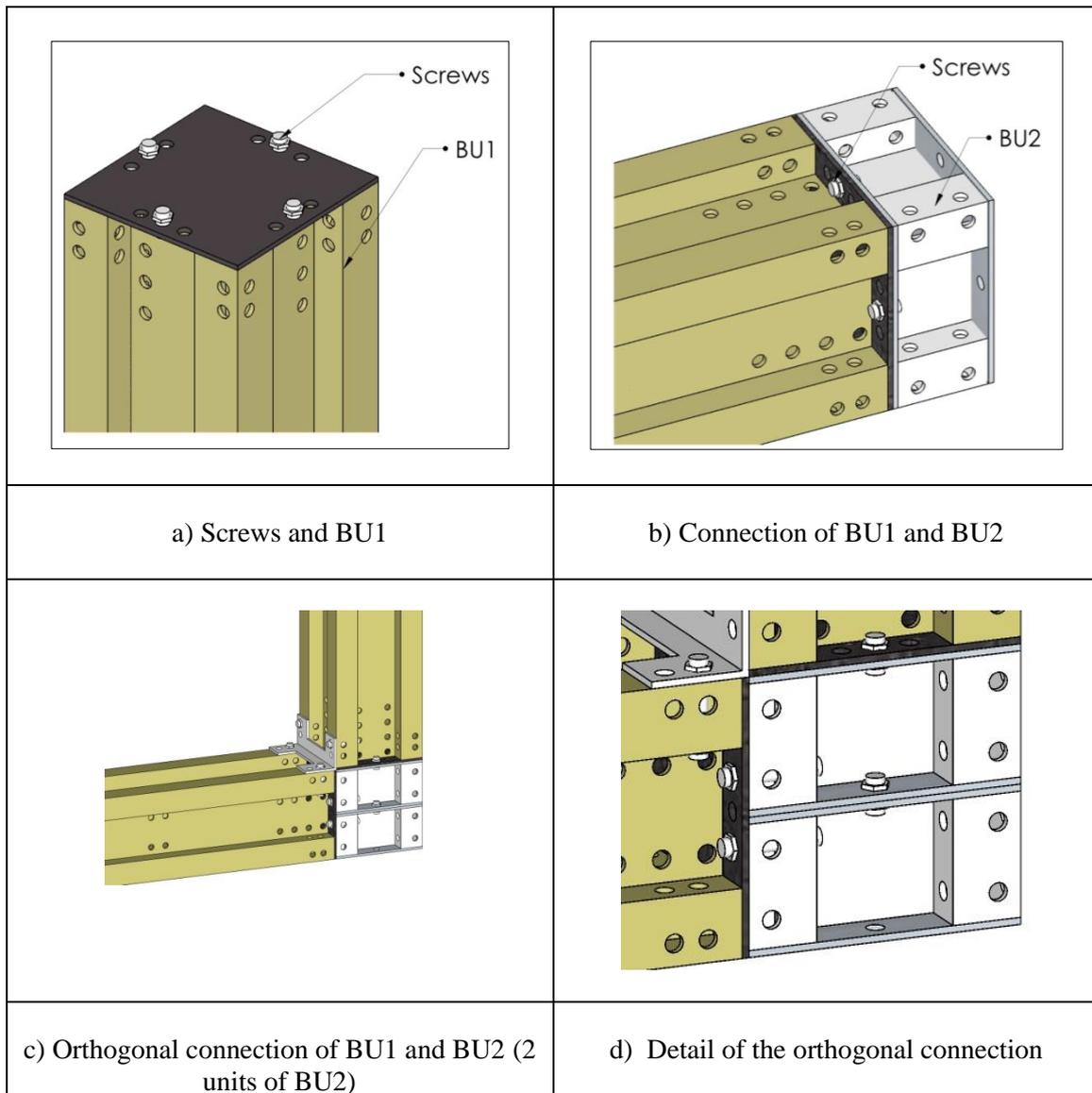


Figure 8. Connection of different basic units using mechanical fasteners.

3.2 Resistant member (RMn)

Now a new concept denoted ‘Resistant Member’ (RMn) is introduced. It can be defined as a specific and systematic combination of different basic units (BU_i). This combination is not random, but by making a series of predetermined combinations, which will allow to obtain a modulated length. The connection of the basic units to form resistant members is carried out longitudinally to the basic units.

The flexible structural system proposes the use of 10 resistant members that are denoted as: (RM_n) = (RM1), (RM2)...(RM10)

These resistant members will have a length determined by the values of an arithmetic progression

$$a_n = a_1 + (n - 1)d \quad (\text{Equation 1})$$

with:

a_n = general term of the series

$a_1 = 24M/5$, first term of the series

$n = 1, 2, 3...10$.

d = incremental value of $6M$

So the corresponding arithmetic progression will be

$$a_n = \frac{24M}{5} + (n - 1)6M = 480 + (n - 1)600 \quad (\text{Equation 2})$$

The first term of the series corresponds to the basic unit 1 (BU1) with a length of 480mm that is $24M/5$.

In the proposed flexible structural system only the 8 first values of the arithmetic series are considered. So one of the initial hypothesis that consisted of fixing the maximum span to 4.8 meters is being introduced.

The following terms of the series corresponds with the values of lengths for the 8 resistant members (RM_n) that are considered

- RM1 = 480 mm
- RM2 = 1080 mm
- RM3 = 1680 mm

- RM4 = 2280 mm
- RM5 = 2880 mm
- RM6 = 3480 mm
- RM7 = 4080 mm
- RM8 = 4680 mm

It can be seen (figure 9) that these resistant members are obtained by the addition of different basic units maintaining a rhythm of placement.

This rhythm of placement consist of adding to the previous resistant member (RM_n) two basic units 2 (UB₂) plus one basic unit 1 (UB₁), and so on. This can be written as

$$(RM_1) = 1 (UB_1)$$

$$(RM_2) = 1 (UB_1) + 2 (UB_2) + 1 (UB_1) = 2 (UB_1) + 2 (UB_2)$$

$$(RM_3) = 1 (UB_1) + 2 (UB_2) + 1 (UB_1) + 2 (UB_2) + 1 (UB_1) = 3 (UB_1) + 2 (2 (UB_2))$$

$$(RM_4) = 1 (UB_1) + 2 (UB_2) + 1 (UB_1) + 2 (UB_2) + 1 (UB_1) + 2 (UB_2) + 1 (UB_1) = 4(UB_1) + 3 (2 (UB_2))$$

In a general way it can be established that a resistant member 'n' (RM_n) is going to be formed by the following basic units:

$$(RM_n) = n(UB_1) + (n - 1)(2(UB_2)) \quad (\text{Equation 3})$$

It is easy to probe that a resistant member 'n' will need 'n' basic units 1 and '2(n-1)' basic units 2.

The 'n' number corresponds to the number of resistant members and may be n =1, 2...8. See figure 9.

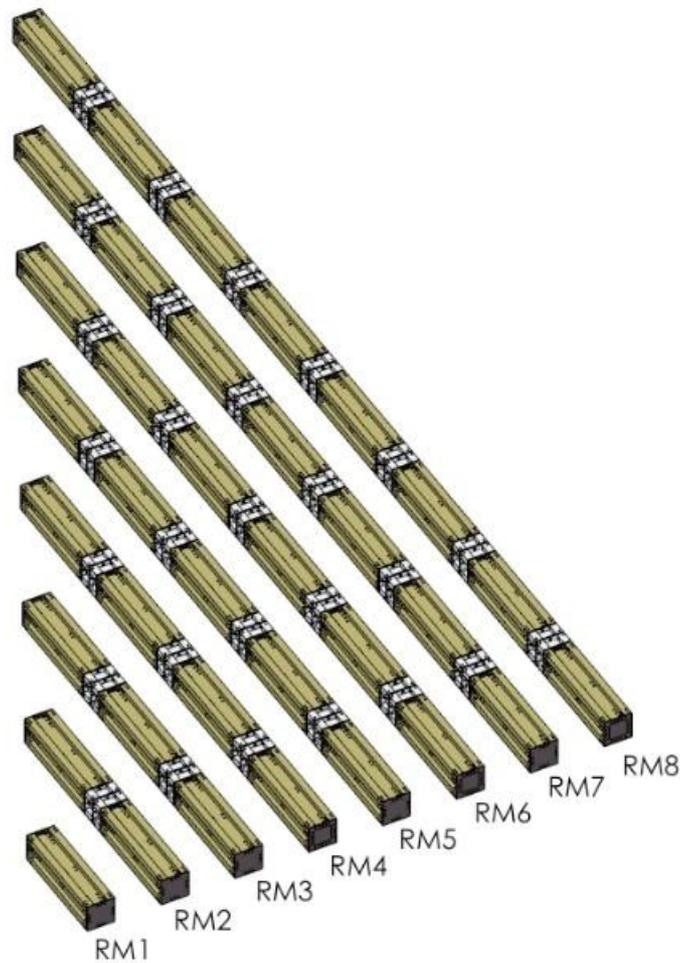


Figure 9. Modulated series of the 10 resistant members proposed by the flexible structural system. (RMn): RM1, RM2, RM3, RM4, RM5, RM6, RM7 and RM8.

It is important to highlight that these resistant members (RMn) will allow forming frames and will be able to be used both as columns and beams.

3.3 Joint components

Once a system of resistant members is established, it is needed a joining system that allows to carry out all the connections and disconnections in an easy and safe way. So some simple connections are going to be proposed. This will consist of holes on which trough screws can be put through the holes and also some special pieces that facilitate the joint system among orthogonal structural components.

The proposed connections for the flexible structural system are the following:

- Holes in the end plates of the basic units.
- Holes in the profiles for the Global System of Industrialized Construction.
- Framing square for orthogonal structural connection.
- Through screws with the corresponding nuts.

3.3.1 Holes in the end plates of the basic units

The holes in the end plates of the basic units are of great importance to be able to connect the basic units and therefore to form the resistant members.

The basic unit 1 (BU1) presents 3 holes by side that means $3 \times 4 = 12$ holes by plate and as there are two plates, there will be 24 holes in the BU1.

The basic unit BU2 only has 1 hole by side so that means 8 holes in total for this basic unit

3.3.2 Holes in the profiles

As seen in figure 6 the basic units present several holes along the profile that will allow carrying out the connections among different components by means of through bolts with the corresponding nuts

As above mentioned, the flexible structural system (FSS) is part of the Global System of Industrialized Construction, and therefore the proposed structure will have to support and attach the different systems of the building (external covering, roof, installations, etc.) so connections through these holes, distributed in the upper and lower parts of the basic units are proposed (see figure 6).

These assemblies of industrialized components, require to have a significant number of possible connections (initially we do not know ‘or how many, or where’), and therefore it is a necessary condition to present a large number of holes. These holes could or could not be used, but their presence guarantees the versatility of the system, similar to the conventional shelving systems.

The holes are distributed over the 4 faces of the profile (see figure 10). The location of these holes does not follow any mathematical relationship but is based on trial and error experiences for each and every connection, over 3D geometric models using the software SketchUp (SketchUp, 2017). A special consideration is needed for the components in corners and structural edges that impose their singularity causing an increase in the number of possible connections. The aim of presenting so many holes is to achieve the higher versatility with the elements used by the structural flexible system.

The number of holes for the basic unit 1 (BU1) in the profile can be summarized:

- Number of holes by longitudinal side of the profile in the bottom of channel:
 $8+8+4 = 20$ holes
- Number of holes by longitudinal side of the profile in the side of channel:
 $2+2+2+2 = 8$ holes
- Number of holes by longitudinal side of the profile in the upper face: $2+2+2+2 = 8$ holes.

Then there will be $20+8+8 = 36$ holes by every longitudinal side of the profile and $36 \times 4 = 144$ holes in each basic unit 1 (BU1) (See figure 10).

The number of holes in the transverse plates would be $3 \times 4 = 12$ by plate. As there would be 2 plates by any BU1, the number of holes in the transverse plates would be

$12 \times 2 = 24$ holes. Adding all the described holes, the total number of them by each basic unit 1 would be $144 + 24 = 168$.

In the same way it can be obtained the number of holes for every basic unit 2 (BU2) and the result would be 40 holes by any of them.

It is important to keep the same diameter in all these holes as it gives greater versatility. Therefore the proposal is that all these holes have a diameter of 8 mm.

The distance between holes was decided taking into account the possible connections over 3D geometrical models using the software SketchUp (SketchUp, 2017). The result was to propose two different distances depending on the holes location:

- For those holes in the bottom of the longitudinal channel the proposed distances among holes axis is 20mm.
- In case of holes on the channel sides and the upper sides the proposed distance is 15mm.

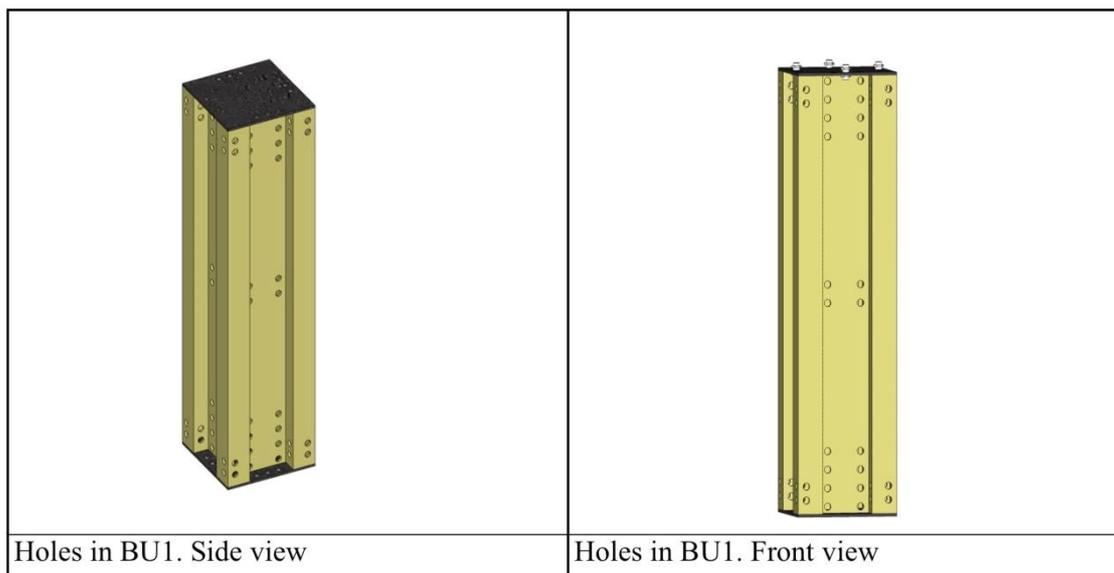


Figure 10. Holes for connections in Basic Units 1 BU1. Total number of holes: 168

3.3.3 Unique framing square

In order to achieve the different orthogonal joints, it is needed a new industrialized component that was named unique framing square and which turns out to be as a simple angle cleat profile, in which a series of conveniently distributed holes have been drilled. The joint is performed by means of through screws that connect the framing squares to the basic units and are fixed with the corresponding tightening nuts. The framing squares are connected by four screws (two by leg) in alternative positions in order not to interfere two perpendicular directions of them as can be seen in figure 11. Figure 11.a presents the dimensions of the framing square while figures 11.b, 11.c and 11.d show different type of joints and views using the unique framing square.

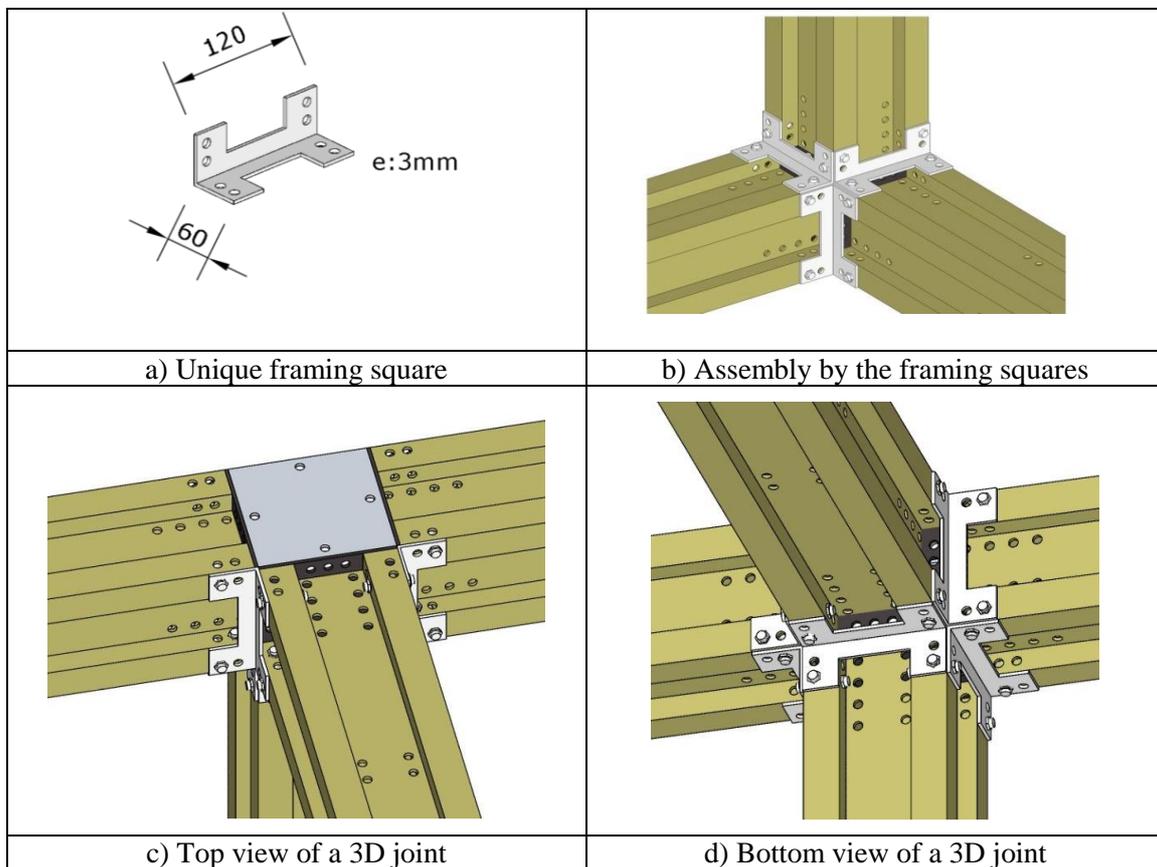


Figure 11. Joints performed by means of the unique framing square

3.3.4 Screws

The proposed geometry allows an easy coupling among the different basic units (BUi)

and therefore among the resistant members (RMn). This means an advantage for the flexible structural system since the type of joint is unique and all the assemblies are made in the same way.

The proposed joint allows it to behave as semi-rigid with different stiffness depending on the wall thickness adopted for the basic units and the position of the joint in the structure as proved below. However, the joint characterization and other design possibilities are not going to be considered in detail in the present work, since it is the topic of another research line now in progress.

The system requires a screwed bar with a diameter of 8mm with two nuts and two different lengths, depending on the pieces to be joined (see figure 12). They are proposed on Class 8.8 not preloaded, with a nominal yield strength $f_{yb}=640 \text{ N/mm}^2$ and nominal ultimate tensile strength $f_{ub}= 800 \text{ N/mm}^2$. The calculations proved that these proposed screws have enough shear, tension and bearing resistance to verify the limit states according to the code of design (CEN, 2005).

Therefore the flexible structural system requires two types of screws:

- Short screw: 8mm in diameter and 20mm length. It is used to connect the components in the longitudinal direction, for example to connect the basic units to form a resistant bar (see figures 8 and 12).
- Long screw: 8mm in diameter and 50mm length. It is mainly used to connect the orthogonal components using at the same time a framing square (see figures 11 and 12).

	
Short screw: 8mm in diameter and 20mm length	Long screw: 8mm in diameter and 50mm length

Figure 12. Screw and tightening nuts

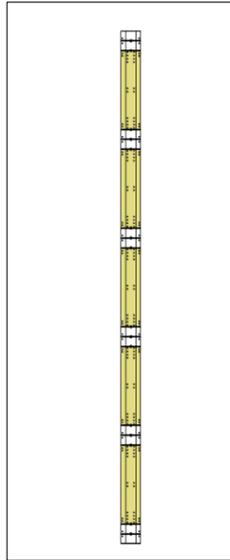
3.4 Frames

The flexible structural system is based on the formation of structural frames with an orthogonal geometry, using the previously described resistant members. A frame is going to be constituted by two resistant members arranged in vertical position that are named ‘columns’ two resistant members placed in horizontal position named ‘beams’. The columns will have a constant length while the beam may have a variable length.

In order to simplify the system and for an easy and immediate application an initial hypothesis is considered that consist of establishing the height with a constant dimensional coordination value of 30M. Therefore, all frames will have this height.

The constant height of any frame corresponds to the value established for the column. This column will be formed by the resistant member 5 (RM5) plus two basic units (UB2) connected at each end. Therefore the column will present a height of 3120 mm. See figure 13.

$$\text{Column length} = 2 (\text{BU2}) + \text{RM5} + 2 (\text{BU2}) = 3120 \text{ mm.}$$



Figures 13. Column with a total length of 3120 mm.

Once there is a column with a constant height, it is possible to start generating the different frames that will allow generating the system. To form the frames, a pair of resistant members (RMn) with the required dimension from the 8 of them above described in figure 9 are taken as beams on top and bottom of the frame and are connected to two columns as showed in figure 14.

The adopted name is related to the coordination dimension of the beam to be placed, since it is the only variable to consider. So we start by putting the letter 'F' corresponding to the frame and then the modular coordination dimension 6M, 12M...48M.

Now it is possible to start generating frames that the system allows, in such a way that if the resistant member 1 (RM1) is used as beam, the frame will have a span free of 480mm and it is named F6M. The frame F6M composed by two columns and two resistant members type RM1. In this same way the rest of frames can be formed. So the system allows the formation of 8 different frames that are listed below. See figure 18

- F6M = 2 Columns + 2RM1 = Span 480 mm. Coordination dimension = 600mm
- F12M = 2 Columns + 2RM2 = Span 1080 mm. Coordination dimension = 1200mm
- F18M = 2 Columns + 2RM3 = Span 1680 mm. Coordination dimension = 1800mm
- F24M = 2 Columns + 2RM4 = Span 2280 mm. Coordination dimension = 2400mm
- F30M = 2 Columns + 2RM5 = Span 2880 mm. Coordination dimension = 3000mm
- F36M = 2 Columns + 2RM6 = Span 3480 mm. Coordination dimension = 3600mm
- F42M = 2 Columns + 2RM7 = Span 4080 mm. Coordination dimension = 4200mm
- F48M = 2 Columns + 2RM8 = Span 4680 mm. Coordination dimension = 4800 mm

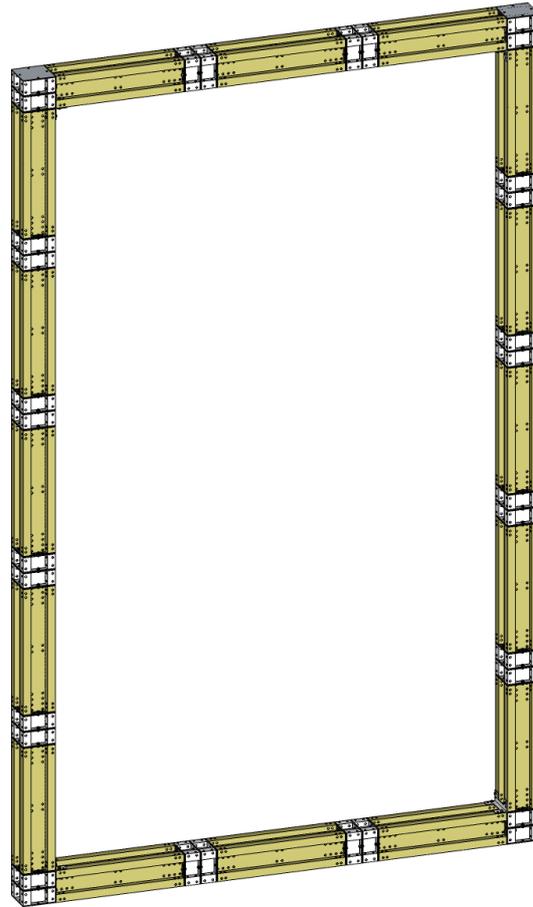


Figure 14. Frame F18M. Span 1680 mm. Modular coordination dimension: 1800 mm.

4. Generation of structural schemes with the Flexible Structural System (FSS)

From the two dimensional frames described in the previous section it is time now to generate structural schemes associated to volumes. To achieve this, the frames must be connected in order to form a 3D orthogonal structure.

The aim is to obtain a diaphanous volume as useful living space, supported by a simple, reliable and durable structure. To achieve this goal two types of frames are going to be established:

- Wall frames. Present a structural distribution around the diaphanous volume and are responsible for the load carrying through vertical planes.

- Beam frames. Responsible to cover the span and then for the generation of diaphanous internal space.

These frames would not be independent of each other, but would share the same elements of support or columns. These two types of frames would be distributed orthogonally, one with regard to the others. The main difference between wall frames and beam frames is their placement as they are distributed orthogonally.

Adopting a Cartesian 3D reference system (axis X, Y and Z) as in figure 15, the wall frames would be located around the perimeter and in this case they are parallel to plane XZ. These wall frames are not totally individual but they form series that share columns. Then the vertical structural scheme of the diaphanous volume is already available.

Later orthogonal beams are positioned on the wall frames, in such a way that they allow obtaining the diaphanous volume. These beams are placed on the columns that belong to the wall frames. It is clear that these beam frames are those that provide the diaphanous volume and therefore the useful housing space sought.

This orthogonal distribution of frames helps to set out a generation of volumes in a systematic way. In figure 15 it can be observed that for two parallel planes XZ, three continuous wall frames have been positioned corresponding to frames denoted as F18M, F18M and F12M. Also resistant members RM6 have been positioned as beams in the bottom and the top planes, forming in this way the beam frames corresponding to F36M. The beam frames share the columns with the wall frames.

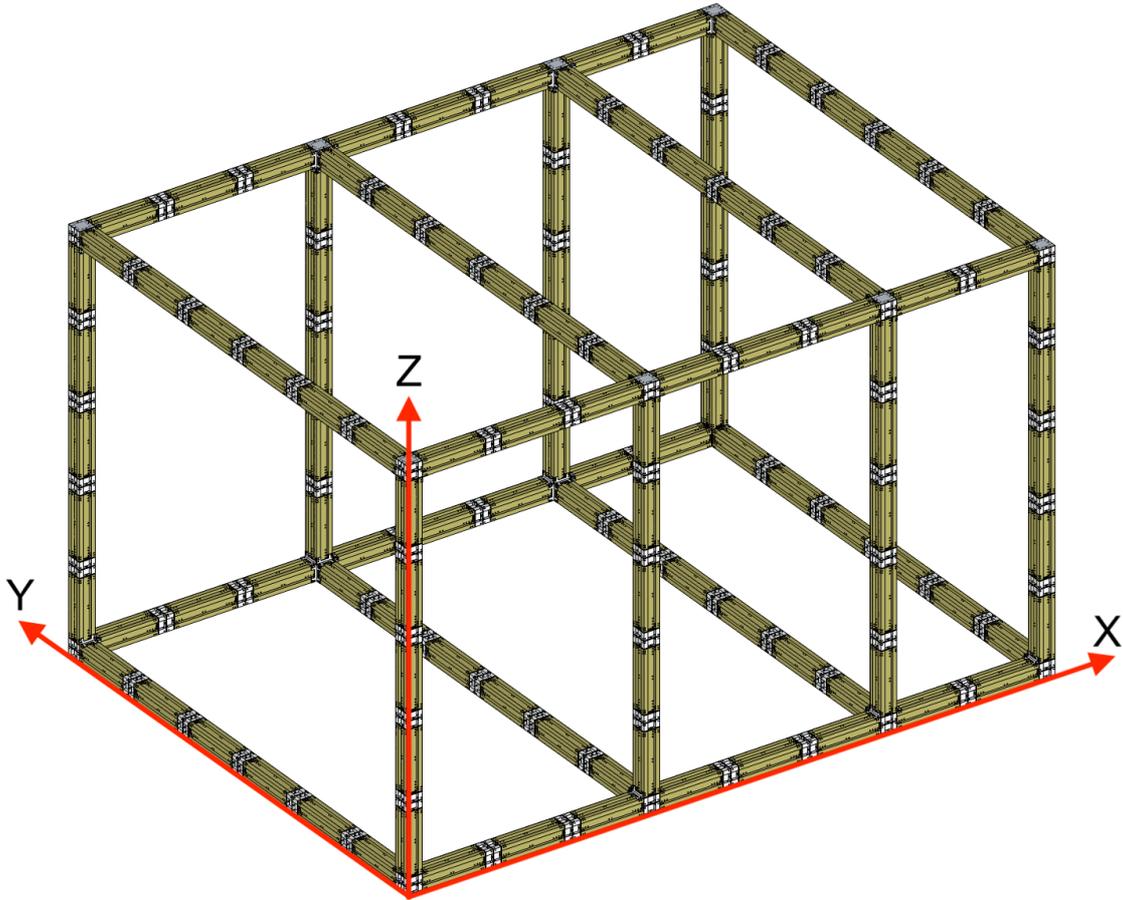


Figure 15. Volume generated by wall frames in 2 planes parallel to XZ plus beam frames in 4 planes parallel to YZ.

In figure 16 it can be observed the total diaphanous volume generated. The system allows generating volumes in any orthogonal direction.

- The wall frames positioned are: 2(F18M), 2(F18M) y 2(F12M) in two planes parallel to XZ
- The beam frames are: 4 (F36M) in four planes parallels to YZ

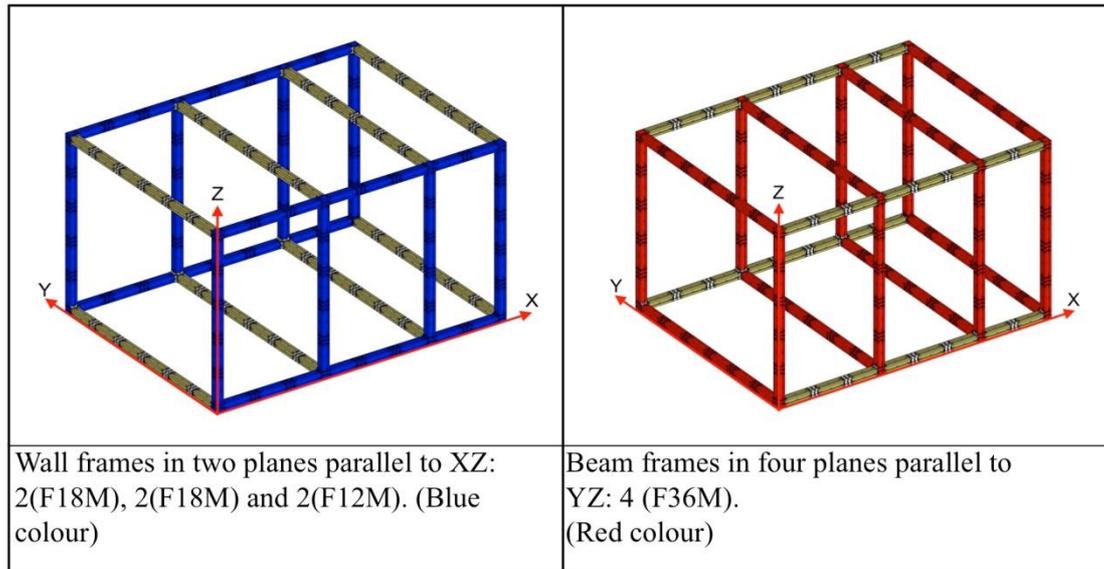


Figure 16. Wall frames and their corresponding orthogonal beam frames.

4.1 Wall frames used by the FSS

As above said the wall frames are the structural components that are distributed on the perimeter of the required diaphanous volume. They are similar to the load bearing walls of the traditional constructions.

The flexible structural system proposes the use of only the three types of wall frames of the series, i.e. F6M, F12M and F18M. (See figure 17).

It is important to note that the addition of wall frames does not imply the repetition of adjacent columns. When two columns coincide, the FSS proposes the placement of a single column (see figure 16). This is possible due to the flexibility of the proposed system since it allows the positioning of these elements according to a continuous addition. This continuous addition has the limitation of the greater wall frame that corresponds with the F18M.

Type of wall frames:

- F6M = 600 mm Coordination dimension

- F12M = 1200 mm Coordination dimension
- F18M = 1800 mm coordination dimension

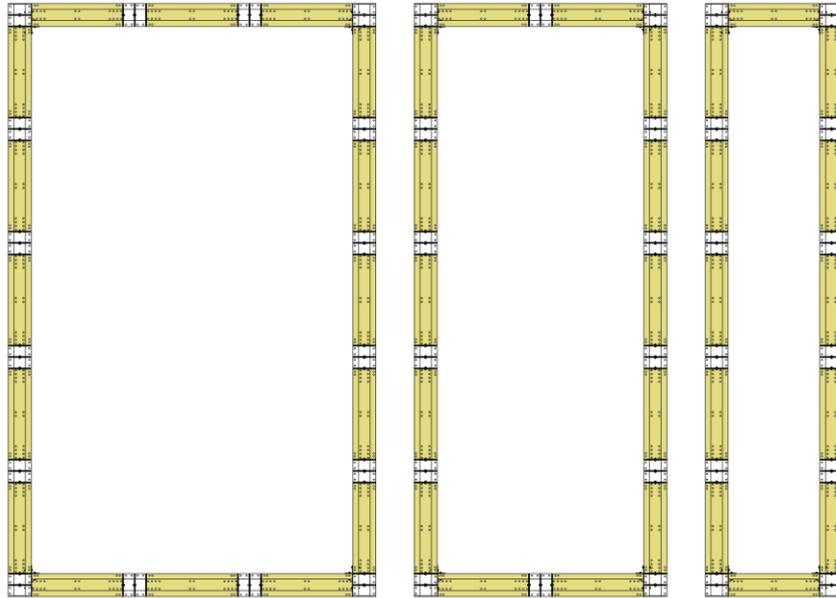


Figure 17. Wall frames: F18M, F12M and F6M

4.2 Available beam frames in the FSS

As above said when the wall frames are connected by beams (formed by resistant member (RMn)), the so called beam frame appears and it is possible to obtain any required diaphanous space. The positioning of the resistant members (RMn) corresponds with the closest column from the wall frame.

The proposed beam-column connections are made using mainly but not only framing squares. The beam-column connections for the wall frames (section 4.1) also include 4 screws connecting the end plate of the beam to the column (see figure 8.c and figure 8.d). In the 3D connections between beam frames and wall frames three framing squares are used for the internal main frames (see top and bottom views in figure 11) and two squares plus two screws on the end plates for the external main frames.

Although it will be necessary to verify experimentally with a prototype the behaviour of the structural system, including the joints, the initial calculations carried out below indicate that the joints remain safe to withstand the expected loads.

The calculations also show that beams with a maximum length of 4.8 meters provide enough in-plane flexural resistance. Due to the hollow cross section there will be no concerns regarding the lateral torsional buckling. Furthermore, some shorter components that connect parallel beams and the floor joists will provide enough horizontal stability.

The possible wall frames to be used corresponds with the full range of resistant members (RMn) above described (see figure 18). Therefore the types of beam frame proposed are 10:

- F6M = 600 mm Coordination dimension
- F12M = 1200 mm Coordination dimension
- F18M = 1800 mm Coordination dimension
- F24M = 2400 mm Coordination dimension
- F30M = 3000 mm Coordination dimension
- F36M = 3600 mm Coordination dimension
- F42M = 4200 mm Coordination dimension
- F48M = 4800 mm Coordination dimension

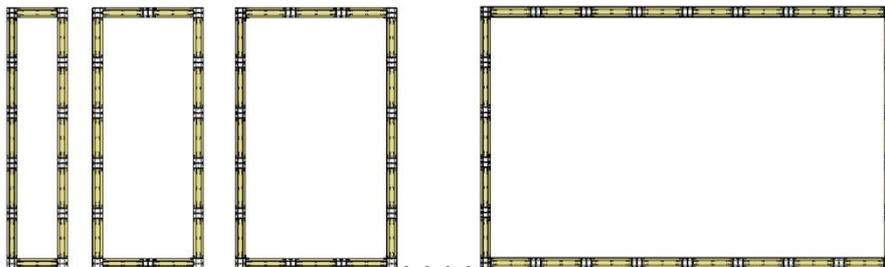


Figure 18. Series of beam frames F6M, F12M, F18M, ..., F48M

Finally, it can be seen how the general structural scheme for a diaphanous volume is established. Having a look to figure 19 in which it is possible to see the following values:

- Diaphanous volume: DV (axis X, Y and Z)= DV (6000 mm x 4800 mm x 3000 mm) = 86.42 m³
- Wall frames: (3(F18M) + 1(F6M)) x 2 (parallels to the XZ plane)
- Beam frames: 5(F48M) (parallels to the YZ plane)

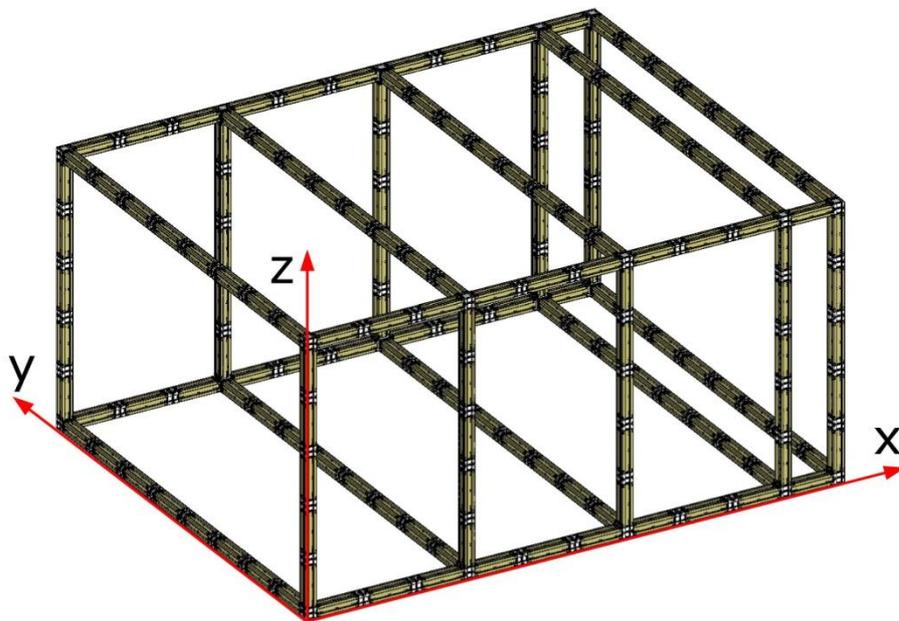


Figure 19. Structural scheme for a diaphanous volume

4.3 Reliability analysis of the structure

As above commented to optimize the structural design reducing the number of different components, the system only allows the variation of the thickness of the proposed profile. Some calculation have been carried out using the general-purpose finite element software Ansys Workbench to probe that the proposed profiles are safe and adequate from a structural point of view. As a first step, two 3D joints and other two plane (2D)

joints, corresponding to the intermediate and the top floors in a two storey building configuration, were modelled separately for the both proposed thicknesses (2 mm and 3 mm) to obtain their beam-column rotational joint stiffness. The numerical models were performed for a nominal steel S275. Table 1 presents the main mechanical properties of the modelled cross sections.

Wall thickness	Area A [mm ²]	Moment of inertia $I_{yy} = I_{zz}$ [mm ⁴]	Warping modulus I_w [mm ⁶]
t=2 mm	1264	2.2487 e+6	1.8998 e+8
t=3 mm	1884	3.2834 e+6	2.7029 e+8

Table 1. Mechanical properties of the cross-sections

Figure 20 presents, as an example, four of the eight joints modelled showing their meshing. Figures 20.a and 20.c show a pair of 3D joints at the top and the intermediate level. These models include wall frames and beam frames. Figure 20.b and 20.d show the two plane joints at the top and the intermediate levels. In this case the bracing members that form the wall frames and that connect the main 2D frames of the structure are not included.

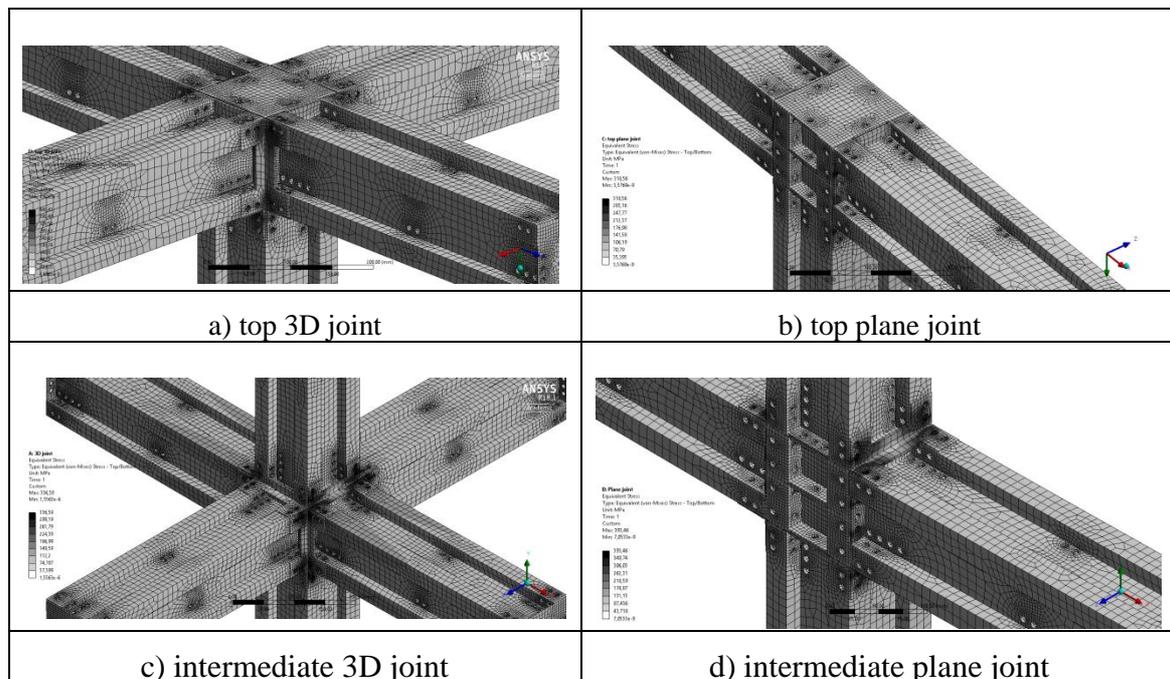


Figure 20. FEM models for 3D and plane joints

Figure 21 present the moment rotation curves for the eight joints modelled grouped by their wall thickness. Figure 21.a show the curves for 3mm thickness and figure 21.b show the curves for the same type of joints in case of 2 mm thickness. In these graphics also the limits for nominally rigid and nominally pinned joints according to EC3 Part 1.8 (CEN 2005) were plotted. From these figures it can be concluded that in most cases the joints behave as semi-rigid.

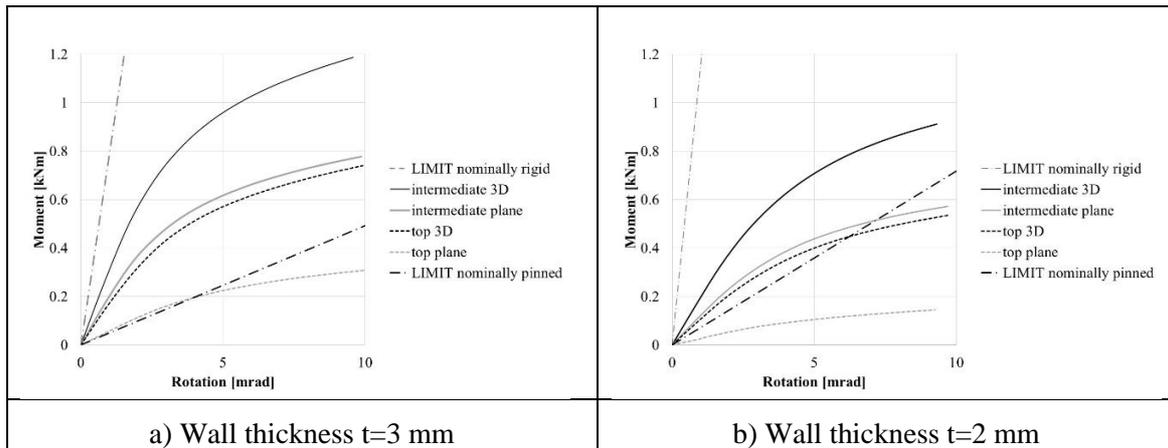


Figure 21. Moment-rotation curves for 3D and plane joints

The obtained joint rotational stiffness from the previous calculations was used then in a second step to prove the reliability of the structure. A typical main 2D frame with two storeys as the one that can be seen in figure 22, was modelled using finite element analysis to obtain the stress state (figure 22.a) in the ultimate limit state (ULS) and directional deformations (figure 22.b) in the serviceability limit state (SLS). The loads, material and dimensions considered in the calculations are:

- Span: 4.8 meters.
- Height: 3 meters.
- Live loads corresponding to a typical residential building: 2kN/m^2 .
- Additional concentrated live load: 2kN
- Wind 1 kN/m^2
- Snow 1 kN/m^2

-Self weight 0.6 kN/m²

-Nominal steel S275 (Yield limit $f_y=275$ N/mm²)

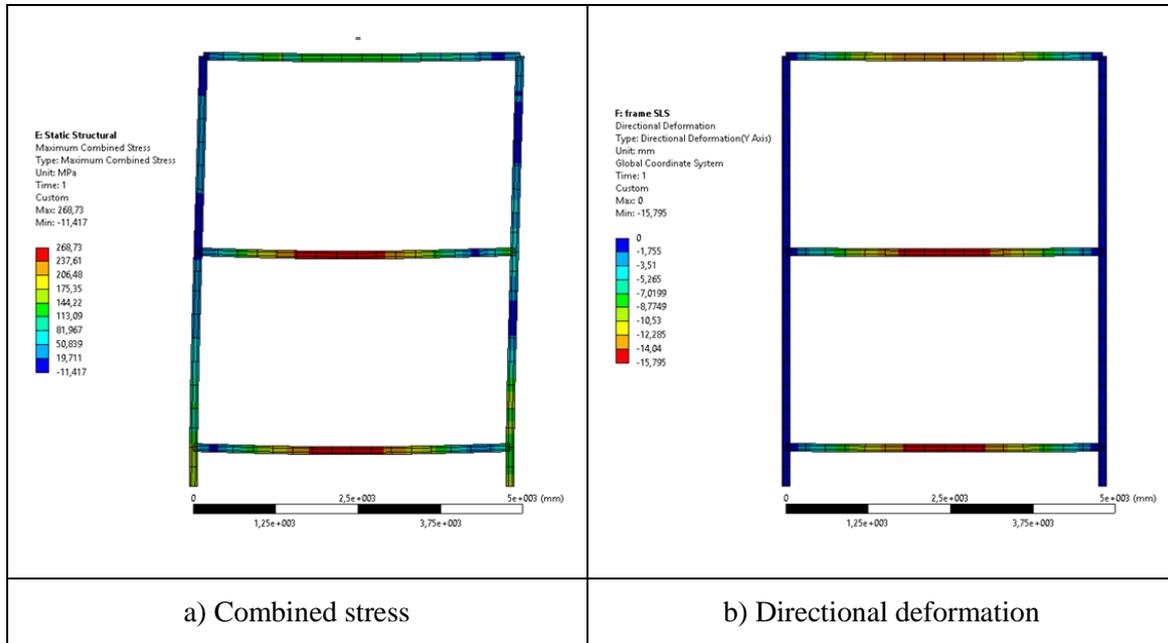


Figure 22. Results in a main 2D frame with plane joints

The maximum combined stress was 268.73 N/mm² lower than the yield limit. Also the maximum deflection in the middle of the span that was 15.795 mm was lower than the ordinary limit ($L/250 = 19.2$ mm) typically considered in the Eurocode 3 Part 1.1 (CEN 2005).

The result was that the two defined thicknesses of 2mm and 3mm are adequate according to the colour code indicated in figures 7. Nevertheless the launching of this system would require having simple structural design software that depending on the different building conditions the proposal of the resistant members would be obtained.

4.4 Simple application example of the flexible structural system (FSS)

We need constructing the structural scheme for a diaphanous volume, with the following values:

- Long: 4.80 meters

- Wide: 3.6 meters
- High: 3.0 meters wide:

Diaphanous volume: DV (axis X, Y and Z) = DV (4.8m x 3.6m x 3.0m).

Likewise, this volume is placed at a ground height of at least 0.48 meters.

We need to know:

How can we organize a possible structural scheme for this diaphanous volume?

How many industrialized elements are we going to need?

Solution:

DV (4.8m x 3.6m x 3m) = DV (X, Y, Z) = DV (48M, 36M, 30M)

Small lower supports: 1(UB1) +1(UB2).

Wall frames: 2(F18M) + 1(F12M)

Beam frames: 4(F36M)

Beam frame (F36M) = 26 (UB1) + 52 (UB2) + 4 (Unique framing square)

Systematic assembly: 1(UB1), 2(UB2), 1(UB1), 2(UB2)...

Number of industrialized elements for DV (48M, 36M, 30M):

- BU1 green color = 96
- BU1 red color= 48
- BU2 green color= 160
- BU2 red color=96
- Unique framing square =84

The solution of structural scheme for this diaphanous volume can be seen in figure 23 and in figure 24, with the industrialized elements. It can be seen that there are many assemblies with the BU_i, but very easy and simple to perform in a very systematic way (1, 2, 1, 2, 1, 2, etc.)

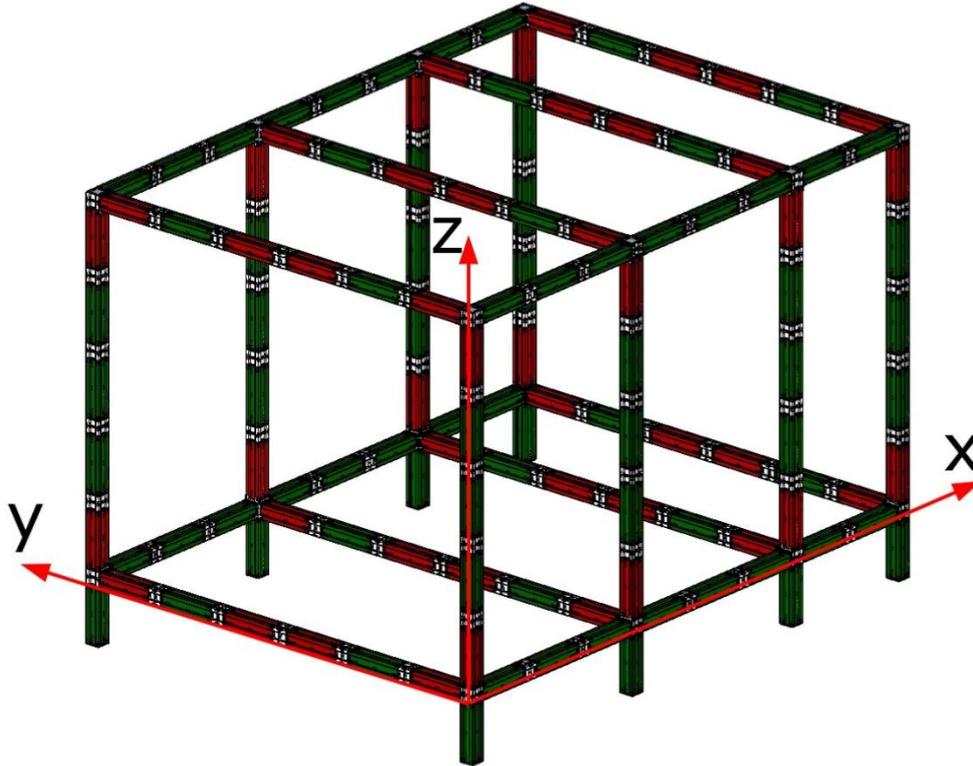


Figure 23. Structural scheme for a diaphanous volume DV (4,8m x 3,6m x 3m), with all the industrialized elements.

Element denomination	BU1, t=2mm green color	BU1, t=3mm red color	BU2, t=2mm green color	BU2, t=3mm red color	Unique framing square
Figure					
Number of elements	80	48	168	48	84

Figure 24. Number of industrialized elements needed to generate a structure that allows a diaphanous DV volume (4.8m x 3.6m x 3m).

5. Conclusions

The so named ‘flexible structural system’ (FSS) is characterized by using only small industrialized components, handled by one person which exhibit an easy and simple assembly. The system is able to adapt to different orthogonal geometries and presents the necessary flexibility to allow modifications over the structure of the building

throughout its life.

The generating process of the structural system is based on different combinations through the so-called structural generating couple with two Basic Units (BU_i) to obtain Resistant Members (RM_n). These Resistant Members allow building structural Frames (F) and finally the addition of structural frames allows generating diaphanous volumes obtaining the desired structure for the building.

The flexible structural system aims to be systematic and easy to understand by users.

Furthermore, the FSS has the following characteristics:

- (1) The flexible structural system allows generating a great variety of orthogonal structures in a systematic way. Its generation is based on establishing a modulation taking as coordination dimension 6M (600mm).
- (2) Any modulated structural configuration can be obtained by the combination of only two elements denoted as basic units. Each one of these basic units presents just 2 thicknesses; therefore the flexible structural system consists of only 4 basic units.
- (3) The total number of different industrialized components is just seven: 4 basic units, 1 unique framing square and 2 screws with the same diameter and different length.
- (4) The assembly and disassembly of the system's components requires just placing them in the right position and tightening the screws, in quite a large quantity, but in a very systematic and easy way, therefore it does not require specialized labour.

- (5) The system allows the optimization of the structural material with just 2 thicknesses for the profiles. Also the colours green and red are evident for a simple and easy placement.
- (6) The flexible structural system tries to admit the assembly of the rest of the industrialized components of a possible 'Global System of Industrialized Construction', whose final objective is the complete construction of a single-family house, or another similar construction, by means of industrialized elements.
- (7) The proposed system is easy to transport and store
- (8) The geometrical forms and material for the components of the flexible structural system are conventional so its manufacture would be simple. In addition, its mass production can allow reduce a lot the market prices.
- (9) The proposed connection system using the framing squares allow the joints behave as semi-rigid.

Acronyms:

- FSS: Flexible Structural System
- BUi: Basic Units
- RMn: Resistant members
- F: Structural frames: wall frames and beam frames
- Diaphanous volumes: DV(X, Y, Z)

References

- CEN, EN-1993-1-1:2005, Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1-1, General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization, 2005.
- CEN, EN-1993-1-8:2005, Eurocode 3: Design of Steel Structures. Part 1-8, Design of joints. European Committee for Standardization, 2005.
- Gershenson, J. K., Prasad, G. J., & Zhang, Y. (2003). Product modularity: definitions and benefits. *Journal of Engineering design*, 14(3), 295-313.
- Huizinga, J. (2000). *Homo Ludens [HomoLudens]*. Madrid: Alianza, pp. 45.
- ISO (1983). ISO 1040: 198 Building construction - Modular coordination - Multi-modules for horizontal coordinating dimensions. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO (1983). ISO 1006: 1983 Building construction - Modular coordination - Basic module. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO (1989). ISO 2848: 1984 Building construction - Modular coordination - Principles and rules. Geneva: International Organization for Standardization.
- Khalfan, M, M. A., Maqsood, T. Current State of Off-Site. Manufacturing in Australian and Chinese Residential Construction. *Journal of Construction Engineering*. Volume 2014, Article ID 164863.
- Kusiak, A. (2002). Integrated product and process design: a modularity perspective. *Journal of Engineering Design*, 13(3), 223-231.
- Liang, H., Zhang, S., Su, Y. Evaluating the Efficiency of Industrialization Process in Prefabricated Residential Buildings Using a Fuzzy Multicriteria Decision-Making Method. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2017, Article ID 6078490.

- Liu, X., Zhang, A., Ma, J., Tan, Y., Bai, Y. Design and Model Test of a Modularized Prefabricated Steel Frame Structure with Inclined Braces. *Advances in Materials Science and Engineering*. Volume 2015, Article ID 291481.
- Lozano D, Martín A, Serrano M, & López M. (2017) Patent Number ES 2 610 203 B2. Madrid: Oficina Española de Patentes y Marcas. Patents and Trademark Office. Spain.
- Martín A, Suárez F, Del Coz J.J, Lozano A, González C, & Prendes M.B. (2016). Patent Number ES 2 568 328 B2. Madrid: Oficina Española de Patentes y Marcas. Patents and Trademark Office. Spain.
- Mesa, J., Maury, H., Arrieta, R., Corredor, L., & Bris, J. (2017). A novel approach to include sustainability concepts in classical DFMA methodology for sheet metal enclosure devices. *Research in Engineering Design*, 1-18.
- Mokhtariani, M., Sebt, M. H., Davoudpour, H. Construction Marketing: Developing a Reference Framework. *Advances in Civil Engineering* Volume 2017, Article ID 7548905.
- Norton, M. I., Mochon, D., & Ariely, D. (2012). The IKEA effect: When labor leads to love. *Journal of consumer psychology*, 22(3), 453-460.
- SketchUp (2017). SketchUp, formerly Google Sketchup, is a 3D modeling computer program. <http://www.sketchup.com/ES>
- Smith, R. E. (2010). *Prefab architecture: A guide to modular design and construction*. John Wiley & Sons.
- Wolf, M., & McQuitty, S. (2011). Understanding the do-it-yourself consumer: DIY motivations and outcomes. *AMS review*, 1(3-4), 154-170.

- Yadollahi, M., Mirghasemi, M., Zin, R. M., Singh, B. Architect Critical Challenges as a Project Manager in Construction Projects: A Case Study. *Advances in Civil Engineering*. Volume 2014, Article ID 205310.
- Zhang, J., Xue, G., Du, H., Garg, A., Peng, Q., & Gu, P. (2017). Enhancing interface adaptability of open architecture products. *Research in Engineering Design*, 28(4), 545-560.