



Ingeniería en Diseño Industrial
y Desarrollo de producto



**Diseño de sistema modular de mobiliario
y juego para espacios interiores infantiles
a partir de micelio como biomaterial**



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de
Producto**

**Diseño de sistema modular de mobiliario y
juego para espacios interiores infantiles a
partir de micelio como biomaterial**

Autor:

Decimavilla Domínguez-Gil, Marta

Tutor(es):

**Úbeda Blanco, Marta
Urbanismo y Representación de la
Arquitectura**

Valladolid, septiembre 2025.



Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado consiste en el diseño y desarrollo del sistema modular de mobiliario y juego infantil Mykum, fabricado con micelio como biomaterial y dando lugar a un producto biodegradable, seguro y ligero para entornos interiores infantiles.

La propuesta incluye cinco piezas huecas que permiten un número ilimitado de combinaciones ofreciendo la máxima versatilidad. Se ensamblan mediante uniones tipo puzzle intuitivas, salvo una que requiere una sexta pieza en forma de abrazadera para asegurar la estabilidad en configuraciones apiladas como estanterías.

El sistema cumple una doble función: puede emplearse como mobiliario formando asientos, mesas o estanterías y, al mismo tiempo, como juego de construcción.

La fabricación se basa en el moldeo en húmedo de un sustrato de sarmiento de vid, alpiste y micelio, al que se añaden pigmentos naturales en tonos pastel, asignando a cada pieza un color distinto.

Palabras clave

Micelio, mobiliario modular, juego infantil, sostenibilidad, montaje.



Abstract

This Final Degree Project focuses on the design and development of the modular furniture and play system *Mykum*, manufactured with mycelium as a biomaterial, resulting in a biodegradable, safe and lightweight product for indoor children's environments.

The proposal includes five hollow pieces that allow unlimited combinations, offering maximum versatility. They are assembled through intuitive puzzle-type joints, except for one piece that requires a sixth element in the form of a clamp to ensure stability in stacked configurations such as shelves.

The system serves a dual function, since it can be used as furniture in the form of seats, tables or shelves and at the same time as a construction game.

Manufacturing is based on wet molding of a substrate of vine shoot, canary seed and mycelium, to which natural pigments in pastel tones are added, assigning each piece a different color.

Keywords

Mycelium, modular furniture, children's play, sustainability, assembly.



Índice de contenido

CAPÍTULO 01. MEMORIA	13
1. Introducción	14
2. Objetivos	15
3. Planificación del proyecto	16
4. El micelio	17
4.1 ¿Qué es el micelio?	17
4.2 Historia	17
4.3 Partes y estructura	18
4.4 Biología del micelio	19
4.5 Tipos	20
5. Aplicación del micelio como material	21
5.1 Proceso de obtención y cultivo	22
5.2 Propiedades físicas y mecánicas	24
5.3 Ventajas frente a otros materiales	26
5.4 Limitaciones y retos	27
6. Búsqueda de la propuesta	29
6.1 Definición del problema	29
6.2 Antecedentes	30
6.2.1 Estudio de mercado	30
6.2.2 Estado de la técnica	34
6.3 Búsqueda de la idea	40
6.4 Selección de la propuesta	44
7. Propuesta final	46
7.1 Estudios y normativa	46
7.1.1 Normativa aplicable	46
7.1.2 Estudio ergonómico	48
7.1.3 Estudio mecánico	51
7.2 Identidad corporativa	57
7.3 Solución adoptada	60
7.3.1 Descripción de las piezas	60
7.3.2 Características generales	66
7.3.3 Proceso de montaje	67
7.3.4 Configuraciones posibles	69
7.3.5 Escenarios de uso	72
7.3.6 Ventajas e innovación	74
7.4 Fabricación	75
7.4.1 Descripción general del sistema productivo	75
7.4.2 Preparación del sustrato base	75
7.4.3 Integración de pigmentos naturales	76
7.4.4 Esterilización e inoculación	78



7.4.5	Diseño del sistema de moldeo	79
7.4.6	Proceso de moldeo y colonización	88
7.4.7	Desmoldeo	89
7.4.8	Inactivación y secado	92
7.4.9	Acabado superficial	93
7.4.10	Viabilidad técnica	94
7.5	Ecodiseño	94
7.5.1	Matriz METCO	94
7.5.2	Rueda de LiDS	95
CAPÍTULO 02. PLANOS		99
CAPÍTULO 03. PRESUPUESTO		119
1.	Coste de fabricación	120
1.1	Material	120
1.2	M.O.D. (Mano de Obra Directa)	122
1.3	Puesto de trabajo	124
2.	M.O.I. (Mano de Obra Indirecta)	126
3.	Cargas sociales	126
4.	Gastos generales	127
5.	Coste total en fábrica	127
6.	Beneficio industrial	128
7.	Precio de venta en fábrica	128
8.	I.V.A.	129
9.	Precio de venta al público	129
10.	Posibles financiaciones y comparación con precios de mercado..	130
10.1	Posibles vías de financiación	130
10.2	Comparación con precios de mercado	130
CAPÍTULO 04. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS		132
CAPÍTULO 05. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES		135
1.	Bibliografía	136
2.	Webgrafía	137
3.	Figuras	142
4.	Tablas	147



Índice de figuras

Figura 1. Estructura general del micelio	17
Figura 2. Micelio en sustrato bajo tierra con crecimiento fúngico	18
Figura 3. Partes del micelio	19
Figura 4. Pabellón Hy-Fi construido con bloques de micelio	22
Figura 5. Paneles de micelio como material constructivo	26
Figura 6. Piezas de Nugget Coach	31
Figura 7. Configuración de Nugget Coach	31
Figura 8. Nugget Coach configurado a modo de juego	31
Figura 9. Contenido de Heypappy Tangram Couch	32
Figura 10. Configuración vertical de Heypappy Tangram Couch	32
Figura 11. Distintas configuraciones de DISHUP 10-piece Kids Play Couch ..	32
Figura 12. Progreso en la construcción de la casa SAMOROST	33
Figura 13. Mesa de centro impresa en 3D a partir de micelio del proyecto SAMOROST	33
Figura 14. Cherry Picker, mesa de café de micelio de Adorno Design	34
Figura 15. Picchu, escultura de micelio y mesa auxiliar de Adorno Design	34
Figura 16. Mystool, taburete de micelio de Adorno Design	34
Figura 17. Spore, taburete de micelio de Adorno Design	34
Figura 18. Sofá seccional modular para niños	35
Figura 19. Mecedora modular para parques	36
Figura 20. Sistema de construcción modular	37
Figura 21. Material compuesto a base de fibras naturales y micelio	37
Figura 22. Biomaterial compuesto a partir de sarmiento de vid, micelio y semillas	39
Figura 23. Propuesta 1: mesa orgánica	40
Figura 24. Propuesta 2: banco 1	41
Figura 25. Propuesta 3: banco 2	41
Figura 26. Propuesta 4: banco formado por láminas de micelio	41



Figura 27. Propuesta 5: banco modular geométrico	42
Figura 28. Propuesta 6: banco modular curvo	43
Figura 29. Propuesta 6: composición de 4 bancos modulares curvos	43
Figura 30. Propuesta 7: banco modular infantil tipo puzzle	44
Figura 31. Altura poplítea	49
Figura 32. Medición de la envergadura	50
Figura 33. Sección transversal del módulo	51
Figura 34. Esquema de viga apoyada con carga puntual centrada	52
Figura 35. Dimensiones del módulo: ancho, espesor y luz de cálculo	54
Figura 36. Diagramas de esfuerzos y deformaciones de la viga	55
Figura 37. Logotipo final	58
Figura 38. Variantes del logotipo definitivo	59
Figura 39. Paleta de colores definitivos	59
Figura 40. Pieza 1: pieza recta con salientes y agujeros	60
Figura 41. Gama de colores de la pieza 1	61
Figura 42. Pieza 2: pieza curva	61
Figura 43. Gama de colores de la pieza 2	62
Figura 44. Pieza 3: pieza recta con salientes	62
Figura 45. Gama de colores de la pieza 3	63
Figura 46. Pieza 4: pieza recta con agujeros	63
Figura 47. Gama de colores de la pieza 4	64
Figura 48. Pieza 5: pieza recta	65
Figura 49. Gama de colores de la pieza 5	65
Figura 50. Pieza 6: abrazadera	66
Figura 51. Gama de colores de la pieza 6	66
Figura 52. Relieve hundido con el logo corporativo Mykum	67
Figura 53. Montaje de configuración cuadrada	68
Figura 54. Montaje de estantería con abrazaderas	69
Figura 55. Configuración en forma de banco cuadrado	70



Figura 56. Configuración en forma de banco con respaldo	70
Figura 57. Configuración en forma de banco con separación vertical entre usuarios	71
Figura 58. Configuración en mesa y asientos individuales	71
Figura 59. Configuración a modo de estantería	72
Figura 60. Escenario de uso de banco en ángulo recto y estantería	72
Figura 61. Escenario con usuario colocando una pieza	73
Figura 62. Escenario de uso de banco con respaldo	73
Figura 63. Escenario de uso de banco irregular y estantería	74
Figura 64. Molino de martillos industrial	76
Figura 65. Extractos concentrados de colorantes naturales alimentarios en solución acuosa	78
Figura 66. Autoclave de laboratorio para esterilización de sustratos de cultivo fúngico	79
Figura 67. Partes molde pieza 5	80
Figura 68. Molde final pieza 5	80
Figura 69. Partes molde pieza 1	81
Figura 70. Montaje molde pieza 1	82
Figura 71. Molde final pieza 1	82
Figura 72. Partes molde pieza 3	83
Figura 73. Partes molde pieza 4	83
Figura 74. Partes molde pieza 2	84
Figura 75. Montaje molde pieza 2	85
Figura 76. Molde final pieza 2	85
Figura 77. Partes molde pieza 6	86
Figura 78. Montaje molde pieza 6	86
Figura 79. Sustrato colonizado por micelio tras periodo de incubación	89
Figura 80. Paso 1 desmoldeo pieza 1: retirada de insertos para salientes ...	90
Figura 81. Paso 2 desmoldeo pieza 1: retirada de macho	91
Figura 82. Paso 3 desmoldeo pieza 1: retirada de molde exterior	91



Figura 83. Paso 4 desmoldeo pieza 1: movimiento perpendicular de la tapa con salientes para agujeros	92
Figura 84. Paso 5 desmoldeo pieza 1: retirada de tapa con salientes para agujeros	92
Figura 85. Rueda de LiDS	96
Figura 86. Conjunto Nugget Couch.....	131
Figura 87. BanaSuper 6 bloques de construcción	131



Índice de tablas

Tabla 1. Diagrama de Gantt	16
Tabla 2. Matriz de decisión ponderada	45
Tabla 3. Matriz METCO	95
Tabla 4. Coste M.O.D. Pieza 1	123
Tabla 5. Coste M.O.D. Pieza 2	123
Tabla 6. Coste M.O.D. Pieza 3	123
Tabla 7. Coste M.O.D. Pieza 4	124
Tabla 8. Coste M.O.D. Pieza 5	124
Tabla 9. Coste M.O.D. Pieza 6	124
Tabla 10. Puesto de trabajo Pieza 1	125
Tabla 11. Puesto de trabajo Piezas 2, 3, 4 y 5	125
Tabla 12. Puesto de trabajo Pieza 6	126
Tabla 13. Coste total fabricación	126
Tabla 14. Costes M.O.I.	126
Tabla 15. Cargas sociales	127
Tabla 16. Gastos generales	127
Tabla 17. Coste total en fábrica	128
Tabla 18. Beneficio industrial	128
Tabla 19. Precio de venta en fábrica	128
Tabla 20. I.V.A.	129
Tabla 21. Precio de venta al público	129

Capítulo 01

Memoria





1. Introducción

Este documento se corresponde con el Trabajo de Fin de Grado (TFG) de la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto para el período académico 2024/2025, realizado en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid.

El proyecto aborda el diseño y desarrollo de *Mykum*, un sistema modular de mobiliario y juego infantil fabricado a partir de micelio, un biomaterial de origen fúngico que permite obtener piezas ligeras, resistentes y completamente biodegradables. El sistema está concebido para espacios interiores infantiles, pudiendo ser utilizado también por los adultos acompañantes. Las piezas pueden ser montadas fácilmente por los propios niños, lo que potencia la autonomía y la dimensión lúdica del producto.

La memoria recoge todo el proceso de diseño, investigación y desarrollo, desde el análisis del estado de la técnica y la definición del sistema constructivo, hasta la propuesta de fabricación, ecodiseño y viabilidad económica, con el fin de ofrecer un producto innovador y adaptable a diferentes contextos infantiles.



2. Objetivos

El objetivo principal del trabajo es diseñar y desarrollar un sistema modular de mobiliario y juego infantil fabricado en micelio, que sea sostenible, seguro y adaptable a distintos espacios interiores.

De este objetivo general se derivan los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el estado del arte en biomateriales aplicados al diseño de mobiliario infantil, con especial atención al micelio y sus aplicaciones.
- Definir una propuesta modular que combine funcionalidad de mobiliario y juego constructivo, fomentando la creatividad y la autonomía de los niños.
- Diseñar seis piezas modulares con un sistema de unión intuitivo, seguro y adaptable a múltiples configuraciones.
- Establecer un proceso de fabricación basado en el moldeo en húmedo con pigmentos naturales, optimizando tanto la producción como la sostenibilidad del producto.
- Evaluar la viabilidad técnica y económica del sistema, incluyendo una aproximación de costes y una comparativa frente a productos similares del mercado.



3. Planificación del proyecto

Para organizar y visualizar el desarrollo del trabajo, se ha elaborado un diagrama de Gantt. En él se recogen las distintas actividades que conforman el proyecto, junto con su duración estimada, distribuida por semanas.

De este modo, se visualiza de forma sencilla el orden de las tareas y el tiempo dedicado a cada fase, facilitando la planificación global del proyecto en función del tiempo disponible.

		SEMANAS													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
TAREAS	Investigación sobre el micelio	■	■	■											
	Generación de ideas y bocetos			■	■	■									
	Estudio de antecedentes y mercado				■	■	■								
	Selección de la propuesta					■	■								
	Análisis de normativas y requisitos						■	■							
	Ensayo práctico con micelio						■	■	■						
	Estudios ergonómicos y mecánicos							■	■	■					
	Generación de renders							■	■	■	■				
	Desarrollo del proceso de fabricación								■	■	■	■			
	Elaboración de planos									■	■	■			
	Diseño de la identidad corporativa										■	■	■		
	Estrategia de ecodiseño y evaluación ambiental											■	■	■	
	Elaboración del presupuesto											■	■	■	
	Revisión final y entrega													■	■

Tabla 1. Diagrama de Gantt. Elaboración propia.



4. El micelio

4.1. ¿Qué es el micelio?

El micelio es la estructura vegetativa de los hongos, formada por una red de filamentos microscópicos llamados hifas. Esta red subterránea, aunque es invisible a simple vista, constituye una de las redes biológicas más extensas y eficientes del planeta. Además, es la encargada de descomponer materia orgánica, regenerar suelos y facilitar el intercambio de nutrientes entre plantas.

Este complejo y dinámico organismo vivo forma la base estructural de la mayoría de los hongos y es crucial para su supervivencia y reproducción. Su importancia ecológica es comparable a la de las raíces en los árboles, y en términos funcionales, puede considerarse el "sistema nervioso" del suelo. (*Micelio*, s. f.)



Figura 1. Estructura general del micelio, Países Bajos.

4.2. Historia

El micelio ha existido desde hace más de mil millones de años, siendo uno de los primeros organismos complejos en establecerse sobre la superficie terrestre.

Su evolución ha estado estrechamente ligada a la de otros organismos, especialmente las plantas, con las que ha desarrollado relaciones simbióticas fundamentales, como las micorrizas. Estas consisten en una asociación entre los hongos del suelo y las raíces de las plantas, en la que el micelio facilita la absorción de agua y nutrientes minerales como el fósforo a cambio de los azúcares que produce la planta mediante la fotosíntesis. Este intercambio ha



sido clave para el desarrollo de los ecosistemas terrestres y la expansión de la vida vegetal. (Droppelmann A., V., 2022)

A lo largo de los siglos, el micelio ha demostrado una gran capacidad de adaptación a diversos entornos, localizándose prácticamente en todos los ecosistemas terrestres. Desde los suelos secos y pobres en nutrientes de los desiertos hasta las zonas húmedas y ricas en materia orgánica de las selvas tropicales, el micelio cumple una función ecológica clave descomponiendo material orgánico y facilitando el ciclo de nutrientes esenciales para la vida vegetal.

Aunque permanece oculto bajo tierra o dentro de materiales orgánicos en descomposición, su presencia es abundante. Se estima que, en muchos bosques, el micelio puede formar redes subterráneas de kilómetros de longitud, conectando árboles y plantas entre sí en un sistema conocido como la "Wood Wide Web".

Estas redes no solo facilitan la transferencia de agua y minerales, sino que también permiten la comunicación química entre plantas, alertándolas ante amenazas externas como plagas o sequías. Esta inteligencia biológica convierte al micelio en un organismo clave en la salud de los ecosistemas. (Micelio, s. f.; *Micelio, el 1er Internet de la naturaleza*, s. f.)



Figura 2. Micelio en sustrato bajo tierra con crecimiento fúngico. Quito, Ecuador, 2021.

4.3. Partes y estructura

El micelio está formado por diferentes partes que cumplen funciones específicas en el desarrollo y reproducción del hongo.



En primer lugar, las hifas son los filamentos que componen la red del micelio. Se trata de tubos alargados llenos de citoplasma, por los que circulan numerosos núcleos. A través de estas estructuras se distribuyen los nutrientes, y su organización en forma de red permite optimizar la absorción desde el entorno.

Por otro lado, las esporas actúan como unidades reproductoras de los hongos. Aunque no forman parte del micelio en sí, suelen generarse en estructuras especiales producidas por él. Son altamente resistentes y pueden sobrevivir en condiciones ambientales extremas durante largos periodos.

El cuerpo fructífero es la parte visible del hongo, lo que comúnmente identificamos como “setas”. Es una prolongación del micelio subterráneo y su función principal es generar y liberar las esporas para asegurar la reproducción del organismo. (*Micelio, el 1er Internet de la naturaleza, s. f.*)

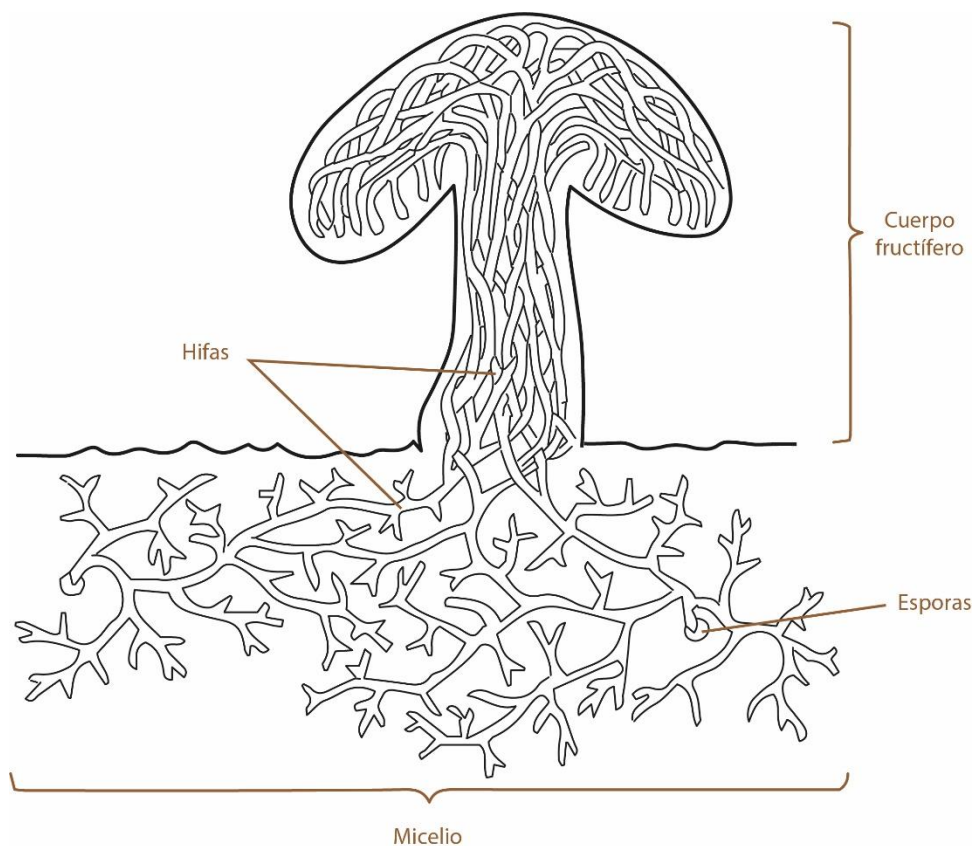


Figura 3. Partes del micelio. Elaboración propia.

4.4. Biología del micelio

El micelio se desarrolla de forma continua a través del sustrato, absorbiendo agua y nutrientes del entorno. Cuando las condiciones ambientales son adecuadas, puede dar lugar a un cuerpo fructífero. Esta estructura produce



esporas que, una vez liberadas y en un ambiente favorable, pueden germinar y generar un nuevo micelio, reiniciando así el ciclo de vida.

Además, el micelio tiene la capacidad de reproducirse tanto de manera asexual como sexual. En la reproducción asexual, partes del micelio se separan y crecen de forma independiente como nuevos organismos. En la reproducción sexual, dos micelios compatibles se fusionan y forman un cuerpo fructífero que genera esporas sexuales.

En cuanto a su nutrición, el micelio descompone materia orgánica presente en su entorno. Para ello, libera enzimas al exterior que transforman esa materia en compuestos más simples, los cuales luego son absorbidos a través de las hifas para alimentarse y continuar su desarrollo. (*Micelio*, s. f.)

4.5. Tipos

El micelio, aunque comúnmente se percibe como una sola estructura filamentosa, puede clasificarse en tres tipos principales según su función y localización dentro del ciclo de vida del hongo.

El micelio vegetativo es el primero en aparecer tras la germinación de una espora y se encarga de la absorción de nutrientes y agua necesarios para el crecimiento del hongo.

El micelio aéreo se desarrolla en la superficie de los sustratos y ayuda a la dispersión de esporas, aumentando las posibilidades de colonizar nuevos entornos.

Por último, el micelio reproductivo está involucrado en la producción de cuerpos fructíferos, como las setas visibles en la superficie del suelo, y esporas, cumpliendo una función vital para la continuidad de la especie. (*Micelio, el 1er Internet de la naturaleza*, s. f.)

Estos tres tipos de micelio forman un sistema altamente eficiente y coordinado que permite al hongo alimentarse, expandirse, adaptarse y reproducirse con éxito en una gran diversidad de hábitats.



5. Aplicación del micelio como material

El micelio ha despertado un gran interés en el ámbito del diseño sostenible y la biofabricación por su capacidad para colonizar sustratos orgánicos y convertirse en estructuras sólidas y estables. Cuando se cultiva adecuadamente, el micelio puede crecer dentro de moldes y, al solidificarse, formar objetos con propiedades similares a las de ciertos materiales tradicionales como el corcho, el cartón prensado o incluso la madera ligera.

No todos los hongos son aptos para este tipo de aplicación. Las especies más utilizadas en biofabricación son *Ganoderma lucidum*, *Pleurotus ostreatus* (seta ostra) y *Trametes versicolor*, debido a su capacidad para desarrollar un sistema de hifas denso y cohesivo, ideal para generar estructuras resistentes. Estas especies concentran gran parte de su energía metabólica en el desarrollo de micelio (raíces), en lugar de fructificar en forma de setas, lo que las hace especialmente adecuadas para usos estructurales.

Además, el micelio es un organismo vivo que responde a su entorno, lo que permite adaptar su crecimiento y forma según el molde o la función deseada. Esta característica da lugar a procesos de fabricación más sostenibles y flexibles, donde se puede producir material en pequeñas escalas o en lugares remotos sin necesidad de maquinaria pesada o procesos contaminantes.

Por su naturaleza biodegradable y renovable, el micelio representa una alternativa prometedora frente a materiales sintéticos, contribuyendo a la reducción de residuos y al impulso de una economía más circular. (Foro Económico Mundial, s. f.)

Gracias a estas propiedades, el micelio no solo tiene un gran valor ecológico, sino que también abre nuevas posibilidades en el diseño, la arquitectura y la biofabricación, fomentando productos innovadores y respetuosos con el medio ambiente. (MujerInTime, s. f.; Naturnext, s. f.)



Figura 4. Pabellón Hy-Fi construido con bloques de micelio. Nueva York, EE. UU., 2014.

5.1. Proceso de obtención

El micelio puede obtenerse de dos maneras principales: adquiriéndolo a través de laboratorios especializados o cultivándolo de forma autónoma a partir de esporas. En ambos casos, el proceso requiere condiciones específicas de higiene, temperatura, humedad y pH para asegurar un desarrollo óptimo y evitar contaminaciones que puedan comprometer la calidad del material. (Medina-Gutiérrez, A.-C., Medina-Rodríguez, P.-J., Suesca-Díaz, A., & Morales-Fonseca, D., 2024)

A continuación, se detallan los pasos que deben llevarse a cabo para obtener un material funcional y estable a partir de micelio:

- Selección de la cepa

Las especies más comunes utilizadas en la producción de micelio para aplicaciones estructurales y de diseño son *Pleurotus ostreatus*, *Ganoderma lucidum* y *Trametes versicolor*, ya que generan una red de hifas densa y resistente.

Es importante seleccionar una cepa vigorosa, que enfoque su energía en el desarrollo del micelio y no en la producción de setas, para maximizar su rendimiento estructural.

- Preparación del sustrato

El micelio necesita un medio donde crecer, generalmente compuesto por residuos agrícolas ricos en celulosa y lignina. Entre los sustratos más utilizados



se encuentran: serrín de madera, paja, cáscaras de maíz o trigo o cartón reciclado.

Este sustrato debe ser esterilizado previamente para eliminar bacterias, mohos y esporas de otros hongos que podrían contaminar el cultivo. Para ello, se puede hervir durante al menos una hora para matar estos organismos no deseados. Otra opción es usar una autoclave, que es un equipo especial que aplica vapor a alta presión y temperatura para esterilizar de manera más rápida y efectiva.

Después de este proceso, es importante dejar que el sustrato se enfríe en un ambiente limpio para evitar que se contamine antes de mezclarlo con el micelio.

- Inoculación

Una vez esterilizado el sustrato, se mezcla con grano incubado de micelio (también conocido como "spawn"), en un entorno lo más limpio posible para evitar infecciones. Esta mezcla se introduce en bolsas de cultivo selladas o directamente en moldes si se desea conformar una pieza desde el inicio del proceso.

- Incubación

Para que el micelio crezca adecuadamente, debe mantenerse en un entorno con condiciones ambientales controladas:

Temperatura: entre 20 y 25 °C

Humedad relativa: alrededor del 70%

pH: ligeramente ácido (en torno a 5,6 - 5,7)

En estas condiciones, el micelio comienza a colonizar el sustrato, extendiendo sus hifas y generando una masa compacta en un proceso que dura entre 4 y 10 días dependiendo del tamaño y densidad del molde.

- Moldeo

Durante el cultivo, se puede emplear un molde con la forma del objeto deseado.

Estos moldes pueden contener refuerzos de fibras vegetales como cáñamo, que el micelio incorpora a su red, creando una estructura tipo "sándwich" más sólida.

Una vez que el molde está completamente colonizado por el micelio, y antes de que se desarrollen cuerpos fructíferos (setas), se procede a la fase de inactivación.

- Inactivación y secado



Para detener el crecimiento y consolidar la forma del objeto, el bloque se somete a un proceso de calor y presión: se hornea durante unos 10 minutos en una prensa industrial, o a temperaturas controladas (80–90 °C) durante un tiempo mayor si no se dispone de equipo profesional. Este paso no solo elimina la humedad interna, sino que también mata el micelio vivo, impidiendo que se descomponga o evolucione con el tiempo. (DMAX España, s. f.)

5.2. Propiedades físicas y mecánicas.

El micelio presenta una combinación única de características físicas y mecánicas que lo convierten en un material emergente atractivo en el ámbito del diseño sostenible.

Aunque no puede competir directamente con materiales como el acero o el hormigón en términos de resistencia, sí ofrece un equilibrio notable entre ligereza, resistencia, capacidad de aislamiento y bajo impacto ambiental.

Una vez prensado y sometido a tratamiento térmico, el micelio forma un material compacto y sorprendentemente resistente para su peso, con una **resistencia mecánica** adecuada para aplicaciones no estructurales.

Su resistencia a la compresión puede compararse con la del cartón prensado o espumas vegetales, variando en función de la especie del hongo, el tipo de sustrato y las condiciones de cultivo. Además, es posible reforzarlo con fibras naturales como el cáñamo o el lino para mejorar su comportamiento estructural. (Medina-Gutiérrez, A.-C., Medina-Rodríguez, P.-J., Suesca-Díaz, A., & Morales-Fonseca, D., 2024; Foro Económico Mundial, s. f.)

En cuanto al aislamiento, su estructura porosa le permite retener calor, absorber ondas sonoras y reducir la reverberación, funcionando como un **eficiente aislante térmico y acústico**. Esta propiedad lo hace interesante para muebles destinados a espacios interiores que buscan mejorar el confort ambiental.

El micelio es también notablemente **ligero**, lo que facilita su manipulación, transporte y montaje, especialmente útil en mobiliario modular, apilable o efímero. Tiene densidades similares a las de algunos plásticos expandibles o espumas de embalaje. (MujerInTime, s. f)

Aunque los hongos son materia orgánica, el micelio tratado presenta una cierta **resistencia al fuego**, especialmente cuando se utiliza en combinación con fibras vegetales.

En ensayos controlados, el material no gotea al arder y se carboniza lentamente, generando una barrera térmica natural si se refuerza con aditivos ignífugos naturales o recubrimientos protectores.



A pesar de que el micelio ofrece buenas prestaciones en ambientes interiores, presenta cierta **sensibilidad a la intemperie** si se expone sin un tratamiento protector adecuado.

Su alta capacidad de absorción de humedad puede provocar hinchamientos, debilitamiento estructural o incluso descomposición si entra en contacto directo y prolongado con la lluvia.

Asimismo, su sensibilidad a la radiación ultravioleta conlleva una degradación progresiva de su superficie bajo exposición solar. Si no ha sido correctamente inactivado mediante calor o desecación, también existe el riesgo de que sea colonizado por insectos, otros hongos o bacterias.

No obstante, estas limitaciones pueden ser corregidas o minimizadas mediante la aplicación de recubrimientos protectores como ceras naturales, barnices ecológicos o resinas biodegradables que actúan como barrera frente a los agentes externos.

Desde el punto de vista del diseño, el micelio ofrece una gran **adaptabilidad formal**. Puede moldearse con facilidad en formas e incluso en geometrías orgánicas.

Además, es compatible con otros materiales como la madera, el metal o el vidrio, permitiendo la creación de piezas híbridas. También admite un alto grado de personalización mediante la aplicación de tintes naturales, texturas superficiales o grabados, lo que lo convierte en un material muy versátil. (Fernández, I., & Sostenible, A., s. f.)

Estas cualidades lo posicionan como un material viable y prometedor para el diseño de mobiliario sostenible, siempre que se respeten sus limitaciones técnicas y se apliquen los tratamientos adecuados en función del contexto de uso.



Figura 5. Paneles de micelio como material constructivo, España.

5.3. Ventajas frente a otros materiales

El micelio presenta múltiples ventajas frente a materiales tradicionales utilizados en el diseño de mobiliario, especialmente desde un enfoque sostenible e innovador.

El micelio destaca como un material altamente sostenible, tanto por su origen como por su comportamiento a lo largo de todo su ciclo de vida.

Al tratarse de la parte vegetativa de los hongos, su cultivo no requiere la explotación intensiva de recursos naturales, ni genera residuos tóxicos. (DesignWanted, 2022) De hecho, se desarrolla sobre residuos agrícolas de bajo coste como paja, serrín, cáscaras agrícolas o cartón reciclado, lo que permite transformar residuos biodegradables en nuevos productos funcionales.

Durante su producción, el micelio apenas consume energía, ya que no necesita altas temperaturas ni procesos industriales contaminantes.

A diferencia de materiales convencionales como el plástico, el metal o incluso la madera, su fabricación no implica emisiones significativas de CO₂ ni el uso de productos químicos nocivos y puede desarrollarse a pequeña escala, incluso en entornos descentralizados.

Esta baja huella ecológica se ve reforzada por la rapidez de crecimiento: mientras que un árbol puede tardar décadas en alcanzar un tamaño útil para ser talado, el micelio puede cultivarse en cuestión de días, lo que permite ciclos de producción mucho más rápidos y eficientes en términos de recursos y



tiempo sin agotar los recursos naturales. (CriticalConcrete, 2017; Bioresources and Bioprocessing, 2024)

Además, su carácter 100 % biodegradable y compostable garantiza un final de vida útil respetuoso con el medioambiente.

A diferencia de otros materiales que requieren procesos de reciclaje complejos o que generan residuos no recuperables, los productos hechos de micelio pueden descomponerse de forma natural sin liberar sustancias tóxicas y puede reincorporarse al suelo como nutriente sin generar residuos permanentes. (Adamatzky, A., & Jones, J., 2023)

Todo ello posibilita una producción adaptable, local y de bajo impacto ambiental, convirtiéndolo en un material alineado con los principios del ecodiseño y la economía circular.

Estas ventajas sumadas a sus propiedades físicas y mecánicas previamente mencionadas como su ligereza, capacidad de aislamiento térmico y acústico, y su facilidad de moldeo, hacen del micelio un material competitivo para múltiples aplicaciones donde se prioricen la sostenibilidad, la innovación y el bajo impacto ambiental.

Además, su compatibilidad con otros materiales y la posibilidad de aplicar diversos tratamientos amplían tanto su potencial técnico como sus cualidades expresivas. (Architectural Digest, 2022; Springer Nature, 2023)

5.4. Limitaciones y retos

A pesar de sus múltiples cualidades, el micelio presenta ciertos desafíos que deben considerarse en su aplicación. Su comportamiento en exteriores sigue siendo un reto, es sensible a la humedad, la radiación UV y los ataques biológicos si no se protege adecuadamente.

Además, su resistencia mecánica, aunque suficiente para ciertas aplicaciones, puede resultar limitada para usos exigentes o prolongados, especialmente en mobiliario que requiere soportar grandes cargas o un uso continuo. Esto obliga, en muchos casos, a reforzar el micelio con otros materiales o estructuras auxiliares, lo cual puede aumentar la complejidad del diseño o el coste de producción.

El cultivo también exige condiciones controladas de temperatura, humedad y esterilidad, lo que puede suponer una barrera para su producción a gran escala en entornos industriales tradicionales.

Por otro lado, aunque existen soluciones para mejorar su resistencia como recubrimientos con ceras, barnices o resinas ecológicas, es importante



asegurar que estos tratamientos no comprometan su carácter biodegradable ni sus ventajas ambientales.

Superar estos retos requiere seguir investigando para desarrollar procesos más eficientes y accesibles, además de promover la colaboración entre el diseño, la biotecnología y la ingeniería de materiales. De esta forma, se podrá aprovechar al máximo el potencial del micelio como material del futuro en el diseño sostenible. (Bioresources and Bioprocessing, 2024; Springer Nature, 2023)



6. Búsqueda de la propuesta

6.1. Definición del problema

En el contexto actual, marcado por la creciente preocupación medioambiental y la necesidad de adoptar hábitos de consumo más sostenibles, el diseño de productos debe ir más allá de su función inmediata y considerar su impacto ambiental a lo largo de todo su ciclo de vida.

El agotamiento progresivo de los recursos naturales, el incremento de los residuos no biodegradables y la elevada huella ecológica asociada a los procesos industriales tradicionales nos llevan a replantear cómo se conciben y desarrollan los productos desde una perspectiva más respetuosa con el entorno.

Ante esta situación, la sostenibilidad ya no es solo un valor añadido, sino una condición esencial a la hora de diseñar nuevos productos.

Esta transición hacia materiales y procesos más sostenibles ha impulsado la investigación en biomateriales que permitan reducir el uso de plásticos derivados del petróleo, disminuir las emisiones contaminantes y fomentar la economía circular.

El micelio, en este sentido, representa una opción muy interesante ya que se trata de un material natural, biodegradable, cultivable a partir de residuos orgánicos y con un ciclo de producción rápido y de bajo consumo energético.

Estas cualidades lo convierten en un material viable tanto desde el punto de vista ecológico como económico, especialmente para producciones pequeñas o proyectos con un enfoque local.

Por otro lado, los espacios infantiles interiores, como salas de espera pediátricas, tiendas infantiles o áreas de juego en centros públicos, plantean retos particulares: deben ser seguros, estimulantes y fácilmente adaptables a distintos usos, a menudo en superficies reducidas.

En este tipo de lugares, donde el espacio suele ser limitado y cambiante, surge la necesidad de elementos que no solo cumplan una única función, sino que se puedan adaptar a las necesidades de cada entorno, y al mismo tiempo, ofrecer una dimensión lúdica para los niños.

En el ámbito infantil, es difícil encontrar diseños que combinen juego y sostenibilidad. A menudo se opta por mobiliario convencional que no responde a las necesidades de interacción, creatividad y adaptabilidad que requieren los usuarios más pequeños, ni tampoco a los criterios de sostenibilidad que hoy se exigen en el diseño de interiores.



Este proyecto parte, por tanto, de la necesidad de desarrollar un sistema que resuelva varios problemas a la vez: el aprovechamiento del espacio en entornos interiores, la estimulación del juego libre y la creatividad de los más pequeños, y el uso de materiales ecológicos y económicos como el micelio.

Con esta base se inicia un proceso de búsqueda y definición de una propuesta que combine funcionalidad, sostenibilidad y valor lúdico en un solo objeto.

6.2. Antecedentes

6.2.1. Estudio de mercado

El objetivo del estudio de mercado es analizar de forma detallada los diseños existentes en el sector, con el fin de comprender cómo se han resuelto necesidades similares a las que se plantean en este proyecto, conocer las preferencias actuales, los hábitos de uso y las soluciones que ya ofrece el mercado.

Este análisis permite detectar oportunidades de mejora, incorporando un enfoque más sostenible y funcional, que contribuya al desarrollo de una propuesta más acorde con los objetivos establecidos.

El estudio realizado consiste en el análisis de diseños de piezas de mobiliario existentes en el mercado.

En concreto, se han seleccionado muebles multifuncionales, modulares o encajables que permiten configuraciones variables y que están destinados al público infantil o cumplen funciones similares a las planteadas en este proyecto. También se han analizado productos fabricados a partir de micelio, con el fin de valorar su aplicación en el ámbito del diseño de interiores y su viabilidad como biomaterial.

Nugget Couch es un sofá modular infantil muy popular en Estados Unidos. Este producto está compuesto por varias piezas de espuma que pueden reorganizarse libremente para formar sofás, colchonetas, fuertes o pequeñas estructuras.

Aunque su diseño no está basado en un sistema tipo puzzle, sí comparte la filosofía de fomentar la creatividad infantil a través de la manipulación de elementos simples, blandos y seguros.

Este modelo ha sido replicado por numerosas marcas en todo el mundo, dando lugar a un mercado consolidado de “play couches”. (Nugget Comfort, s.f.)



Figura 6. Piezas de Nugget Coach.



Figura 7. Configuración de Nugget Coach.



Figura 8. Nugget Coach configurado a modo de juego.

Otro ejemplo es el **Heypappy Tangram Couch**, inspirado en el clásico juego del Tangram, un rompecabezas chino compuesto por siete piezas geométricas (triángulos, cuadrado y paralelogramo).

Al igual que el Tangram, este producto está formado por piezas de diferentes formas que pueden combinarse como un puzzle tridimensional, pero en este caso las piezas son de espuma, permitiendo a los niños formar sofás, camas u otras estructuras.

El uso de figuras reconocibles aporta un componente lúdico interesante, fomentando el juego libre a través del diseño de la forma. (Hey Pappy, s.f.)



Figura 9. Contenido de Heypappy Tangram Couch.



Figura 10. Configuración vertical de Heypappy Tangram Couch.

También cabe destacar modelos como el **DISHUP 10-piece Kids Play Couch**, caracterizado por su número elevado de piezas encajables y su adaptabilidad a distintas configuraciones, desde una zona de descanso hasta un espacio de juego.

Al igual que los anteriores, este producto se fabrica con espuma y textiles sintéticos, sin considerar el impacto ambiental del material. (Walmartm, s.f.)



Figura 11. Distintas configuraciones de DISHUP 10-piece Kids Play Couch,



En cuanto al uso de biomateriales como el micelio en mobiliario, aunque su aplicación aún es limitada, comienzan a surgir propuestas interesantes en el mercado del diseño contemporáneo.

Por ejemplo, el proyecto **SAMOROST**, desarrollado en la República Checa y presentado en el festival Designblok 2023, incluye muebles y accesorios para interiores cultivados a partir de micelio en moldes impresos.

Entre ellos, destaca una mesa de centro de 1 100 mm de diámetro, que combina un lenguaje formal orgánico con un proceso de producción sostenible. (Inovace Od Buřinky, s.f.; 3Dnatives, 2024)

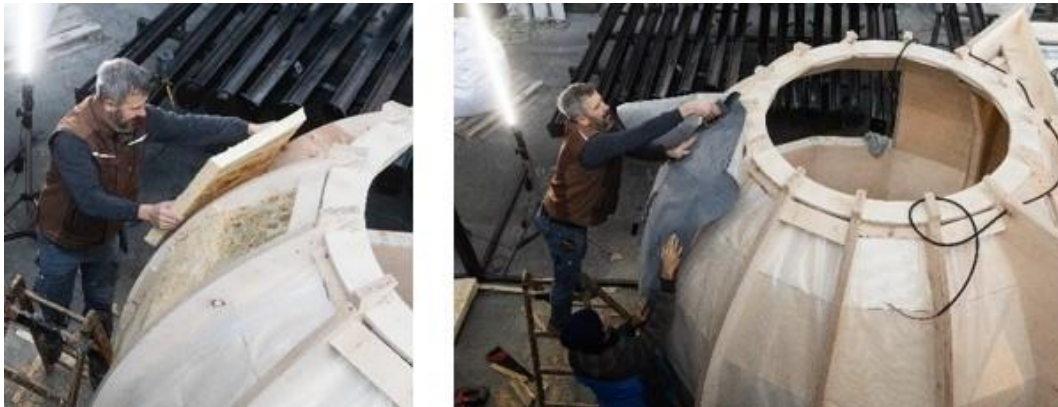


Figura 12. Progreso en la construcción de la casa SAMOROST, República Checa, 2025.



Figura 13. Mesa de centro impresa en 3D a partir de micelio del proyecto SAMOROST, República Checa, 2024.

Otro ejemplo destacado es el trabajo de la galería **Adorno Design**, que comercializa piezas de mobiliario como taburetes (*MyStool*, *Spore*) y mesas auxiliares (*Picchu*, *Cherry Picker*) fabricadas íntegramente con micelio. Estas piezas no están orientadas al ámbito infantil, pero demuestran la viabilidad del micelio como material estructural y decorativo en mobiliario interior. (Adorno Design, s.f.)



Figura 14. Cherry Picker, mesa de café de micelio de Adorno Design, Estados Unidos, 2023.



Figura 15. Picchu, escultura de micelio y mesa auxiliar de Adorno Design, Estados Unidos, 2024.



Figura 16. Mystool, taburete de micelio de Adorno Design, Suecia, 2023.

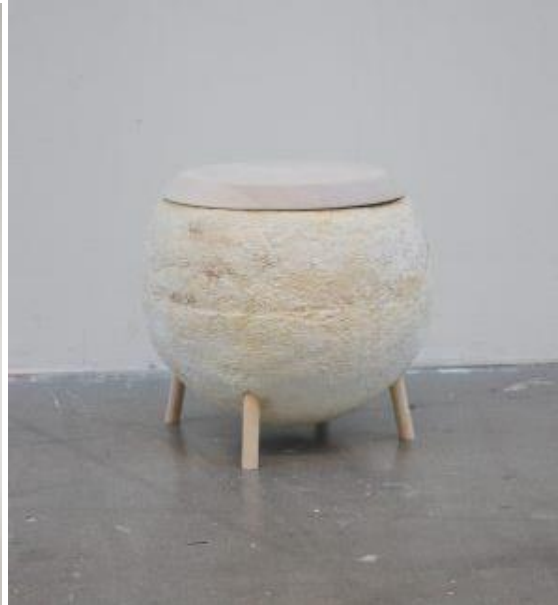


Figura 17. Spore, taburete de micelio de Adorno Design, Suecia, 2025.

A partir de este estudio se confirma que, si bien existen productos orientados al diseño de mobiliario infantil versátil y otros que exploran el uso de biomateriales como el micelio, no se ha identificado ninguna solución comercial que combine ambos enfoques: un sistema modular tipo puzzle para niños fabricado con micelio.

Esto refuerza la oportunidad de desarrollar una propuesta innovadora que integre sostenibilidad, funcionalidad y un diseño centrado en el juego.

6.2.2. Estado de la técnica

El estado de la técnica permite analizar desarrollos previos que guardan relación con el sistema de mobiliario modular infantil propuesto, ya sea por su



estructura, su uso, su enfoque educativo o por el material empleado. Su análisis permite conocer qué soluciones han sido previamente registradas, para así valorar la originalidad de la propuesta y evitar posibles coincidencias con productos protegidos.

Se ha realizado una revisión de patentes y modelos de utilidad a nivel internacional buscando mobiliario modular infantil, sistemas ensamblables con finalidad lúdica, y productos hechos a base de micelio.

A continuación, se resumen los documentos encontrados:

Una de las invenciones más destacables en cuanto a estructura modular es el modelo de utilidad **CN206979231U**, que describe un **sofá seccional modular para niños**.

Este diseño incluye piezas como respaldo, asiento y reposabrazos, que se ensamblan entre sí mediante barras y encajes cilíndricos. El sistema está concebido para que los niños puedan montar y desmontar el sofá, lo que fomenta la interacción, la cooperación y el desarrollo de habilidades manipulativas.

Aunque el enfoque modular y lúdico se asemeja al planteado en el presente proyecto, la invención no hace uso de materiales sostenibles ni presenta funcionalidades tridimensionales más allá del montaje lineal. (Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de la República Popular China, 2018)

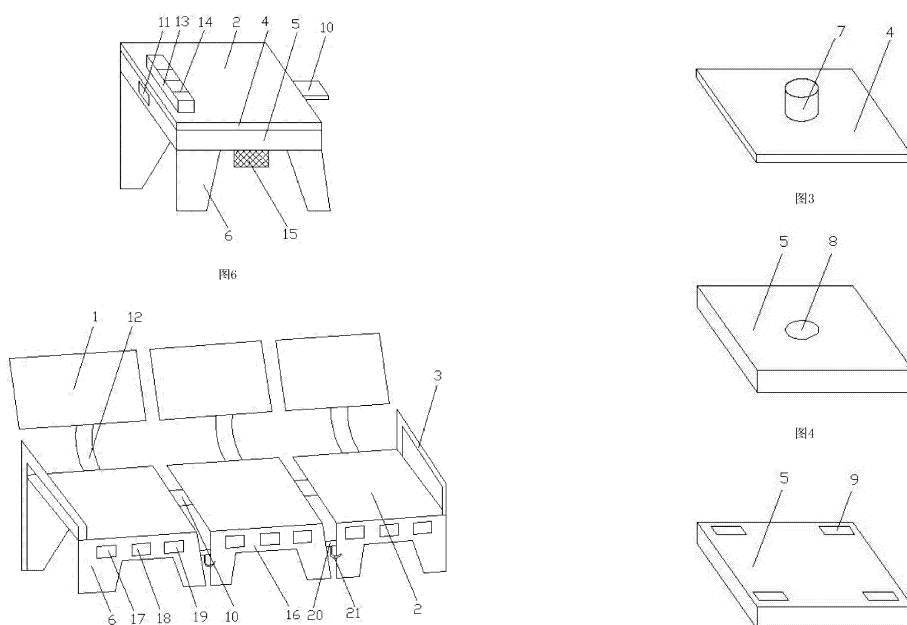


Figura 18. Sofá seccional modular para niños, China, 2018.



Otro caso relevante es **CN202739419U**, que presenta una **mecedora modular para parques** compuesta por una barra de soporte central a la que se sujetan varios módulos de asiento mediante orificios de encaje.

Esta estructura puede configurarse en grupo y desmontarse para utilizar los módulos como asientos individuales. Se trata de una solución pensada para entornos públicos como parques infantiles o zoológicos, y aunque comparte la lógica de modularidad y adaptabilidad a distintos usos, se aleja del concepto de puzzle tridimensional que se propone en este proyecto, y no contempla ni el uso de biomateriales ni un enfoque lúdico para niños. (Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de la República Popular China, 2013)

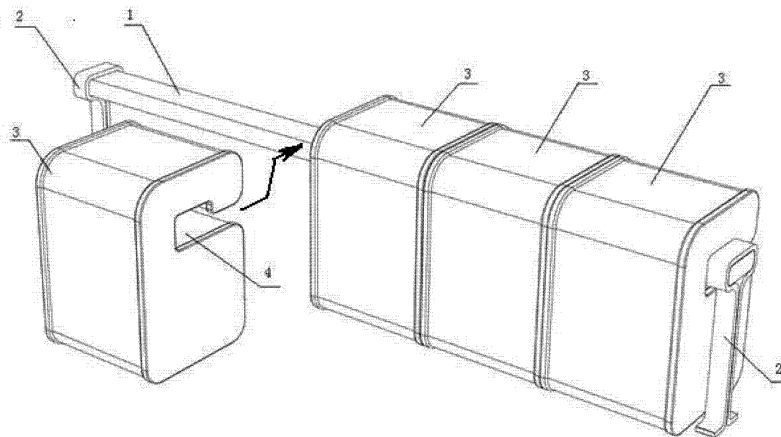


Figura 19. Mecedora modular para parques, China, 2013.

En el sector del mobiliario infantil transformable, destaca la invención francesa **FR3012305A1**, que propone un **sistema de construcción modular** formado por cajas encajables con apertura diagonal, al estilo de muñecas rusas. Estas cajas permiten crear formas tridimensionales y estructuras de mobiliario mediante un juego de encajes triangulares. El sistema favorece la manipulación por parte de los niños y destaca por su enfoque lúdico y multifuncional.

El material empleado es cartón, que proporciona ligereza y bajo coste. Aunque el material es diferente, también se trata de un material sostenible.

Además, comparte la idea de estimular la creatividad infantil formando formas y combinaciones libres con las piezas, por lo que resulta una referencia interesante desde el punto de vista del diseño y su uso en el juego. (Institut National de la Propriété Industrielle, 2012)

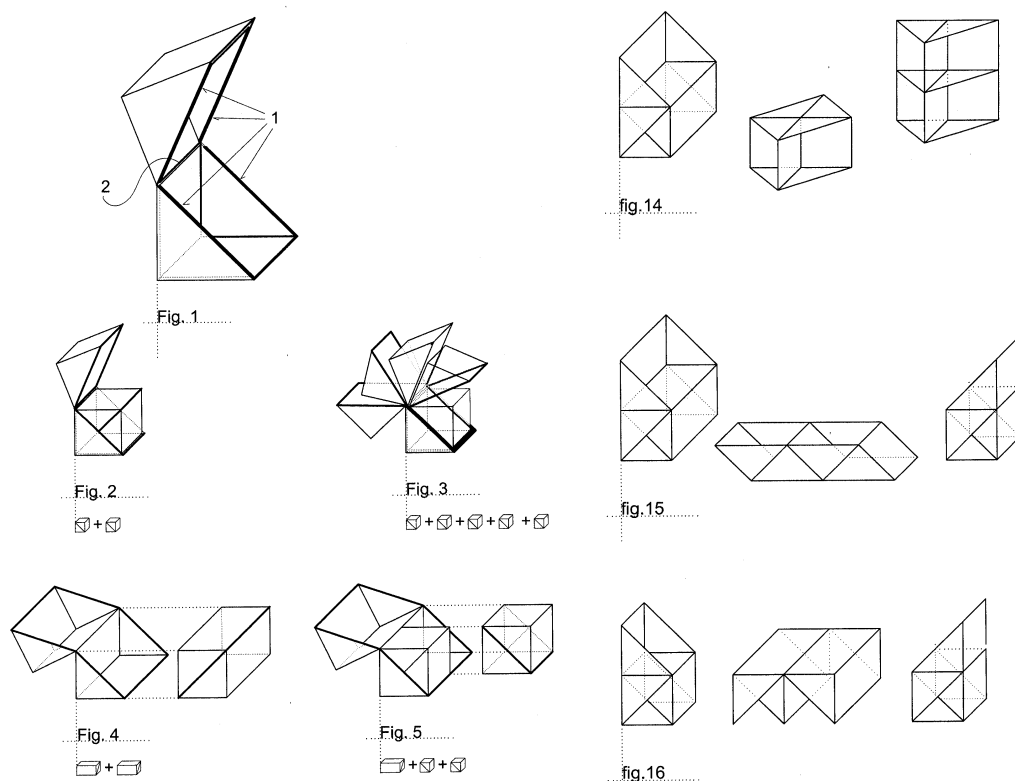


Figura 20. Sistema de construcción modular, Francia, 2015.

En cuanto al ámbito de los materiales, la patente **FR3006693A1** presenta un **procedimiento de fabricación de un material compuesto a base de fibras naturales y micelio**. El proceso incluye la pasteurización del sustrato, la inoculación con micelio, una fase de incubación y un prensado en caliente, lo que genera una materia viscosa que une los componentes y forma el material final.

Esta invención aporta una base tecnológica sólida sobre cómo generar un compuesto con propiedades estructurales a partir de micelio, y se relaciona directamente con el uso del micelio como base para la fabricación del mobiliario propuesto en este trabajo. (Institut National de la Propriété Industrielle, 2014)

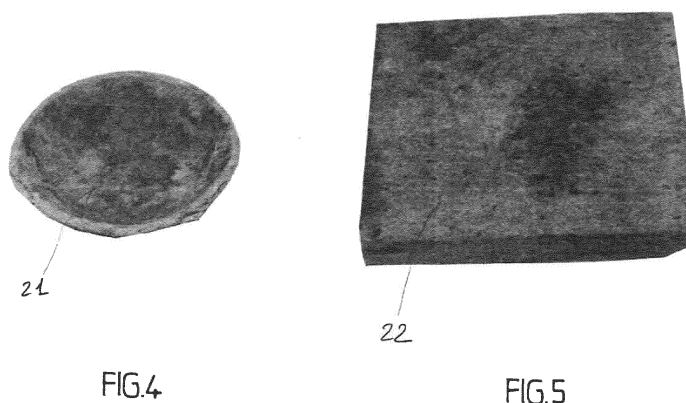


Figura 21. Material compuesto a base de fibras naturales y micelio, Francia, 2014.



En la misma línea, la patente **EP3828260A1**, publicada por la empresa Grown Bio B.V., describe el desarrollo de un **biomaterial compuesto a partir de sarmiento de vid, micelio y semillas**.

Se parte del micelio del hongo *Pleurotus ostreatus*, combinado con sarmiento de vid triturado y semilla de alpiste como sustratos.

El proceso consta de varias etapas, claramente especificadas en el documento:

- Preparación del sarmiento de vid

En la patente se describe que el sarmiento de vid, utilizado como componente leñoso del biocompuesto, se somete primero a un secado a temperatura ambiente durante cinco días. Posteriormente, se realiza un segundo secado en horno a 100 °C durante 24 horas, lo que reduce la humedad por debajo del 10 %. A continuación, el material se tritura y se tamiza, obteniendo una distribución granulométrica del 60 % de partículas menores de 2 mm y el 40 % restante entre 2 y 5,6 mm.

- Preparación del sustrato para el crecimiento del micelio

La formulación del biocompuesto se basa en una mezcla en proporciones volumétricas de 50 % de sarmiento de vid, 30 % de semilla de alpiste y 20 % de micelio. Esta mezcla se esteriliza mediante autoclave a 121 °C, con una duración de entre 20 y 45 minutos.

Tras la esterilización, se inocula el micelio en el sustrato y se deja incubar durante 7 días a 25 °C en cajas de polipropileno hasta que el micelio coloniza completamente la mezcla.

- Moldeo y secado

Las mezclas se introducen en moldes abiertos que permiten la circulación de aire, y se deja en incubación durante 7 días para que el micelio complete su crecimiento con la forma deseada.

Finalizado este periodo, las piezas se someten a un secado en horno a 100 °C durante 48 horas, obteniendo así el material consolidado.

- Tratamiento final

Tras el secado, las piezas se trataron mediante la aplicación de resinas de fijación, como epoxi, poliuretano o colofonia, con el objetivo de estabilizar el material y mejorar su cohesión. Estas muestras, ya tratadas con resina, fueron las que se utilizaron en los ensayos mecánicos de compresión y flexión.

La patente señala que los valores obtenidos fueron similares independientemente de la técnica utilizada para aplicar la resina.

Se incluyen ensayos mecánicos realizados sobre muestras de este material, en los que se obtuvieron los siguientes resultados:

- Resistencia a compresión: entre 47 y 53 N/mm², con una media de 50,15 N/mm².
- Resistencia a flexión: entre 5,51 y 6,95 N/mm², media 6,23 N/mm².
- Densidad del material seco: entre 0,15 y 0,25 g/cm³, recomendándose un valor medio de 0,21 g/cm³.
- También se documentan pruebas de inflamabilidad (ensayo UL94, sin ignición tras llama directa) e impermeabilidad (absorción de agua < 0,1 % tras 1 h de inmersión).

Esta patente resulta especialmente relevante para este trabajo, ya que proporciona datos cuantitativos sobre resistencia a compresión y flexión, que pueden servir como referencia técnica para valorar el comportamiento estructural del material utilizado en el presente proyecto. (Universidade Católica Portuguesa, 2021)

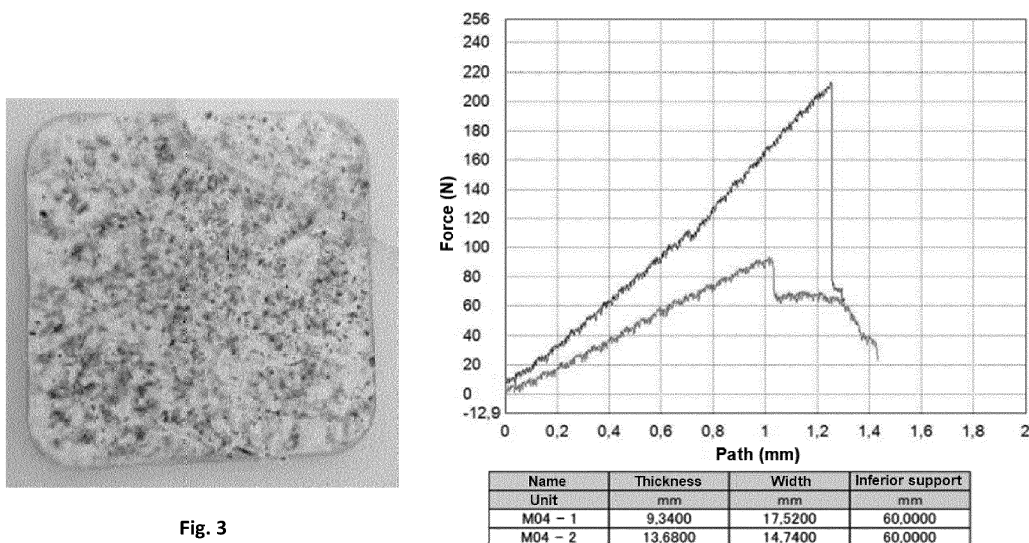


Fig. 3

Figura 22. Biomaterial compuesto a partir de sarmiento de vid, micelio y semillas, Portugal, 2021.

El análisis del estado de la técnica revela que existen propuestas centradas en la modularidad, el juego y el micelio, pero no se ha identificado ninguna invención que integre estos tres aspectos de manera conjunta. Esto refuerza el carácter innovador de la propuesta presentada, y sugiere la viabilidad de una futura protección mediante propiedad industrial.



6.3. Búsqueda de la idea

Durante el proceso de desarrollo del proyecto se generaron múltiples ideas de diseño, todas ellas bajo una misma premisa: el uso del micelio como material estructural en el diseño de mobiliario.

Las propuestas fueron surgiendo a partir de la reflexión sobre la modularidad, la forma orgánica y la sostenibilidad, dando lugar a diferentes líneas conceptuales que se plasmaron tanto en bocetos como en modelos digitales.

El proceso creativo comenzó con el diseño de una mesa compuesta por un cuerpo de micelio combinado con una superficie superior de cristal.

La forma orgánica del volumen principal está inspirada en estructuras naturales como las setas. Sus curvas y pliegues evocan el crecimiento radial de sus sombreros, siguiendo un enfoque de biomímesis, es decir, imitando formas y patrones presentes en la naturaleza. El cristal aparece como un elemento de contraste que protege la pieza central de micelio, a la vez que permite visualizar su interior.

Es una propuesta centrada en la estética y la expresividad, más cercana al diseño escultórico que al funcional.

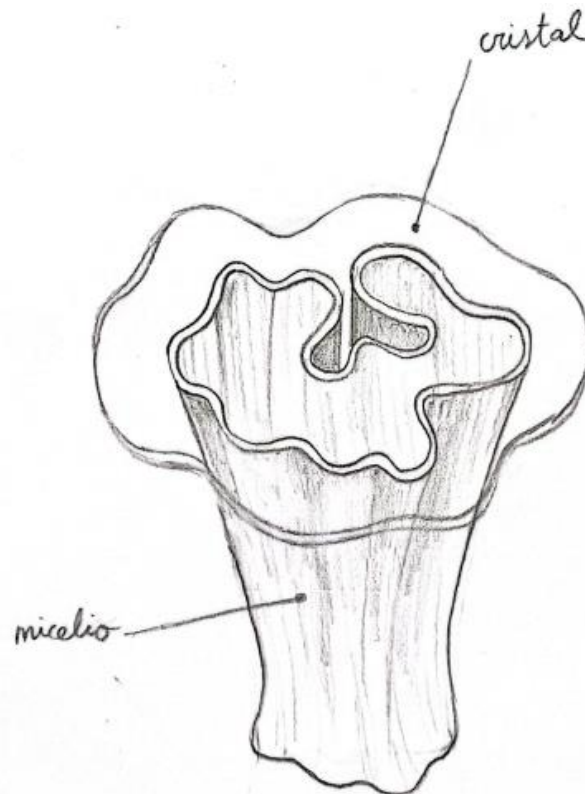


Figura 23. Propuesta 1: mesa orgánica. Elaboración propia.

A partir de esta experimentación inicial, surgieron distintas aproximaciones centradas en el diseño de bancos.



A continuación, se muestran los primeros bocetos, los cuales responden a una idea sencilla: volúmenes básicos y proporciones convencionales que cumplen con la función de asiento, pero sin introducir elementos diferenciales a nivel formal o funcional. Estos ensayos sirvieron como punto de partida para explorar otras posibilidades.

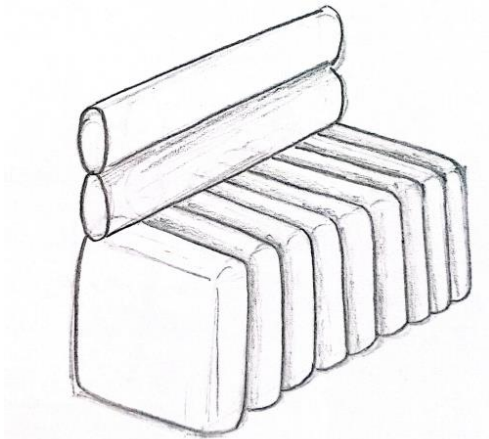


Figura 24. Propuesta 2: banco 1. Elaboración propia.



Figura 25. Propuesta 3: banco 2. Elaboración propia.

Uno de los desarrollos posteriores consistió en un banco formado por láminas verticales de micelio cada una con una geometría curva distinta. Al ensamblarlas generan un volumen de apariencia continua y aspecto orgánico, inspirado en la morfología de las setas por su silueta irregular y fluida, en la que respaldo y asiento se integran en una única superficie curva.

El sistema de fabricación se basa en la repetición de secciones cortadas que se ensamblan de manera secuencial para conformar el conjunto.

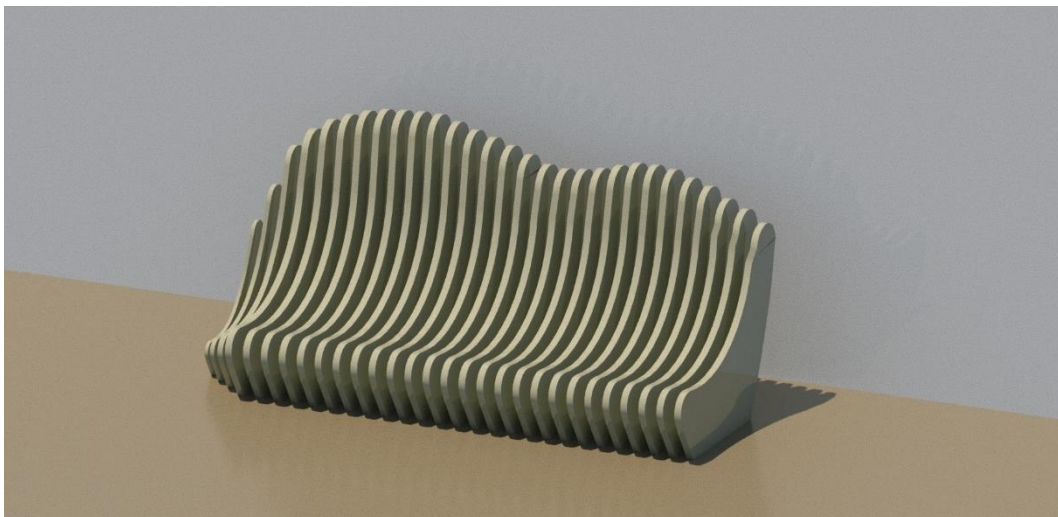


Figura 26. Propuesta 4: banco formado por láminas de micelio. Elaboración propia.

A raíz de esta investigación surgió una línea de exploración centrada en la modularidad.



Una de las primeras propuestas en esta dirección consistía en un sistema de bancos con respaldo ensamblables sin un mecanismo de unión definido.

Las piezas tenían formas geométricas diversas, con vértices marcados, y estaban pensadas para combinarse en distintas configuraciones según el espacio disponible, pudiendo conformar líneas, esquinas, hexágonos u otras composiciones.

Este enfoque permitía cierta adaptabilidad espacial, aunque aún no contemplaba una interacción más directa por parte del usuario.

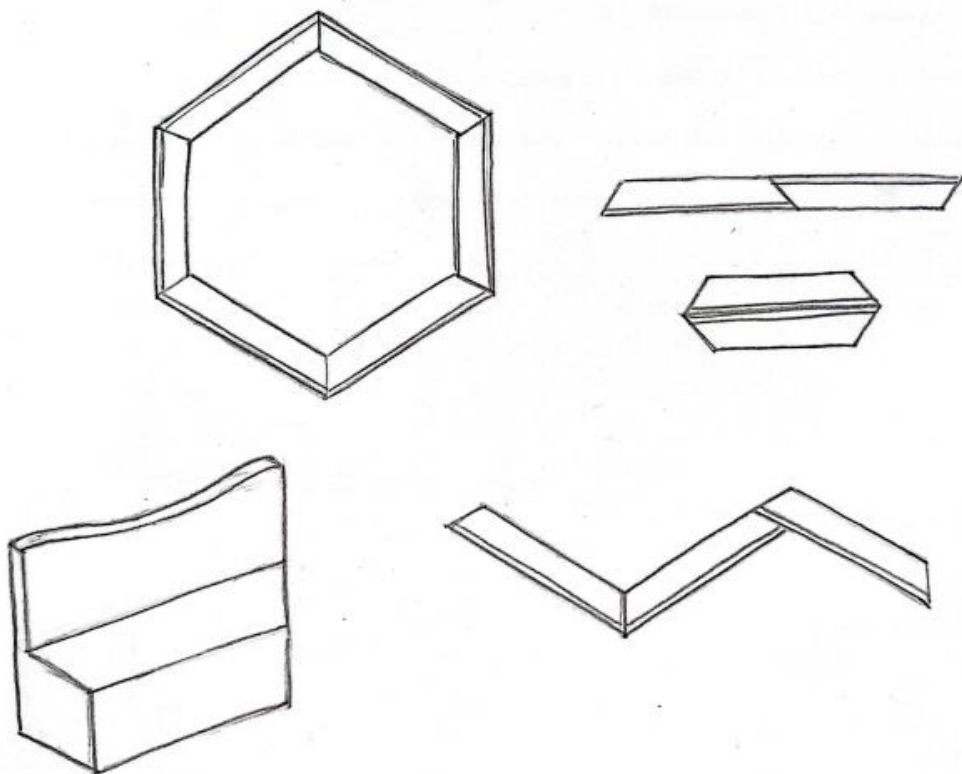


Figura 27. Propuesta 5: banco modular geométrico. Elaboración propia.

A esta propuesta le siguió una idea con formas más suaves, en la que los módulos presentan ángulos redondeados y un sistema de encaje tipo puzzle que permite la unión entre piezas. Las piezas tienen una sección en forma de canal curvado que proporciona tanto asiento como respaldo, y se pueden unir en línea o en ángulo para adaptarse al espacio disponible aportando continuidad visual y reforzando la sensación de conjunto.

El diseño está pensado para facilitar el montaje y desmontaje por parte de los propios usuarios, fomentando así la participación activa y la personalización del entorno.

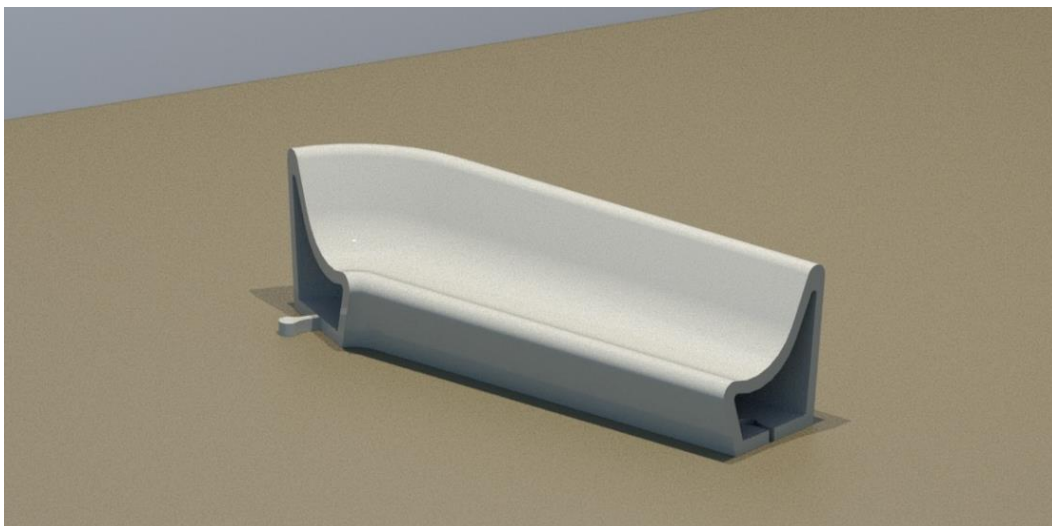


Figura 28. Propuesta 6: banco modular curvo. Elaboración propia.

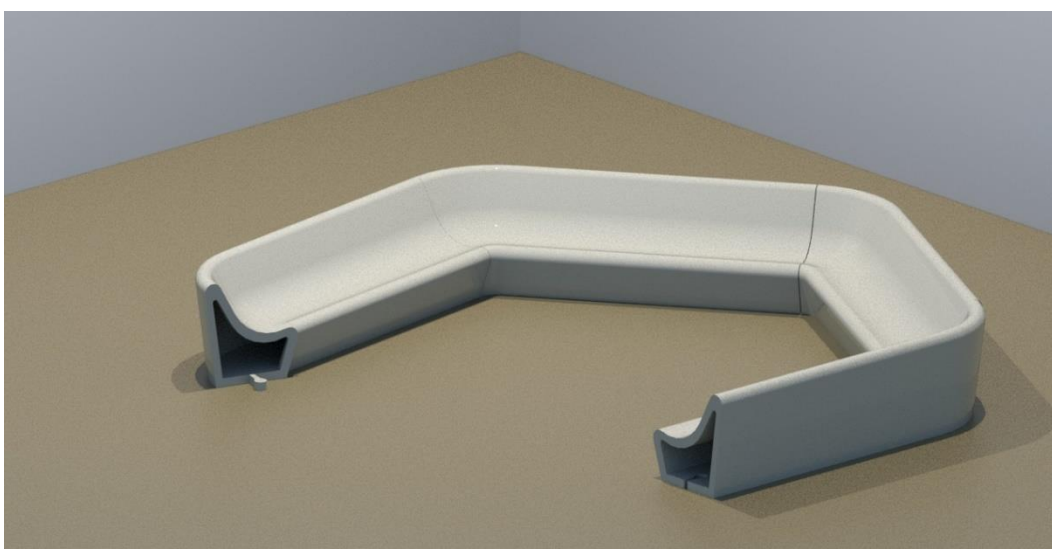


Figura 29. Propuesta 6: composición de 4 bancos modulares curvos. Elaboración propia.

Dentro de esta evolución conceptual, se avanzó hacia una propuesta en la que las piezas modulares tienen un tamaño más reducido y están pensadas para ser manipuladas por niños.

Esta versión incorpora no solo el asiento como función, sino también el juego y el montaje libre como parte de la experiencia. Las piezas pueden encajarse de diversas maneras para crear bancos con o sin respaldo de distintas formas, figuras o estructuras temporales, fomentando la creatividad.

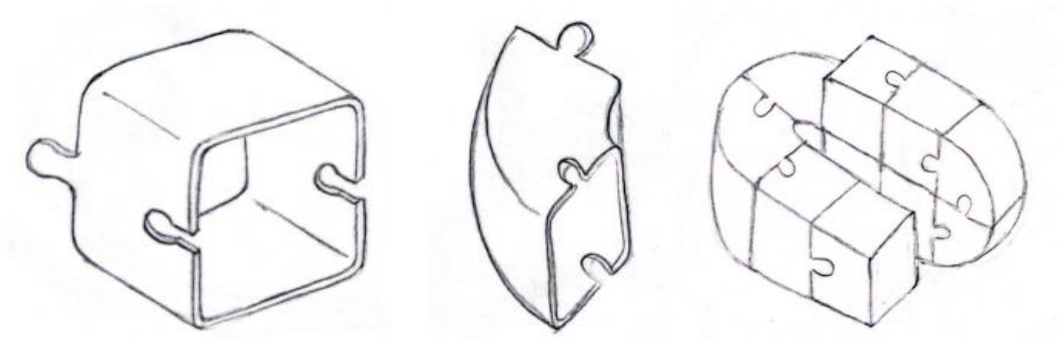


Figura 30. Propuesta 7: banco modular infantil tipo puzzle. Elaboración propia.

6.4. Selección de la propuesta

Para determinar la alternativa más adecuada, se elaboró una matriz de decisión ponderada en la que se evaluaron diversas propuestas según varios criterios. Este método permite comparar distintas opciones considerando tanto sus fortalezas como la importancia relativa de cada aspecto evaluado.

Los parámetros de evaluación seleccionados fueron la comodidad, la estética, la originalidad, la adaptabilidad espacial, la multifuncionalidad, el coste de fabricación y la sostenibilidad. A cada parámetro se le asignó un valor porcentual en función de su importancia dentro del proyecto.

Cada propuesta fue valorada en una escala del 1 al 5 para cada parámetro, siendo 5 la mejor puntuación.

En el caso del coste de fabricación, se invirtió el criterio otorgando un 5 a la opción más económica y un 1 a la más costosa, con el fin de mantener la lógica positiva del sistema de puntuación.

A continuación, cada valor fue multiplicado por el peso relativo asignado a cada parámetro.

Por último, se sumaron los valores ponderados obtenidos para cada propuesta, generando una puntuación final única (sobre 5) por alternativa.



	Ponderación	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6	Alt. 7
Comodidad	15%	4	2	3	2	3	4	3
Estética	20%	5	2	2	4	3	3	4
Originalidad	15%	4	2	2	3	3	4	5
Adaptabilidad espacial	10%	1	1	1	1	4	4	5
Multifuncionalidad	10%	1	1	1	1	3	3	5
Coste de fabricación	5%	1	2	3	3	2	4	4
Sostenibilidad	25%	3	5	5	5	5	5	5
	Total	3,2	2,55	2,75	3,15	3,55	3,95	4,45

Tabla 2. Matriz de decisión ponderada. Elaboración propia.

Este proceso permitió identificar de forma cuantitativa la opción más equilibrada en términos de funcionalidad, viabilidad técnica, impacto económico y alineación con los valores sostenibles del proyecto.

Finalmente, se seleccionó como propuesta definitiva aquella que obtuvo la mayor puntuación: el banco modular infantil tipo puzzle. Además, esta alternativa fue la única que integraba una doble funcionalidad, ya que puede utilizarse tanto como asiento como elemento de juego para los niños.



7. Propuesta final

7.1. Estudios y normativa

7.1.1. Normativa aplicable

Se ha realizado un estudio sobre el conjunto de normativas, reglamentos y estándares técnicos que regulan el diseño, desarrollo, fabricación y comercialización del producto, el cual, presenta una doble funcionalidad, mobiliario y juego infantil, y está destinado a espacios interiores frecuentados por niños como consultas pediátricas o tiendas especializadas.

Dado que el producto presenta una clara funcionalidad lúdica y va a ser manipulado por niños para su ensamblaje y juego, se clasifica legalmente como juguete según la Directiva 2009/48/CE, lo que exige incorporar el marcado CE antes de su comercialización en el mercado de la Unión Europea. Esto garantiza que cumple con los requisitos esenciales de seguridad y salud aplicables a productos infantiles. (Parlamento Europeo y Consejo, 2009)

A continuación, se enumeran las principales normativas aplicables, junto con las normas armonizadas o estándares técnicos de referencia:

- SEGURIDAD INFANTIL Y MARCADO CE

Directiva 2009/48/CE sobre la seguridad de los juguetes
Aplicable a todos los productos que, por su diseño y finalidad, se destinan a niños menores de 14 años para jugar. (Parlamento Europeo y Consejo, 2009)

Aunque el banco no sea un juguete convencional, su función lúdica requiere el cumplimiento de esta normativa, que exige:

- Ausencia de aristas cortantes o elementos peligrosos.
- Estabilidad estructural y resistencia a impactos y caídas.
- No toxicidad de los materiales en contacto con la piel o la boca.
- Evitar puntos de atrapamiento para dedos, cabeza o extremidades.
- Etiquetado e instrucciones cuando sean necesarias.

Normas armonizadas aplicables:

- UNE-EN 71-1: Propiedades mecánicas y físicas. (Asociación Española de Normalización, s.f.)
- UNE-EN 71-3: Migración de ciertos elementos (toxicidad química). (Asociación Española de Normalización, s.f.)



- UNE-EN 71-9 / 71-10 / 71-11: Evaluación y ensayo de riesgos químicos. (Asociación Española de Normalización, s.f.)
- UNE-EN IEC 63000:2022: Evaluación técnica de sustancias peligrosas (requisito transversal en productos con componentes químicos). (Asociación Española de Normalización (UNE), 2022)
- SEGURIDAD GENERAL DE LOS PRODUCTOS

Reglamento (UE) 2023/988 – Seguridad General de los Productos

Este reglamento, en vigor desde diciembre de 2024, sustituye a la Directiva 2001/95/CE. Aunque no aplica directamente cuando ya existe una directiva sectorial (como la de juguetes), se tiene en cuenta como marco general de seguridad para productos de consumo, especialmente en lo relativo a trazabilidad, vigilancia del mercado y retirada de productos. (Parlamento Europeo y Consejo, 2023)

- MOBILIARIO INFANTIL Y NO DOMÉSTICO

Aunque el producto se clasifique como juguete, también se utiliza como banco o asiento, por lo que se han considerado las siguientes normas técnicas aplicables al mobiliario para niños:

- UNE-EN 1729-1: Dimensiones funcionales de mobiliario escolar. Referencia para adaptar el diseño ergonómico a diferentes rangos de edad. (Asociación Española de Normalización, s.f.)
- UNE-EN 1729-2: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo. Establece criterios de estabilidad frente al vuelco, resistencia estructural a cargas y esfuerzos y seguridad en las uniones entre piezas. (Asociación Española de Normalización, s.f.)
- UNE-EN 16139: Requisitos para asientos en entornos no domésticos. Productos comercializados como mobiliario público (espacios sanitarios, salas de espera...). Define los niveles de uso según intensidad (moderado, severo) y los ensayos mecánicos necesarios. (Asociación Española de Normalización, s.f.)

- REGULACIÓN DE MATERIALES: MICELIO Y TINTES NATURALES

REACH – Reglamento (CE) nº 1907/2006

Este reglamento garantiza que los materiales no contengan sustancias químicas peligrosas para la salud o el medio ambiente. Aplica directamente al



micelio como material base y a los tintes naturales (café, cúrcuma, remolacha) utilizados en la coloración. (Parlamento Europeo y Consejo, 2006)

Se debe verificar:

- La ausencia de sustancias restringidas o cancerígenas.
- Que los tintes no liberen compuestos peligrosos durante su uso.
- Que se disponga de ficha técnica o certificado de inocuidad del micelio. (Parlamento Europeo y Consejo, 2006)

Normas aplicables:

- UNE-EN 71-3: Migración de metales pesados y elementos tóxicos. Cuando el producto pueda entrar en contacto con la boca o la piel de los niños. (Asociación Española de Normalización, s.f.)
 - UNE-EN 71-9 / 71-10 / 71-11: Análisis de riesgos químicos y métodos analíticos. Complementan la anterior, detallando los procedimientos de análisis para compuestos orgánicos volátiles (COVs), colorantes o aceites esenciales si se utilizan en el proceso de tintado. (Asociación Española de Normalización, s.f.)
 - UNE-EN IEC 63000:2022: Evaluación técnica de sustancias peligrosas, aplicable también como justificante ante REACH. (Asociación Española de Normalización (UNE), 2022)
- PRINCIPIOS DE ERGONOMÍA Y ACCESIBILIDAD
- UNE-EN ISO 26800: Principios ergonómicos en el diseño. Proporciona criterios generales para garantizar la usabilidad del producto por parte de personas con diferentes edades o capacidades físicas. (Asociación Española de Normalización, s.f.)

7.1.2. Estudio ergonómico

Para definir las dimensiones de los módulos que componen el sistema, se ha realizado un estudio ergonómico con el objetivo de encontrar las medidas que permitan el uso tanto por parte de niños como de adultos acompañantes, manteniendo además la coherencia formal y funcional del diseño modular.

Se ha considerado que los módulos se podrán utilizar como asientos, mesas, elementos de juego y construcción, por lo que la forma cúbica (con igual altura, anchura y profundidad) resulta adecuada para facilitar su apilado, ensamblaje y manipulación lúdica, sin comprometer la estética.



- Altura del asiento

Uno de los factores más relevantes es la altura del asiento, entendida como la distancia entre el suelo y la superficie de apoyo. Esta dimensión debe permitir una postura ergonómicamente adecuada para el mayor rango posible de usuarios. La altura poplíteica, es decir, la distancia entre el suelo y la parte posterior de la rodilla cuando la persona está sentada debe ser lo más parecida posible a la altura del asiento.

Según datos antropométricos del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST):

En la población adulta española, esta medida presenta un promedio de aproximadamente 440 mm en hombres y 420 mm en mujeres.

En el caso de los niños, esta altura varía considerablemente con la edad: a los 4 años se sitúa entre 280 y 300 mm, a los 7 años entre 330 y 360 mm, y a los 10 años entre 380 y 410 mm. (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2000)

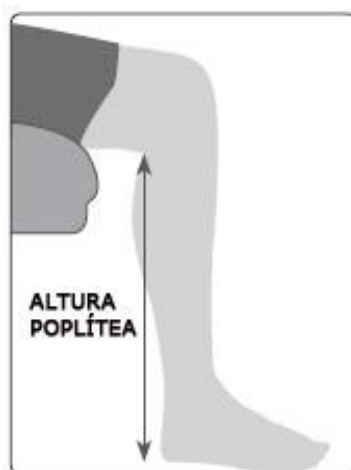


Figura 31. Altura poplíteica.

Se considera que una altura de asiento de entre 420 y 460 mm es adecuada para adultos, mientras que para niños menores de 6-7 años sería necesaria una altura menor.

Sin embargo, dado el enfoque versátil e intergeneracional del sistema, se ha optado por un valor intermedio de 430 mm, que se sitúa dentro del rango óptimo para adultos y permite también el uso por parte de niños mayores.

Además, incluso niños de menor edad pueden utilizarlo como asiento, aunque no lleguen a apoyar completamente los pies en el suelo, especialmente si se emplea otro módulo como reposapiés o si el entorno dispone de elementos que faciliten una postura más estable.



- Anchura y profundidad del módulo

Las otras dos dimensiones del cubo, anchura y profundidad, también se han fijado en 430 mm, manteniendo así la forma cúbica y favoreciendo la modularidad del sistema.

Aunque la anchura mínima recomendada para un asiento adulto suele situarse entre 400 y 450 mm, en este sistema modular dicha medida no supone una limitación, ya que la anchura se puede modificar uniando más o menos módulos y sentándose más o menos personas, por lo que la anchura de cada uno de los módulos no importaría.

En niños, se recomiendan profundidades ligeramente menores (300–350 mm), pero una dimensión de 430 mm sigue siendo utilizable, especialmente al tratarse de un elemento sin respaldo o con respaldo opcional.

La forma cúbica permite además que los módulos funcionen como bancos sin respaldo o que incorporen un respaldo mediante el ensamblaje de otras piezas del sistema.

- Manipulación por parte de niños

También se ha tenido en cuenta la capacidad de los niños para mover las piezas durante el juego. Según datos antropométricos:

La envergadura media (distancia entre extremos de los brazos extendidos) en niños de 4–7 años oscila entre 550 y 800 mm, lo que les permite abarcar una pieza de 430 mm. (Institute of Ergonomics & Human Factors, s.f.)



Figura 32. Medición de la envergadura, Chile.

Dado que el micelio es un material ligero, la manipulación de los módulos por parte de los niños resulta viable, especialmente si se incorporan elementos que faciliten el agarre.

En nuestro caso, este papel lo cumplen las formas tipo puzzle presentes en los laterales, que no solo permiten el ensamblaje entre piezas, sino que también sirven como zonas desde las que los niños pueden sujetar y levantar los módulos con mayor facilidad.

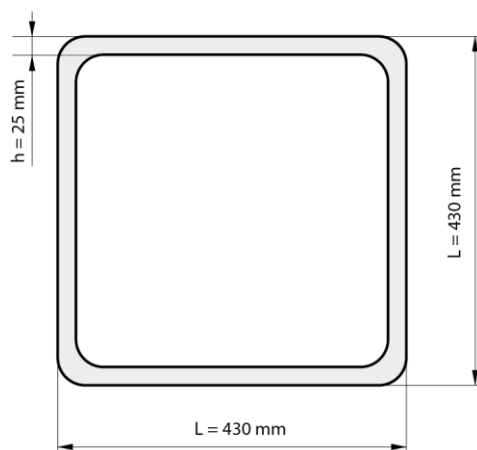
Tras analizar las distintas variables antropométricas y las necesidades funcionales del sistema, se concluyó que una dimensión de **430 mm en cada eje** representa la mejor opción.



7.1.3. Estudio mecánico

El objetivo de este estudio mecánico es comprobar si el material propuesto, un biocompuesto hecho a base de micelio, posee las propiedades estructurales adecuadas para su aplicación en un sistema modular destinado al uso infantil, tanto en su función como asiento, como en su dimensión lúdica, en la que las piezas pueden manipularse y ensamblarse libremente durante el juego.

En particular, se analiza la resistencia de la sección superior del módulo, sometida a una carga puntual centrada, para determinar si el espesor propuesto (25 mm) es adecuado y si se cumple un coeficiente de seguridad aceptable para que resista de forma segura el peso de los usuarios.



*Figura 33. Sección transversal del módulo.
Elaboración propia.*

Para definir los parámetros iniciales del estudio, se han tomado como referencia los datos aportados en la patente EP3828260A1. Esta fuente técnica permite establecer un punto de partida realista para estimar el comportamiento mecánico del material en condiciones de uso.

Se ha optado por simplificar el análisis mecánico considerando la pieza como una viga simplemente apoyada. Este modelo es habitual para estructuras que descansan sobre dos apoyos sin empotramientos, lo cual se ajusta a la geometría y función del módulo: el usuario se sienta sobre la parte superior, generando una carga vertical, mientras que los extremos reposan sobre el suelo.

Se ha utilizado un apoyo fijo en un extremo y un apoyo móvil o deslizante en el otro para garantizar la estabilidad estructural y permitir la expansión o contracción del material sin generar esfuerzos adicionales por bloqueo. Esta combinación es usual en análisis estructurales, ya que asegura que el sistema esté isostático y que se pueda resolver mediante las ecuaciones de equilibrio.



La luz (L) corresponde a la distancia entre apoyos, en este caso, 430 mm.

Se considera que el peso del usuario se distribuye, lo que, a efectos de cálculo, se simplifica modelándola como una carga puntual centrada en la viga.

Debe tenerse en cuenta que el mobiliario está destinado tanto a niños como a sus acompañantes adultos, por lo que debe poder resistir el peso de dichos acompañantes.

Según datos antropométricos, un adulto de complexión media suele pesar entre 70 y 90 kg. Algunas normas técnicas, como la UNE-EN 1729 (mobiliario educativo) o la UNE-EN 581 (mobiliario de uso exterior y público), exigen que el mobiliario sea capaz de resistir cargas mínimas de hasta 800 N o superiores.

Por lo tanto, se ha tomado como carga vertical $P = 800$ N, que equivale aproximadamente al peso de un usuario de 80 kg multiplicado por la gravedad ($80 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 785 \text{ N}$). Esta estimación incluye un pequeño margen de seguridad, pudiendo resistir un peso ligeramente mayor o ciertas situaciones como movimientos o impactos.

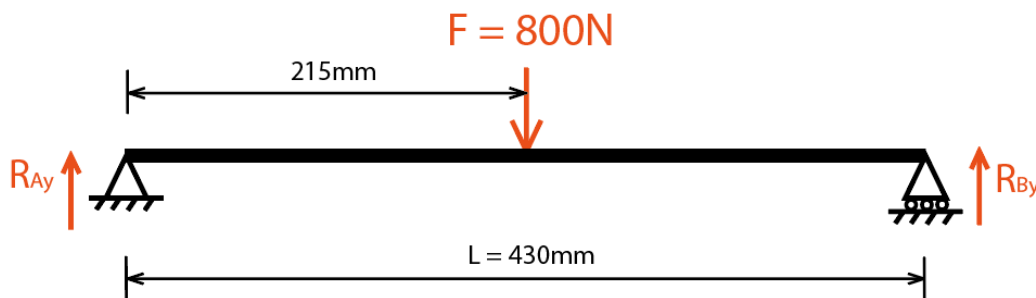


Figura 34. Esquema de viga apoyada con carga puntual centrada. Elaboración propia.

- Cálculo de las reacciones en los apoyos

Para que la estructura esté en equilibrio, debe cumplirse la condición de que la suma de fuerzas y momentos sea cero:

Sólo se analiza el equilibrio vertical y el momento respecto a un punto (en este caso, el apoyo izquierdo), ya que no hay fuerzas horizontales.

- Momento respecto a A

$$\Sigma_{M_A} = 0 \Rightarrow 430 \times R_B = 215 \times P \Rightarrow R_B = \frac{215 \times 800}{430} = 400 \text{ N}$$

- Fuerzas verticales

$$\Sigma_{F_y} = 0 \Rightarrow R_A + R_B = P \Rightarrow R_A = 800 - 400 = 400 \text{ N}$$



- Cálculo del momento flector máximo

El momento flector mide la tendencia de la estructura a doblarse. En una viga simplemente apoyada con carga puntual centrada, el momento máximo se localiza en el centro y se calcula con la siguiente fórmula (deducida de las ecuaciones de equilibrio):

$$M_z = \frac{F \cdot L}{4} = \frac{800 \cdot 430}{4} = \mathbf{86000N \times mm}$$

- Cálculo de la tensión máxima

La tensión máxima aparece en la parte superior e inferior de la sección, las zonas más alejadas del centro de la sección, ya que, al doblarse la pieza por efecto de la carga, esas zonas son las que más se estiran o comprimen. Para calcular cuánta tensión soportan esas zonas, se usa la siguiente fórmula:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M \cdot c}{I}$$

En la que M corresponde al momento flector máximo ya calculado

$$M = M_z = \mathbf{86000N \times mm}$$

c es la mitad de la altura total de la sección transversal. Corresponde a la distancia vertical entre el eje neutro (que está en el centro de la altura) y el borde superior o inferior.

$$c = \frac{h}{2} = \frac{25}{2} = \mathbf{12,5mm}$$

I es el momento de inercia de la sección respecto al eje neutro. Mide la rigidez geométrica ante la flexión y se calcula como:

$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$, donde: b es el ancho de la pieza (en este caso, la medida horizontal del asiento) y h es la altura o espesor de la sección que trabaja a flexión. De aquí se deduce que cuanto más lejos esté la masa del eje neutro (es decir, cuanto más alta sea la sección), más resiste la flexión.

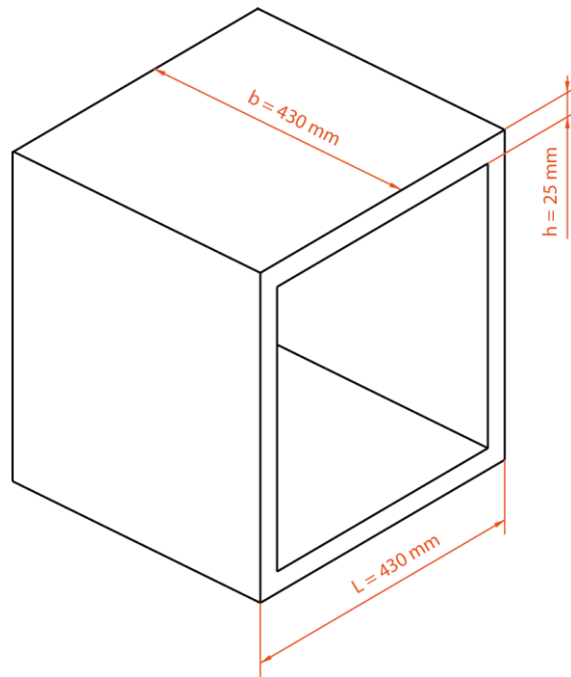


Figura 35. Dimensiones del módulo: ancho, espesor y luz de cálculo. Elaboración propia.

$$I = \frac{430 \cdot 25^3}{12} = 559895,833 \text{ mm}^4$$

Sustituyendo en la fórmula de la tensión máxima:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{86000 \cdot 12,5}{559895,833} = 1,92 \text{ N / mm}^2$$

- Comparación con la resistencia del material

La resistencia a flexión del material (según datos experimentales de la patente EP3828260A1) es de:

$$\sigma_{\text{lím}} = 6,23 \text{ N/mm}^2$$

Para evaluar la seguridad estructural, se calcula el coeficiente de seguridad, que indica cuántas veces el material puede resistir la tensión generada:

$$\sigma_{\text{máx}} \leq \frac{\sigma_{\text{lím}}}{\text{coef. seg.}} \Rightarrow \text{coef. seg.} = \frac{6,23}{1,92} \approx 3,245$$

Este resultado muestra que el material resiste más del triple de la tensión generada, lo cual es favorable.

En aplicaciones de mobiliario, es habitual un coeficiente de seguridad entre 2 y 3, por lo que este valor proporciona un margen amplio, permitiendo ciertas



variaciones y asegurando la resistencia estructural incluso en caso de que las propiedades del material real no coincidan exactamente con las especificadas en la patente.

- Diagramas de esfuerzos y deformaciones

Se representan a continuación los diagramas asociados al modelo estructural:

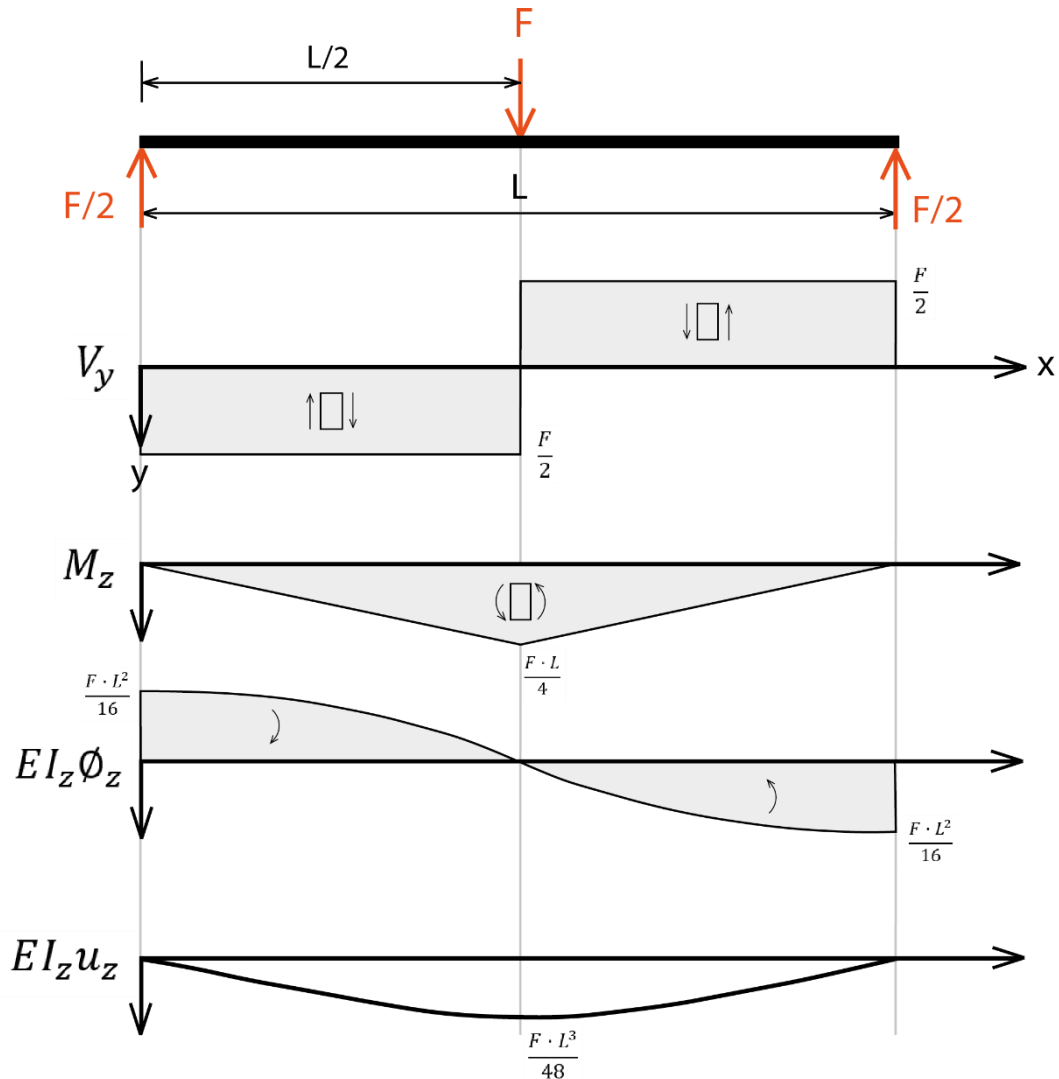


Figura 36. Diagramas de esfuerzos y deformaciones de la viga. Elaboración propia.

En primer lugar, el diagrama de esfuerzos cortantes (V_y) se construye partiendo del valor de la reacción vertical en el apoyo izquierdo ($+F/2$).

Dado que no hay cargas intermedias hasta el centro de la viga, el valor se mantiene constante en ese tramo. En el punto medio, la carga puntual provoca un salto descendente de magnitud F , invirtiendo el signo del cortante a $-F/2$. Este valor permanece constante hasta el apoyo derecho.

El diagrama de momentos (M_z) comienza en cero en el apoyo izquierdo ya que el apoyo no puede ejercer momento.



Puesto que el esfuerzo cortante es constante ($+F/2$) en la primera mitad, el momento crece linealmente hasta el centro de la viga. En ese punto alcanza su valor máximo. A partir de ahí, el cortante es constante pero negativo ($-F/2$), lo que provoca un descenso lineal y simétrico del momento hasta volver a cero en el apoyo derecho.

Todo el trazado ha quedado por debajo de la línea de $M_z=0$, luego los momentos son positivos en toda la longitud de la barra. El valor máximo del momento se da en el centro de la viga y puede calcularse como el área bajo la curva del diagrama de esfuerzos cortantes:

$$M_{\max} = \frac{F \cdot L}{4} = \frac{800 \cdot 430}{4} = 86000$$

El diagrama de giros ($EI_z \phi_z$) muestra cómo rota cada sección de la viga a lo largo de su longitud. Aunque no se conocen los valores absolutos de giro en los extremos, sí se puede determinar la forma del diagrama.

En lugar de calcular directamente ϕ_z , se representa el producto $EI_z \phi_z$, ya que tanto el módulo de elasticidad E como el momento de inercia I_z se consideran constantes en toda la viga. Como estos valores no afectan a la forma del diagrama (solo a su escala vertical), puede trazarse la evolución relativa del giro sin necesidad de conocer su valor exacto.

El trazado comienza en $x=0$, donde el momento flector es cero, por lo que la pendiente del giro es nula.

En la primera mitad de la viga, el momento crece, por lo que el giro también lo hace con pendiente creciente (trazado cóncavo hacia abajo).

En la segunda mitad, el momento decrece, por lo que la pendiente del giro disminuye progresivamente hasta anularse en el extremo.

Por simetría, el giro es nulo en el centro, y el área bajo la curva de momentos permite calcular el valor máximo de giro en los extremos, igual a:

$$EI_z \phi_z = \frac{F \cdot L^2}{16} = \frac{800 \cdot 430^2}{16} = 9245000$$

Por último, el diagrama de desplazamientos ($EI_z u_z$) representa la forma deformada de la barra tras aplicar la carga. Al igual que en el caso del diagrama de giros, se calculará el producto $EI_z u_z$.

En este caso, se parte de la base de que los desplazamientos en los extremos $x=0$ y $x=L$ son nulos, ya que corresponden a los apoyos.

La forma del diagrama se obtiene integrando el diagrama de giros. Como en el extremo izquierdo el giro es negativo, la pendiente del desplazamiento es



positiva (esto se debe al signo negativo en la ecuación diferencial). Por tanto, el diagrama comienza subiendo suavemente desde cero. A medida que se avanza hacia el centro de la viga, la pendiente disminuye hasta anularse en $x=L/2$, donde el giro también se anula.

A partir de ahí, el giro cambia de signo, y la pendiente del desplazamiento pasa a ser negativa, lo que hace que la curva descienda hasta volver a cero en $x=L$.

El resultado es una curva simétrica con forma de campana invertida, donde el punto más bajo (mayor desplazamiento) está en el centro.

Aunque no se ha calculado el valor exacto del desplazamiento, puede hacerse una estimación razonable. Esta se basa en el área bajo el diagrama de giros en la mitad de la viga, y da como resultado una expresión aproximada del desplazamiento máximo:

$$EI_z u_z = \frac{F \cdot L^3}{48}$$

El análisis realizado permite verificar que la pieza diseñada, con un espesor útil de 25 mm, es capaz de soportar una carga vertical de 800 N con un margen de seguridad superior a 3 frente a la rotura por flexión.

A través de la simplificación del modelo estructural como una viga simplemente apoyada y el uso de fórmulas clásicas de resistencia de materiales, se ha obtenido una validación razonable del diseño desde el punto de vista mecánico.

7.2. Identidad corporativa

La identidad corporativa forma parte del desarrollo general del proyecto, ya que permite dotarlo de una imagen reconocible y coherente con su enfoque y objetivos. No se trata solo de asignarle un nombre o diseñar un logotipo, sino de construir una identidad visual alineada con el material, el modo en que se utiliza y el contexto en el que se presenta.

Según la Oficina Española de Patentes y Marcas, una marca es “un signo distintivo, cuya función es diferenciar e individualizar en el mercado unos productos o servicios de otros productos o servicios idénticos”. Por tanto, no solo identifica, sino que también añade valor, facilita el recuerdo y posiciona el producto frente a la competencia.

El nombre elegido para la marca es **Mykum**, una palabra creada a partir de la combinación de dos términos que definen los conceptos clave del proyecto.

Por un lado, *mykes*, que en griego significa “hongo”, hace referencia al micelio, el material con el que están fabricadas las piezas.



Por otro, *kumi*, un término japonés que se traduce como “ensamblar” o “unir”, que expresa el carácter modular y transformable del sistema.

La fusión de ambos términos da lugar a un nombre corto, sonoro y singular que transmite tanto la base biológica del material como la capacidad lúdica y constructiva del diseño.

Además, el nombre Mykum cumple con los criterios recomendados en naming corporativo, ya que es breve, fácil de pronunciar y con una fonética clara y reconocible en distintos idiomas.

Para la creación del logotipo se optó por una tipografía diseñada específicamente para el proyecto, con formas orgánicas y redondeadas, inspiradas en las propias piezas del sistema. Al igual que estas, las letras no presentan aristas vivas y mantienen proporciones cúbicas: cada una es tan ancha como alta, reflejando directamente la forma de los módulos.

Esta correspondencia entre tipografía y geometría permite que cada letra funcione visualmente como si fuera una pieza del conjunto.

Dentro de la composición, la “u” aparece ligeramente elevada, lo que aporta dinamismo y rompe la simetría del bloque. Esta pequeña variación no solo refuerza la forma de seta del símbolo, sino que también transmite una sensación de movimiento, reforzando el carácter modular y flexible del sistema.

En el logotipo se ha integrado una figura de seta, donde la letra “u” actúa como tallo, formando parte del propio símbolo. Esta representación alude al origen del material y aporta un elemento gráfico simple y fácilmente reconocible. Además, este símbolo puede utilizarse de forma independiente como elemento gráfico secundario o icono de la marca.

A continuación, se presenta la versión principal del logotipo:



Figura 37. Logotipo final. Elaboración propia.



Para reforzar la identidad visual de la marca, se han definido dos versiones cromáticas del logotipo: una en verde y blanco, y otra en blanco y negro. Esta elección responde tanto a criterios funcionales como conceptuales.

Se eligió el color verde como color corporativo principal, ya que conecta directamente con los valores del proyecto, especialmente con su enfoque en la sostenibilidad y la economía circular, reforzando la idea de que se trata de un producto respetuoso con el entorno.

Por otra parte, la versión en blanco y negro garantiza la máxima legibilidad y versatilidad del logotipo en diferentes soportes y tamaños, permitiendo su aplicación en contextos más neutros, formales o monocromáticos, y asegurando su reconocimiento en cualquier entorno.

Ambas versiones presentan dos disposiciones: una con fondo blanco y logotipo en color (verde o negro), y otra con fondo de color y logotipo en blanco. En todos los casos, se mantiene un buen contraste visual entre fondo y logotipo, favoreciendo la legibilidad y la claridad de la marca.



Figura 38. Variantes del logotipo definitivo. Elaboración propia.

Por lo tanto, los colores corporativos de Mykum se establecen como el verde, el blanco y el negro, que en conjunto definen una identidad visual equilibrada y alineada con los valores del proyecto. A continuación, se muestra la paleta de colores con sus correspondientes códigos:

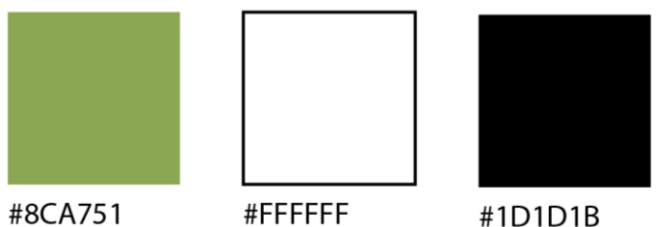


Figura 39. Paleta de colores definitivos. Elaboración propia.



7.3. Solución adoptada

El diseño final consiste en un sistema modular de mobiliario con doble función como espacio de juego infantil, concebido para su uso en espacios interiores. El conjunto se compone de seis piezas, todas fabricadas en micelio y disponibles en cuatro colores. Cada módulo es hueco y mantiene una dimensión base de 430×430 mm, excepto la pieza 6, que se trata de un elemento de unión. La geometría de las piezas 1, 2, 3 y 4 se ha diseñado de modo que, al unirse, las piezas conformen una especie de tubo de sección cuadrada (430×430 mm), lo que permite configurar múltiples disposiciones adaptables a distintos espacios.

7.3.1. Descripción de las piezas

- Pieza 1

Elemento cúbico de $430 \times 430 \times 430$ mm, con conexiones salientes tipo macho en un extremo y receptores tipo hembra en el opuesto. Permite la unión lineal de varios módulos.

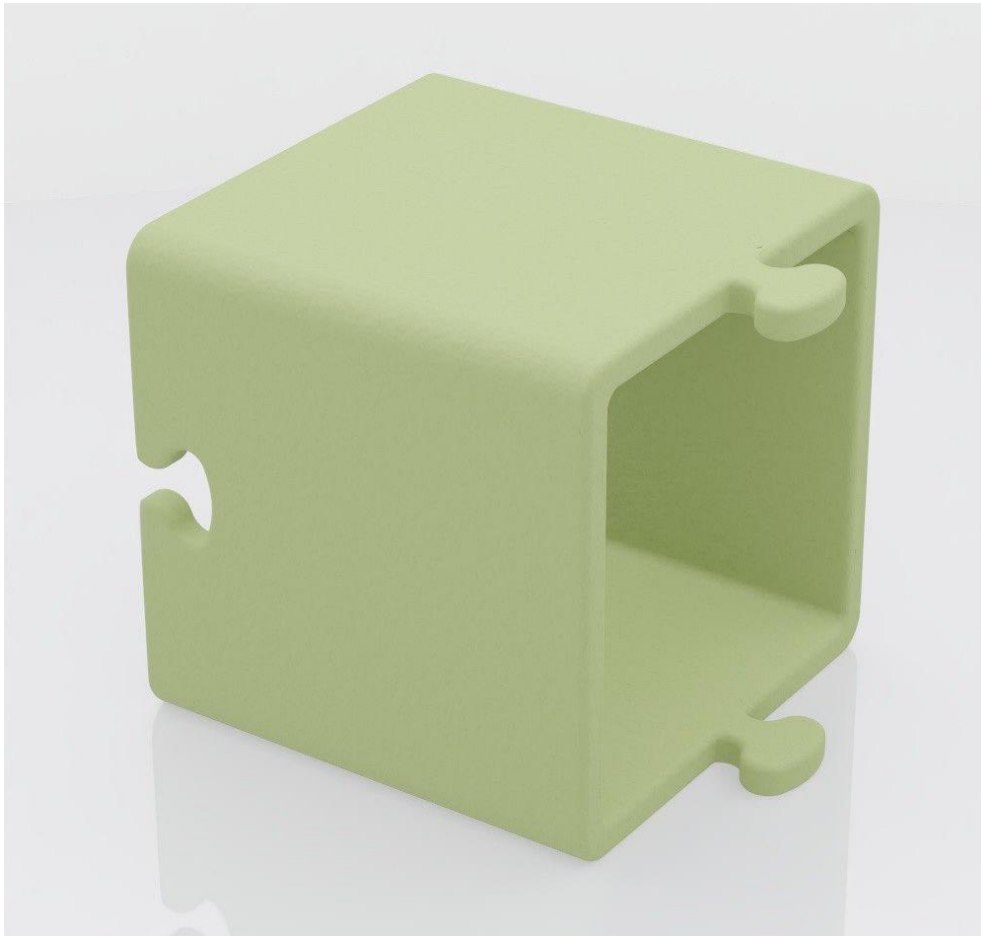


Figura 40. Pieza 1: pieza recta con salientes y agujeros. Elaboración propia.

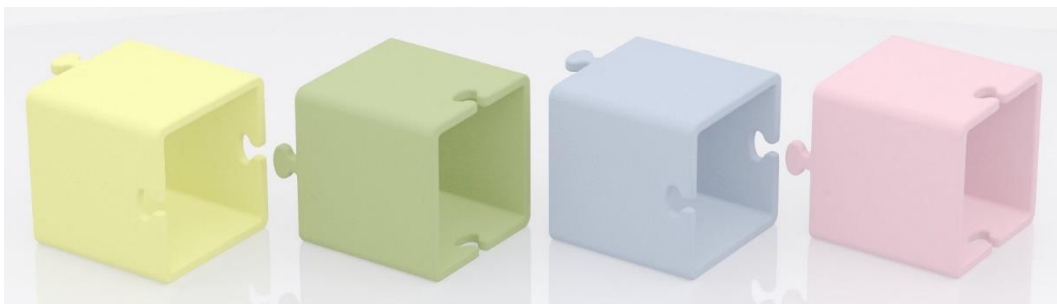


Figura 41. Gama de colores de la pieza 1. Elaboración propia.

- Pieza 2

Conforma un cuarto de circunferencia en planta, manteniendo la sección cuadrada. Incorpora conexiones macho y hembra, lo que posibilita giros de 90° en la configuración.



Figura 42. Pieza 2: pieza curva. Elaboración propia.

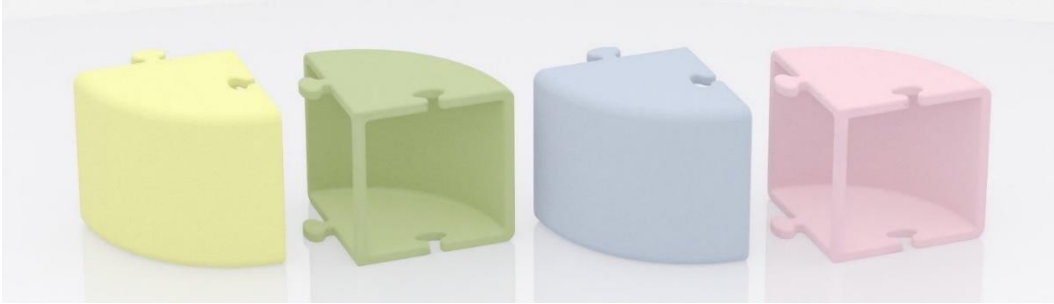


Figura 43. Gama de colores de la pieza 2. Elaboración propia.

- **Pieza 3**

De dimensiones idénticas a la pieza 1, se diferencia de esta porque incorpora únicamente conexión macho en uno de los lados. Su función es actuar como pieza final en los conjuntos, evitando dejar conexiones expuestas.

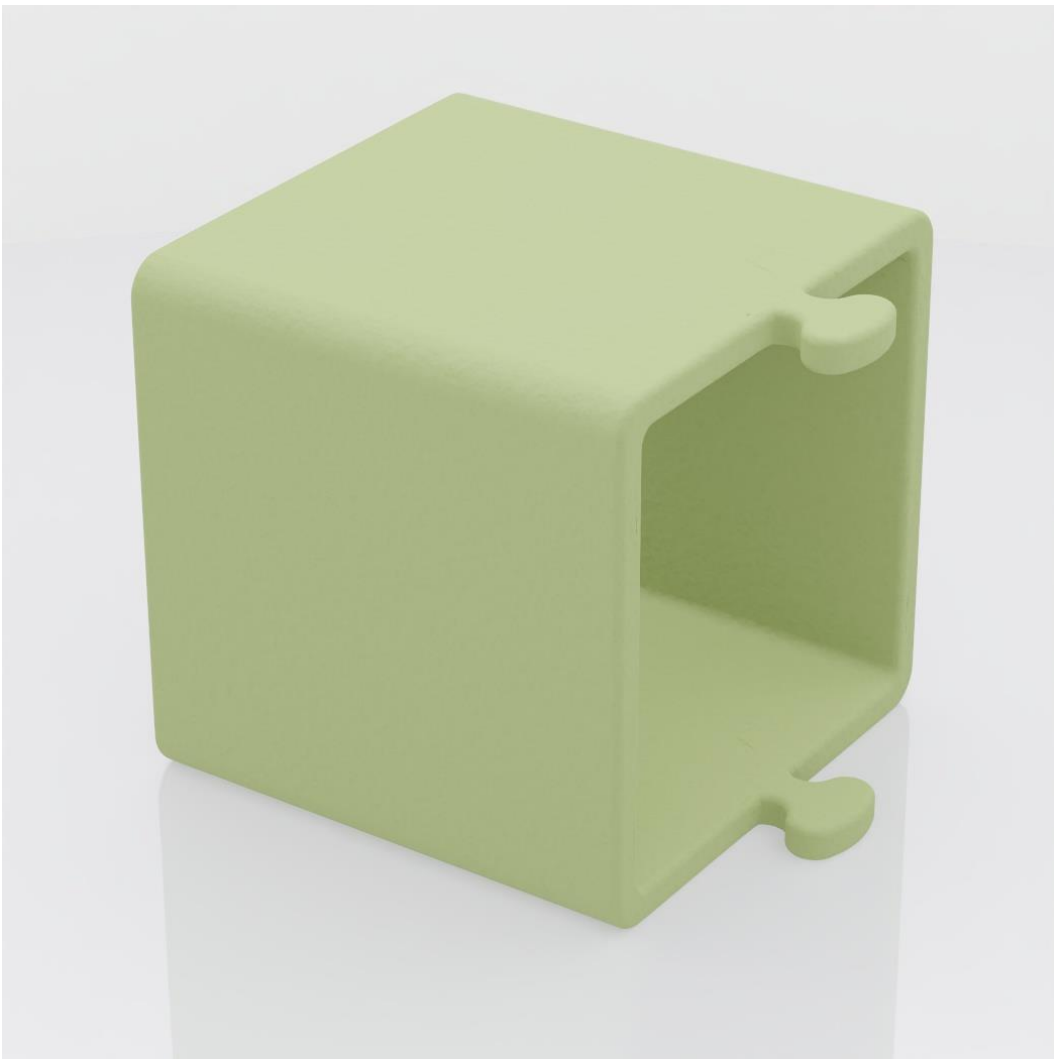


Figura 44. Pieza 3: pieza recta con salientes. Elaboración propia.

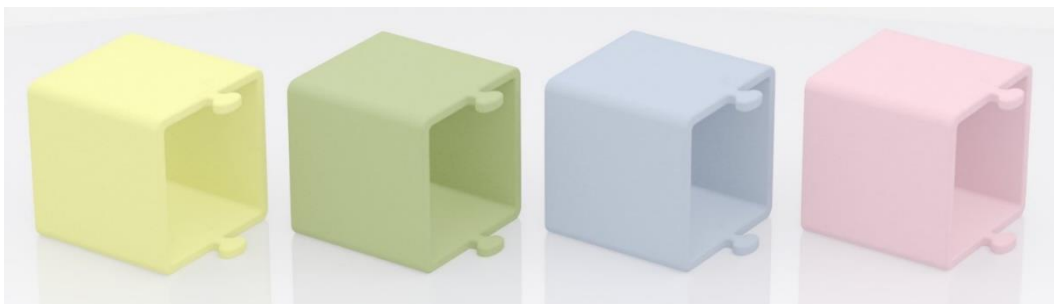


Figura 45. Gama de colores de la pieza 3. Elaboración propia.

- Pieza 4

Variante de la pieza 3 en la que se dispone solo la conexión hembra en un lateral. También se destina a terminaciones de las configuraciones.

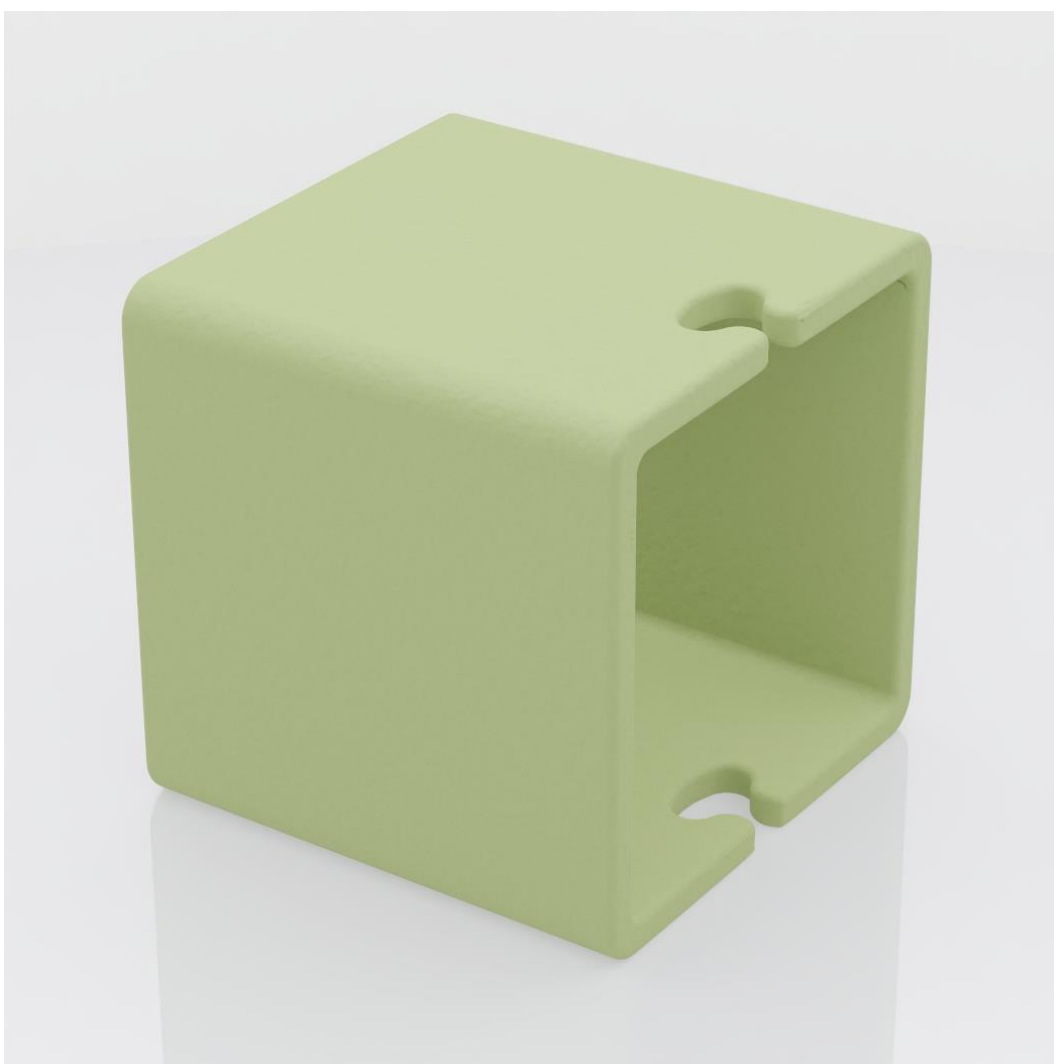


Figura 46. Pieza 4: pieza recta con agujeros. Elaboración propia.

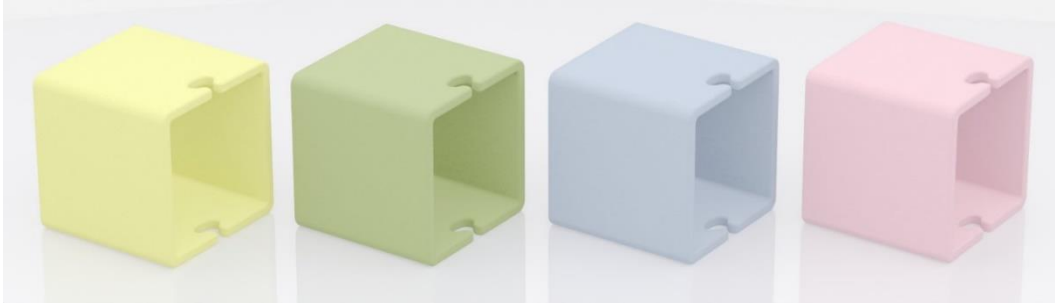


Figura 47. Gama de colores de la pieza 4. Elaboración propia.

- Pieza 5

Elemento cúbico con hueco pasante, sin salientes ni entrantes, que puede utilizarse como asiento individual, módulo apilable para estanterías o complemento libre dentro del sistema.

En esta versión, las caras interiores incorporan ranuras longitudinales diseñadas para alojar las abrazaderas (pieza 6), lo que permite reforzar las uniones en configuraciones de apilado como estanterías o divisores.



Figura 48. Pieza 5: pieza recta. Elaboración propia.

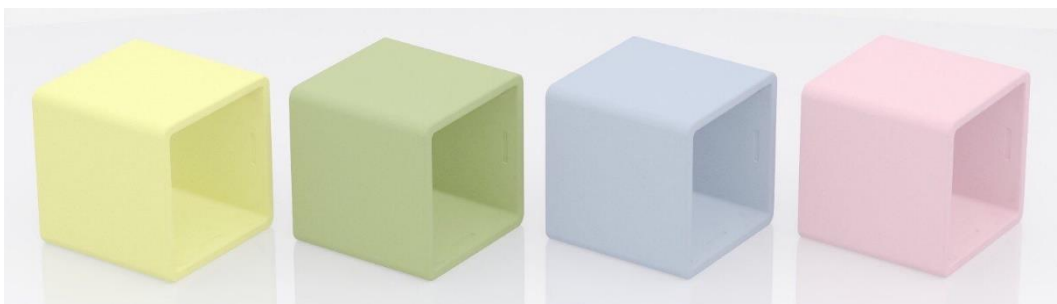


Figura 49. Gama de colores de la pieza 5. Elaboración propia.

- **Pieza 6**

Abrazadera en forma de “U”, fabricada igualmente en micelio y disponible en los mismos colores. Su función es abrazar las paredes contiguas de dos piezas 5 mediante un deslizamiento desde las caras frontales de las piezas a unir.

La sujeción se consigue gracias a tetones interiores de la abrazadera que encajan en las ranuras de la pieza 5, generando un efecto de “click”. Este



sistema evita desplazamientos accidentales y otorga estabilidad al conjunto sin necesidad de tornillos ni elementos metálicos.

El tamaño de la pieza 6 se ha dimensionado para ser seguro en contextos infantiles (superior a las medidas mínimas establecidas en normativa para piezas pequeñas), con bordes redondeados y peso ligero, de modo que puede manipularse fácilmente por un niño.



Figura 50. Pieza 6: abrazadera. Elaboración propia.



Figura 51. Gama de colores de la pieza 6. Elaboración propia.

7.3.2. Características generales



Todas las piezas excepto las abrazaderas comparten un módulo base de 430 mm, una dimensión que se ha determinado a partir de un estudio ergonómico y que resulta adecuada tanto para niños como para adultos en su uso como asiento.

El espesor de las paredes se ha definido de forma que proporcione la resistencia necesaria al mismo tiempo que reduce el peso al mínimo, facilitando que los niños puedan manipular y mover las piezas sin dificultad.

El uso de micelio como material aporta un carácter biodegradable y de bajo impacto ambiental, en coherencia con la filosofía sostenible del proyecto.

En términos de seguridad, todas las aristas y esquinas se han redondeado para disminuir el riesgo de impacto, un aspecto especialmente relevante en contextos destinados a la infancia.

Finalmente, todas las piezas incorporan en su parte inferior un grabado en relieve hundido con el logotipo “Mykum”, salvo las abrazaderas, cuyas dimensiones reducidas lo impiden. Este detalle asegura la identificación de la marca sin afectar a la funcionalidad ni a la seguridad del conjunto.



Figura 52. Relieve hundido con el logo corporativo Mykum. Elaboración propia.

7.3.3. Proceso de montaje

El sistema se caracteriza por la facilidad de montaje, pensado para que pueda realizarse sin herramientas ni fijaciones adicionales por un niño.

Las piezas 1 a 4 se conectan entre sí mediante las uniones tipo puzzle (macho-hembra), que permiten encajar las piezas con un simple gesto.



El ensamblaje se lleva a cabo introduciendo los salientes macho en los entrantes hembra. Según cómo esté colocada la pieza a la que se desee unir, la conexión ha de realizarse verticalmente o en posición horizontal. Este mecanismo convierte el montaje en un proceso rápido e intuitivo, accesible también para los propios niños.



Figura 53. Montaje de configuración cuadrada. Elaboración propia.

En el caso de la pieza 5, cuando se emplea en configuraciones apiladas (estanterías, divisores o estructuras verticales), se añaden las abrazaderas (pieza 6), que se deslizan hasta encajar en las ranuras interiores de los módulos, garantizando la estabilidad. Este mecanismo convierte el montaje en un proceso seguro, rápido e intuitivo, accesible también para niños.



Figura 54. Montaje de estantería con abrazaderas. Elaboración propia.

7.3.4. Configuraciones posibles

El sistema modular admite combinaciones ilimitadas. No se limita a los ejemplos representados a continuación, sino que cualquier agrupación que sugiera la imaginación del usuario puede llevarse a cabo.

Algunas de las configuraciones posibles incluyen su disposición como bancos lineales, en diferentes formas y con opción de incorporar o no respaldo; bancos con separaciones verticales, que aportan mayor intimidad entre usuarios; mesas y asientos individuales; así como estanterías o incluso espacios de juego libre, en los que los niños emplean las piezas a modo de bloques de construcción.



Figura 55. Configuración en forma de banco cuadrado. Elaboración propia.



Figura 56. Configuración en forma de banco con respaldo. Elaboración propia.



Figura 57. Configuración en forma de banco con separación vertical entre usuarios. Elaboración propia.

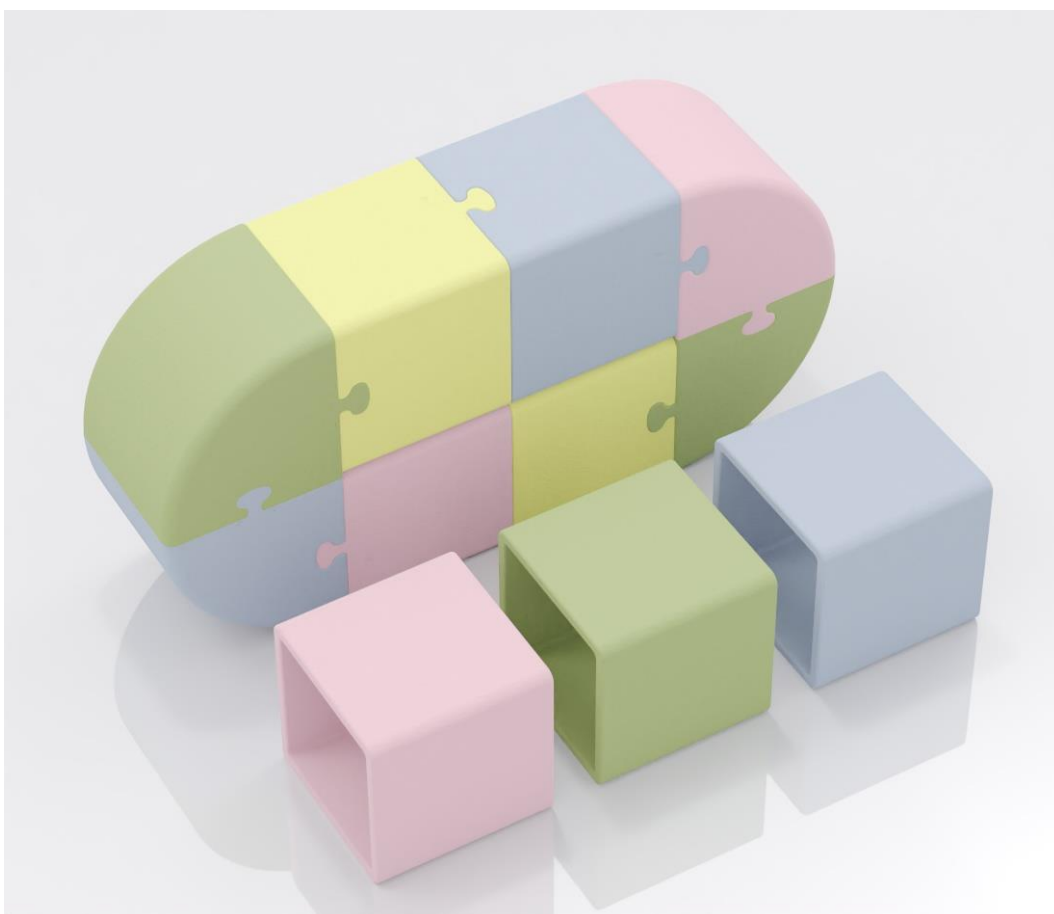


Figura 58. Configuración en mesa y asientos individuales. Elaboración propia.



Figura 59. Configuración a modo de estantería. Elaboración propia.

7.3.5. Escenarios de uso

El producto está destinado a espacios interiores de carácter infantil, aunque su versatilidad amplía el rango de aplicaciones. Puede utilizarse en una amplia variedad de entornos, como salas de espera en consultas pediátricas, guarderías y escuelas infantiles, centros comerciales y tiendas especializadas en infancia, museos y espacios culturales con actividades educativas, bibliotecas con áreas de lectura infantil, o en habitaciones de juego dentro de viviendas particulares, entre otros.



Figura 60. Escenario de uso de banco en ángulo recto y estantería. Elaboración propia.

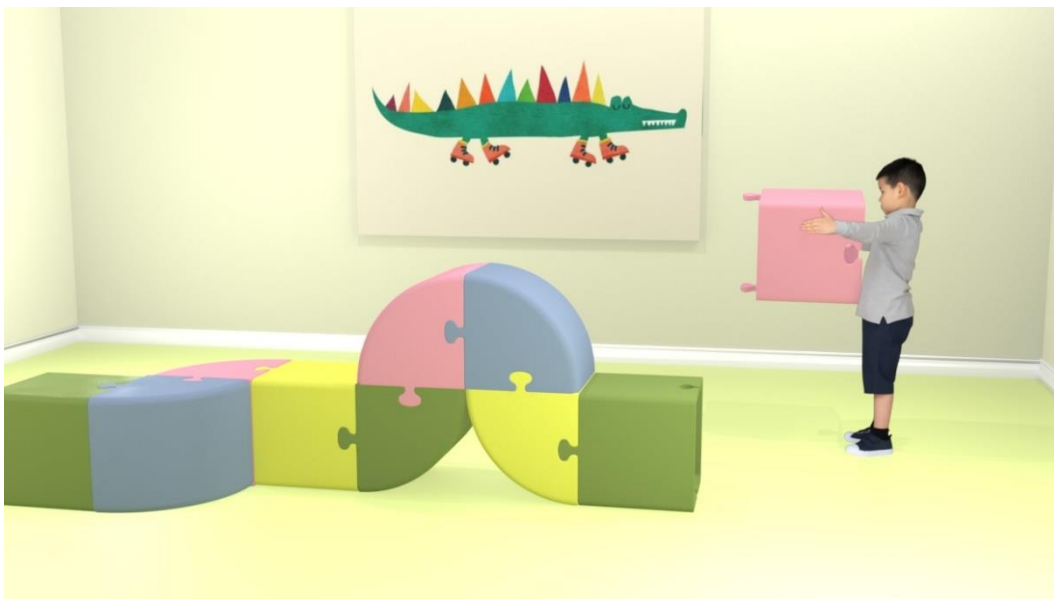


Figura 61. Escenario con usuario colocando una pieza. Elaboración propia.



Figura 62. Escenario de uso de banco con respaldo. Elaboración propia.



Figura 63. Escenario de uso de banco irregular y estantería. Elaboración propia.

7.3.6. Ventajas e innovación

El sistema presenta varias innovaciones respecto al mobiliario modular infantil existente en el mercado. En primer lugar, destaca el uso de biomateriales, ya que, frente a los sistemas basados en plásticos o maderas contrachapadas, este producto se fabrica en micelio, un material compostable teñido con pigmentos naturales.

Asimismo, ofrece una doble función de mobiliario y juego: las piezas cumplen un papel práctico como asiento, mesa o estantería y, al mismo tiempo, permiten a los niños manipularlas y reorganizarlas como si fueran un juego de construcción a escala real.

Su flexibilidad y escalabilidad constituyen otra ventaja, dado que el conjunto no está predeterminado, sino que las piezas pueden unirse en configuraciones libres, adaptándose al espacio disponible, a las necesidades de uso y al gusto del usuario.

También incorpora una gran versatilidad de uso, al estar concebido para ser utilizado tanto por niños como por adultos.

Finalmente, la atención a la seguridad y la ergonomía lo diferencia de otros sistemas más rígidos o pesados, ya que las aristas redondeadas y el bajo peso de los módulos reducen riesgos y facilitan su manipulación en contextos infantiles.



7.4. Fabricación

7.4.1. Descripción general del sistema productivo

El sistema a fabricar se compone de seis piezas con distinta geometría. Todas ellas se producen a partir de micelio cultivado sobre un sustrato agrícola. Este método de fabricación se justifica por la capacidad del micelio de colonizar fibras vegetales y generar un material estructural ligero, biodegradable y con propiedades mecánicas suficientes para un uso en mobiliario interior.

Para obtener la geometría deseada de cada pieza se ha optado por utilizar la técnica de moldeo en húmedo, adaptada a un conjunto de moldes reutilizables que permiten generar volúmenes huecos y formas complejas. El sistema se compone de moldes exteriores, machos y tapas específicas, combinados con insertos para conformar las uniones tipo puzzle.

Para conseguir los distintos colores de cada pieza se utilizarán pigmentos naturales integrándolos en la mezcla antes de la incubación, lo que facilita la obtención de una paleta de tonos suaves homogéneos sin comprometer el crecimiento del micelio.

El sistema productivo de cada una de las seis piezas modulares se estructura en siete fases principales que abarcan desde la preparación del sustrato hasta el acabado final, con un ciclo total de producción de 21-24 días por tanda de piezas.

7.4.2. Preparación del sustrato base

El sustrato estará compuesto por sarmiento de vid procesado y semilla de alpiste, siendo el sarmiento de vid el componente estructural principal del biocompuesto.

El tratamiento del sarmiento de vid consiste en someterlo a un proceso de acondicionamiento en tres etapas. Inicialmente se realiza un secado a temperatura ambiente (20-25 °C) durante 5 días hasta alcanzar una humedad del 20-25%. Posteriormente, se aplica un secado térmico en horno de convección a 100 °C durante 24 horas, reduciendo la humedad por debajo del 10%.

El material seco se tritura en un molino de martillos con tamiz integrado, que es una máquina con pequeños martillos metálicos que giran a alta velocidad y van golpeando y rompiendo el material hasta hacerlo trozos pequeños. (Stamets & Chilton, 1983)



Figura 64. Molino de martillos industrial. Europa, 2020.

El resultado es una distribución bimodal, una mezcla de dos tamaños principales de partículas. Esta mezcla contiene aproximadamente un 40% de fragmentos de entre 2 y 5,6 milímetros, que aportan estructura y generan espacios de aire, y un 60% de partículas menores de 2 milímetros, que se encargan de rellenar los huecos entre los fragmentos más grandes. Esta combinación permite que el micelio crezca mejor: tiene suficiente contacto con el sustrato, pero también espacio para respirar.

La mezcla del sustrato base se prepara siguiendo las siguientes proporciones: 70% de sarmiento de vid procesado y 30% de semilla de alpiste (*Phalaris canariensis*). (FAO, 2004)

La homogeneización se realiza en mezcladora de paletas a 30 rpm durante 5 minutos, ajustando la humedad al 65-70%, que es el nivel óptimo para el crecimiento del micelio. Esto se consigue mediante aspersión controlada de agua destilada estéril de forma gradual con un pulverizador mientras la mezcladora gira.

El resultado es una mezcla homogénea con aspecto de sustrato para plantas, húmeda pero no empapada.

7.4.3. Integración de pigmentos naturales

Los pigmentos naturales se preparan en forma de extractos acuosos concentrados con una antelación aproximada de 48 horas a su aplicación. (Bechtold & Mussak, 2009)

Cada color requiere un proceso específico adaptado a las características del material vegetal:

- Amarillo



El tono amarillo pastel se obtiene a partir de la cúrcuma. Para su preparación se mezcla 80 gramos de cúrcuma en polvo por cada litro de agua. La mezcla se calienta a 60°C y se mantiene en agitación suave mediante un agitador magnético con placa calefactora durante 45 minutos.

Este proceso extrae la curcumina, el pigmento amarillo responsable del color. Después se filtra a través de una malla fina para eliminar los restos sólidos, obteniendo un líquido amarillo intenso y limpio.

- Rosa

Para obtener el tono rosa se procesa remolacha fresca mediante licuadora, obteniendo el jugo puro. Este jugo se centrifuga a 4000 revoluciones por minuto durante 10 minutos para separar la pulpa del líquido.

Para evitar que el color se oxide y se vuelva marrón, se añade una pequeña cantidad de ácido cítrico (jugo de limón concentrado), aproximadamente 5 gramos por litro. Esto mantiene el pH ligeramente ácido (4.5), conservando el color rosa de las betalaínas, los pigmentos naturales responsables del color rojo-rosa de la remolacha, muy sensibles a la oxidación y cambios de pH.

- Verde

Mediante la espirulina se consigue el color verde. Para ello se disuelve 50 gramos de espirulina en polvo por litro de agua con sales minerales (buffer fosfato) que mantienen el pH neutro (7.0). Este pH neutro es esencial porque la ficocianina, la proteína responsable del color verde-azulado de la espirulina, perdería su color en condiciones ácidas o básicas.

La mezcla se procesa con un homogeneizador ultrasónico 5 minutos. Este proceso rompe los grumos y dispersa uniformemente las partículas de alga, creando un líquido verde-azulado homogéneo sin sedimentos.

- Azul

A partir de arándanos se obtiene un tinte azul. El procesamiento de este alimento consiste en la maceración de 100 gramos de arándanos frescos o congelados por litro de agua acidificada. El agua se acidifica previamente con unas gotas de vinagre o ácido cítrico hasta alcanzar un pH de 3.0.

Los arándanos se dejan en remojo en esta agua ácida durante 24 horas a temperatura ambiente, removiendo ocasionalmente. El medio ácido ayuda a extraer y estabilizar las antocianinas, los pigmentos responsables del color azul-violeta. Por último, se filtra para obtener un líquido azul transparente.

Una vez obtenidos los extractos acuosos concentrados, estos se diluyen al mezclarse con el agua utilizada para hidratar el sustrato del micelio, lo que genera tonalidades suaves de tipo pastel en lugar de colores intensos.



La integración de pigmentos se realiza durante la fase de ajuste de humedad, sustituyendo el 30% del agua de hidratación por la solución pigmentaria correspondiente. Esta metodología permite una distribución homogénea sin comprometer la viabilidad del micelio, ya que los compuestos bioactivos presentes (curcumina, betalaínas, ficocianina y antocianinas) presentan compatibilidad con el metabolismo fúngico a las concentraciones empleadas.

La dilución resultante genera tonalidades pastel mediante la interacción del pigmento con la estructura fibrosa de color blanquecino que forma el micelio.



Figura 65. Extractos concentrados de colorantes naturales alimentarios en solución acuosa. Costa Rica, 2022.

7.4.4. Esterilización e inoculación

El sustrato pigmentado se distribuye en bolsas de polipropileno especiales para cultivo de hongos, que tienen un filtro microporos de 0.2 micrómetros. Las bolsas se esterilizan en autoclave (una olla a presión industrial que usa vapor a alta presión) a 120 °C durante 30 minutos, tiempo ajustado según el volumen de las bolsas.



Figura 66. Autoclave de laboratorio para esterilización de sustratos de cultivo fúngico. China, 2023.

Tras la esterilización, las bolsas se dejan enfriar hasta temperatura ambiente (25 °C) en una cámara de flujo laminar, que es una cabina con aire ultrafiltrado que sopla constantemente creando un ambiente estéril de trabajo.

Una vez frío, se realiza la inoculación añadiendo el spawn de *P. ostreatus* en una proporción del 10% del peso total. El spawn consiste en granos de cereal que han sido previamente colonizados por el micelio del hongo. Es el material de partida vivo que contiene el hongo en estado vegetativo, listo para expandirse.

El spawn se distribuye en tres puntos equidistantes dentro de la bolsa (arriba, medio y abajo) en lugar de mezclarlo todo, para que el micelio empiece a crecer desde tres focos diferentes y colonice más rápidamente todo el sustrato de manera uniforme.

Las bolsas inoculadas se incuban durante 7 días a 25 °C y 80% de humedad relativa en oscuridad. Durante este periodo de pre-colonización, el micelio se extiende desde los puntos de inoculación hasta colonizar aproximadamente el 70-80% del sustrato, formando una red blanquecina visible a través de las bolsas. (FAO, 2004; Ecovative Design, 2023)

7.4.5. Diseño del sistema de moldeo

Para el sistema de moldeo se emplean tres componentes: un molde exterior (en el caso de la pieza curva dividido en dos mitades iguales, superior e inferior), un macho retirable y reutilizable unido a una de las tapas laterales y una segunda tapa lateral independiente. Además de estos 3 componentes, las piezas con salientes (piezas 1, 2 y 3), así como la pieza 5, que incorpora ranuras



internas para las abrazaderas, requieren el uso de insertos para conformar tanto los salientes como las ranuras.

Las piezas rectas (1, 3, 4 y 5) comparten el mismo molde exterior, variando únicamente el macho, las tapas y los insertos utilizados en cada caso. El macho es hueco y se fabrica unido a una tapa, de manera que al colocarlo en el molde queda centrado y cerrado por un lateral. El conjunto se completa con la tapa del lado opuesto, que incorpora un tetón en su cara interior con la forma del hueco interno del macho, asegurando el encaje.

Este aprovechamiento de un único molde exterior para varias piezas favorece la estandarización de componentes, reduciendo costes de fabricación y simplificando el proceso productivo.

En la pieza 5 (recta sin salientes ni agujeros) se emplea este sistema de macho y tapas, añadiendo pequeños insertos en las caras exteriores del macho para generar las ranuras interiores destinadas a alojar las abrazaderas (pieza 6).

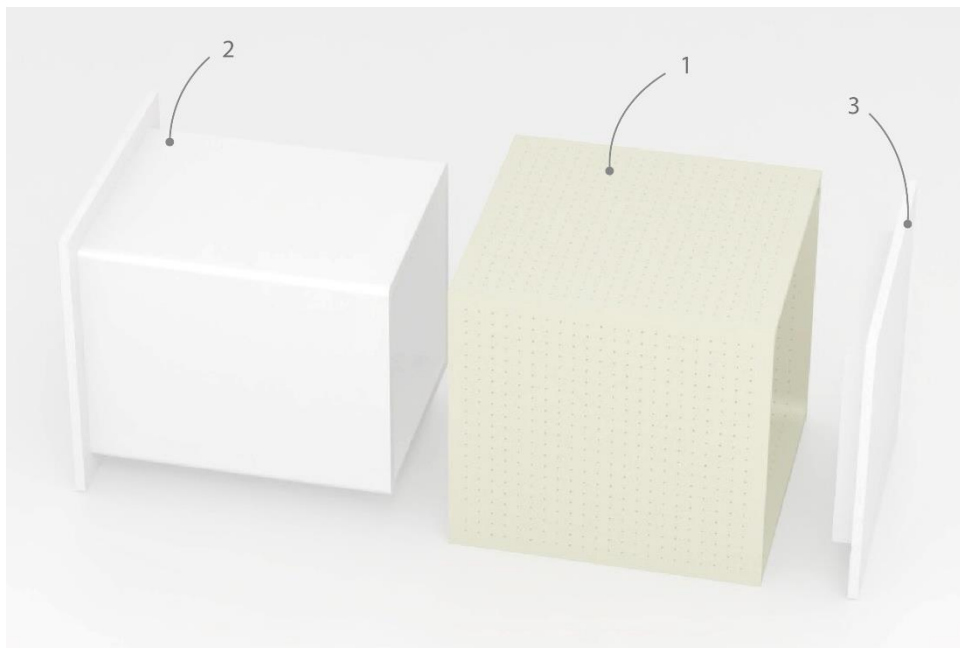


Figura 67. Partes molde pieza 5. Elaboración propia.



*Figura 68. Molde final pieza 5.
Elaboración propia.*

Por lo tanto, para el moldeo de la pieza 5 es necesario molde exterior para piezas rectas (1), un macho unido a una tapa sin insertos (2) y una tapa independiente sin insertos (3).

La pieza 1 (recta con salientes y agujeros) se fabrica mediante un macho unido a una tapa con dos alojamientos en los que se encajan dos insertos con la forma hundida de las conexiones puzzle para generar los salientes. Este conjunto se complementa con una segunda tapa provista de salientes que penetran en el molde y dan lugar a los agujeros correspondientes.

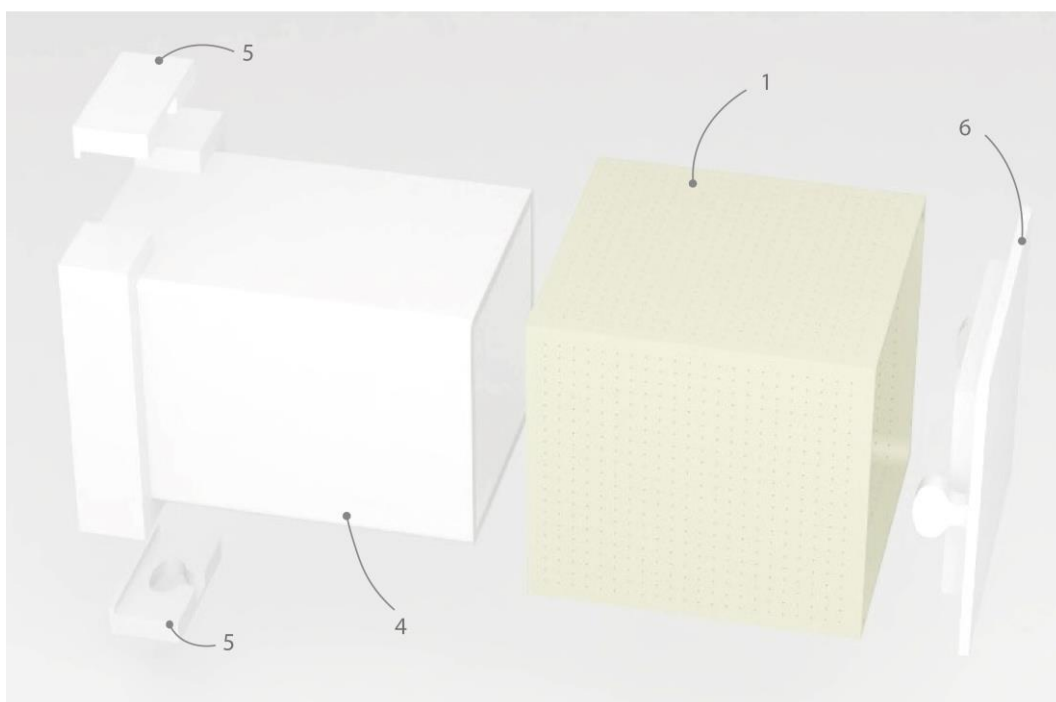


Figura 69. Partes molde pieza 1. Elaboración propia.

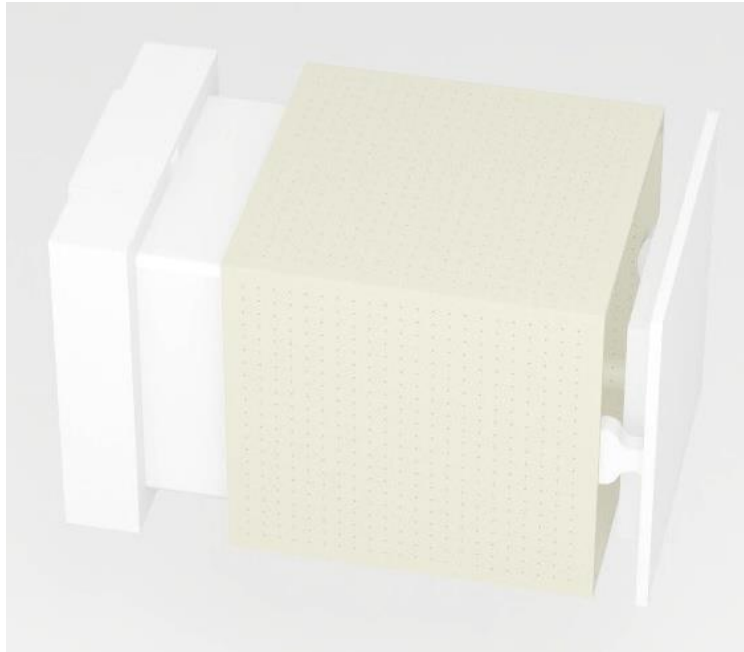
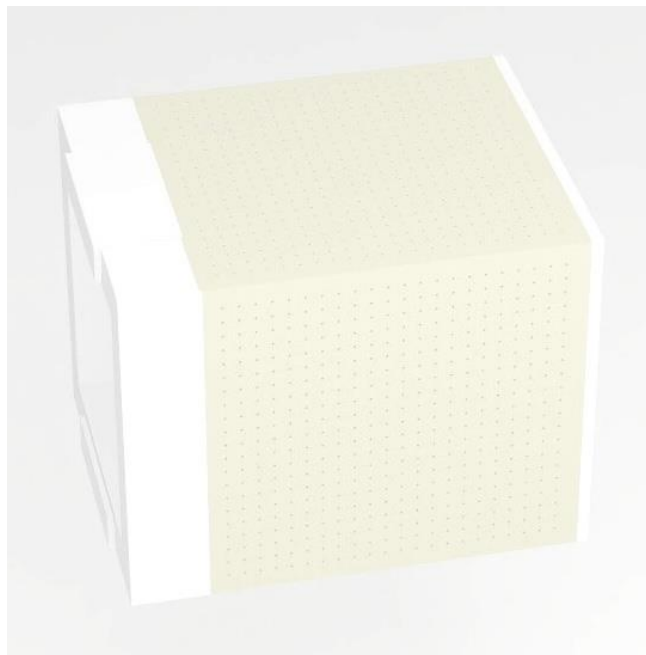


Figura 70. Montaje molde pieza 1. Elaboración propia.



*Figura 71. Molde final pieza 1. Elaboración propia.
Elaboración propia.*

El molde para fabricar la pieza 1 está compuesto por un molde exterior para piezas rectas (1), un macho unido a una tapa para piezas con salientes (4), dos insertos para generar salientes (5) y una tapa para piezas con agujeros (6).

En la pieza 3 (recta con solo salientes) se reutiliza tanto macho como los dos insertos para generar salientes utilizados en la pieza 1. El conjunto se cierra con una tapa lateral básica sin insertos en el lado contrario.

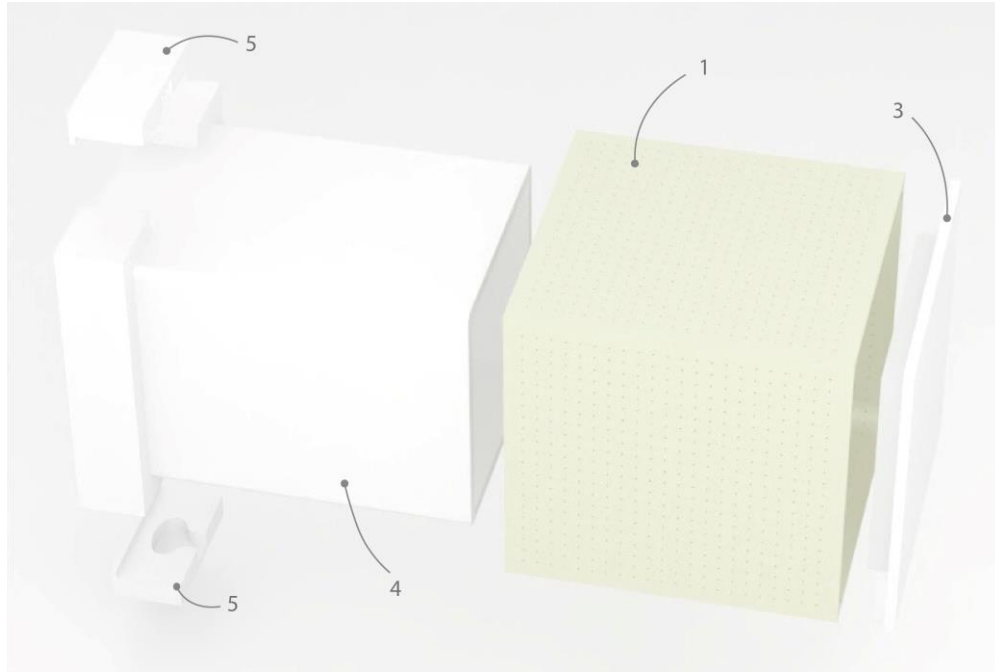


Figura 72. Partes molde pieza 3. Elaboración propia.

Las partes que conforman el molde para la pieza 3 son un molde exterior para piezas rectas (1), un macho unido a una tapa para piezas con salientes (4), dos insertos para generar salientes (5) y una tapa sin insertos (3).

La pieza 4 (recta con solo agujeros) emplea la tapa unida al macho básico (el utilizado para la pieza 5) y la otra tapa lateral con salientes para generar los huecos de las conexiones.

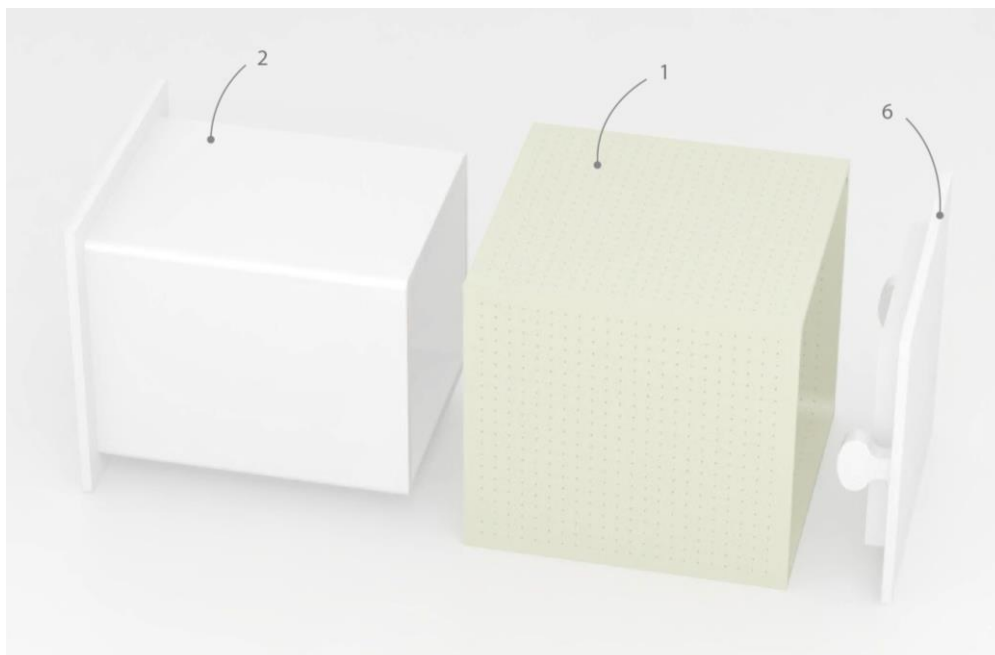


Figura 73. Partes molde pieza 4. Elaboración propia.



La pieza 4 necesita un molde exterior para piezas rectas (1), un macho unido a una tapa sin insertos (2) y una tapa para piezas con agujeros (6).

La pieza 2 (curva, con salientes y agujeros) requiere un molde exterior específico, compuesto por dos mitades idénticas, superior e inferior, que facilitan la extracción de la pieza.

Al igual que para fabricar el resto de piezas, se aplica el sistema de macho y tapa; sin embargo, debido a la geometría curva, tanto el macho como la tapa deben fabricarse de forma particular para esta pieza y no pueden reutilizarse de otros moldes. Sin embargo, el macho incorpora alojamientos idénticos a los que presentan los machos utilizados para piezas rectas con salientes, por lo que los insertos para salientes son los mismos que en dichas piezas.

La tapa posee salientes para generar los agujeros de la pieza, pero no incorpora un tetón de encaje en el hueco del macho, ya que la geometría curva dificultaría el desmoldeo. La estabilidad se asegura gracias a los insertos puzzle que ajustan en el interior del molde.

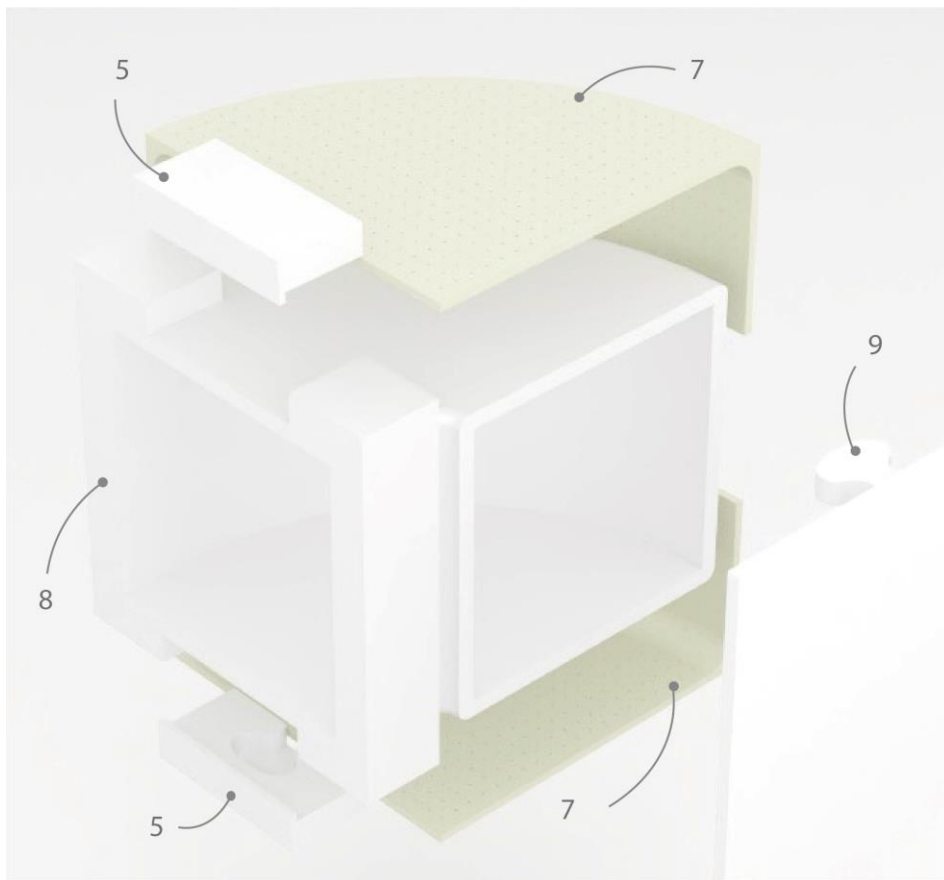


Figura 74. Partes molde pieza 2. Elaboración propia.

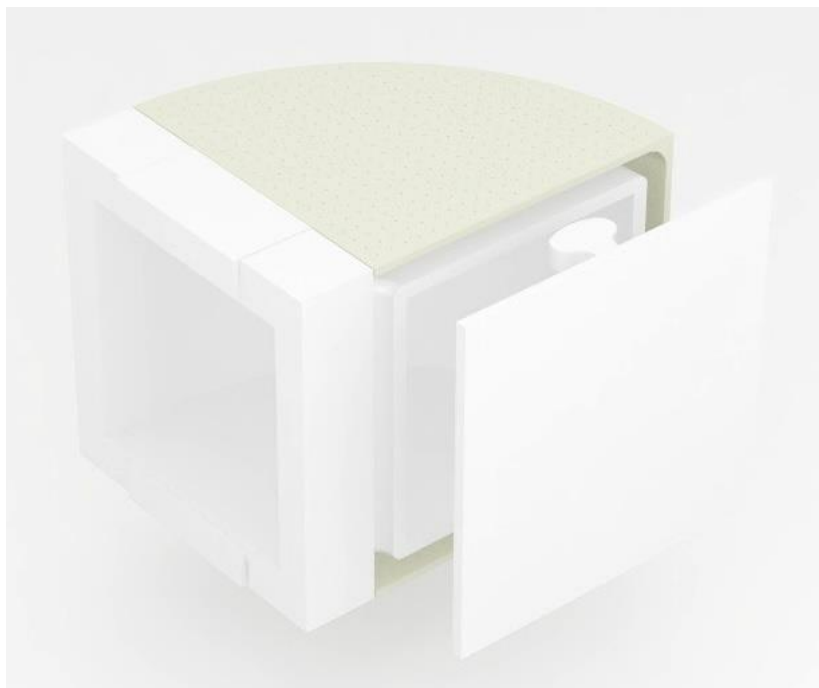


Figura 75. Montaje molde pieza 2. Elaboración propia.

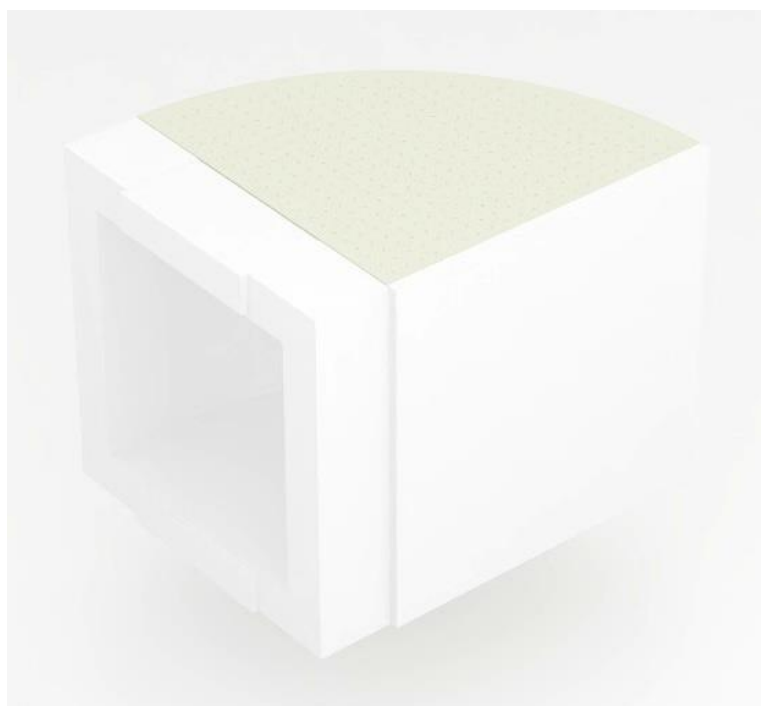


Figura 76. Molde final pieza 2. Elaboración propia.

La fabricación de la pieza 2 requiere dos medios moldes exteriores para piezas curvas (7), un macho unido a una tapa para piezas curvas (8), dos insertos para salientes (5) y una tapa para piezas curvas (9).



Por último, la pieza 6 (abrazadera) requiere un molde independiente debido a su geometría. Está formado igualmente por un molde exterior, un macho unido a una tapa y otra tapa opuesta con tetón de encaje en el macho. Para esta pieza no es necesario ningún tipo de inserto. Dada su reducida dimensión, el tiempo de colonización en molde es menor, con una duración aproximada de 7 a 9 días.

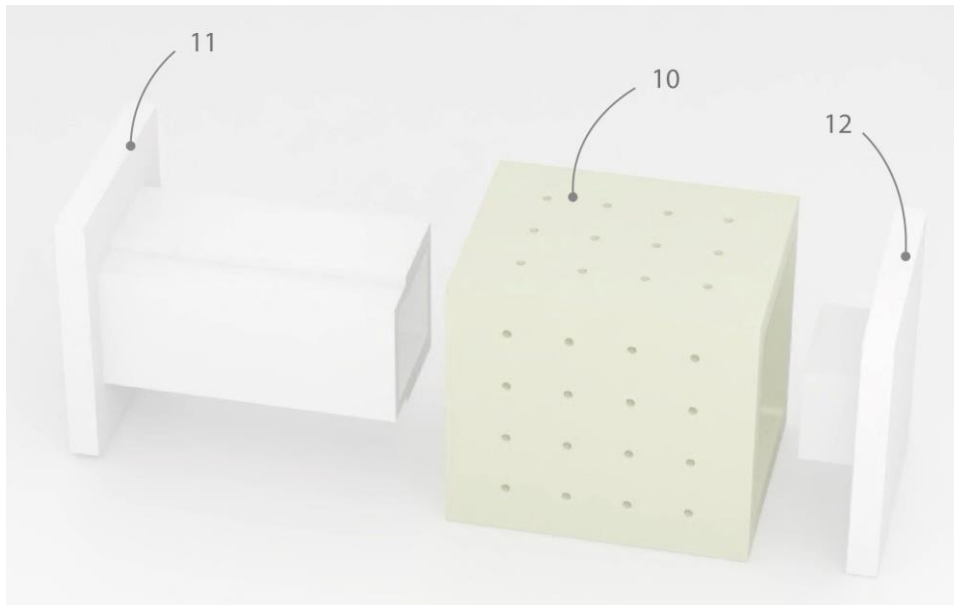


Figura 77. Partes molde pieza 6. Elaboración propia.



Figura 78. Montaje molde pieza 6. Elaboración propia.

El molde de la pieza 6 se compone de un molde exterior para abrazadera (10), un macho unido a una tapa para abrazadera (11) y una tapa para abrazadera (12).



Todos los moldes exteriores presentan perforaciones de $\varnothing 3$ mm separadas 20 mm entre sí, lo que permite el intercambio gaseoso durante el crecimiento del micelio.

Las dimensiones internas de los moldes se han calculado aplicando un factor de contracción del 10 % respecto a las medidas finales deseadas. Este valor se ha tomado como referencia porque estudios sobre biomateriales de micelio indican que, tras el secado y la inactivación, la pérdida de humedad provoca reducciones dimensionales que suelen situarse entre el 8 y el 12 % en función de la densidad inicial y del sustrato empleado. (Jones et al., 2017; Haneef et al., 2017)

Para realizar el cálculo se ha partido del espesor deseado en la pieza final, de 25 mm. Dado que el hueco interior no experimenta contracción significativa, el macho tendrá las dimensiones del hueco definitivo y el espacio entre las caras internas del molde exterior y el macho debe ser mayor al previsto, en este caso 27,8 mm, ya que al aplicar el factor de contracción del 10% ($27,8 \text{ mm} \times 0,9 \approx 25 \text{ mm}$) se alcanza el espesor final establecido.

Siguiendo esta misma lógica se han determinado las demás dimensiones de cada pieza, de manera que el material, tras el proceso de contracción, conserve las medidas finales establecidas en el diseño. Los resultados detallados de estas dimensiones ajustadas se incluyen en el capítulo de planos de la memoria.

Los moldes exteriores se fabrican en polipropileno reciclado (rPP) de 10 mm de espesor, un material que ofrece buena rigidez y resistencia química frente a la humedad del sustrato, además de reducir el impacto ambiental debido a su carácter reciclado.

Los machos y tapas, sometidos a mayor fricción y exigencia dimensional, se fabricarán en polioximetileno (POM), cuya dureza, baja fricción y estabilidad dimensional facilitan el desmoldeo. Aunque no se trata de un material reciclado, su larga vida útil y capacidad de reutilización en múltiples ciclos compensan su impacto, especialmente teniendo en cuenta que el volumen de material empleado para estos componentes es reducido en comparación con el material de las piezas producidas.

Integración del logo en relieve hundido

El logo de marca se integra directamente en el molde de las piezas 1, 2, 3, 4 y 5 mediante una placa de fotopolímero con relieve positivo de 2 mm de altura, adherida a la superficie interior del molde exterior. Esta configuración genera



un bajo relieve negativo (hundido) de 2 mm de profundidad en la pieza final, creando una impresión sutil hacia el interior del material.

La placa se fabrica mediante estereolitografía, lo que garantiza la definición de detalles finos del logotipo. Al estar el relieve positivo en el molde, durante el proceso de moldeo el sustrato con micelio rodea y rellena los espacios alrededor de la placa, resultando en una cavidad con la forma del logo en la pieza terminada.

La pieza 6, por sus dimensiones y su carácter auxiliar, no incorpora grabado.

7.4.6. Proceso de moldeo y colonización

- Llenado del molde

El sustrato pre-colonizado (7 días de incubación inicial) se transfiere al sistema de moldeo colocando primero una capa base de 50 mm en el interior del molde exterior.

Posteriormente, el macho unido a la tapa se coloca en el interior del molde exterior. En caso de que la pieza requiera insertos, estos se instalan en el macho o en la tapa antes de su inserción en el molde.

A continuación, el espacio comprendido entre el macho y las paredes del molde se rellena por capas, aplicando una compactación ligera de aproximadamente 0,5 kg/cm²." (Appels et al., 2019)

Una vez completado el llenado, se cierra el conjunto con la tapa lateral opuesta para cerrar completamente el conjunto.

- Colonización secundaria

Los moldes cargados se incuban en una cámara de cultivo o sala acondicionada a 25°C y 80% HR (humedad relativa) durante 10-12 días. Durante este periodo, el micelio completa la colonización del sustrato y forma una red tridimensional cohesiva. Las perforaciones en las paredes del molde exterior permiten el intercambio gaseoso necesario para el metabolismo aeróbico del hongo.



Figura 79. Sustrato colonizado por micelio tras periodo de incubación. 2023.

7.4.7. Desmoldeo

A los 10-12 días, con el micelio completamente desarrollado, pero aún con una humedad del 60-65 %, se procede al desmoldeo siguiendo el orden inverso al montaje.

En primer lugar, se retiran los insertos destinados a generar salientes, si la pieza los requiere. Dado que estos presentan geometrías que impiden su extracción en la dirección principal de desmoldeo (longitudinal), deben extraerse en una dirección perpendicular a la misma, evitando así dañar la pieza. Una vez retirados los insertos, se extrae el macho en la dirección general de desmoldeo.

A continuación, se extrae longitudinalmente el molde exterior. En el caso de la pieza curva, para retirar el molde exterior hay que separar las dos mitades del mismo, lo que permite extraer la pieza sin necesidad de realizar giros ni comprometer su geometría.

Posteriormente, se procede a retirar la tapa. Si esta incorpora salientes destinados a conformar agujeros en la pieza, tampoco puede extraerse directamente en la dirección longitudinal, ya que dichos salientes quedarían atrapados en los orificios. En este supuesto, la tapa debe desplazarse ligeramente en dirección perpendicular a la general, en cualquiera de los dos sentidos, hasta que los salientes de la tapa queden liberados de los orificios generados en la pieza final. Una vez liberados, la tapa puede retirarse en la dirección principal de desmoldeo.

Cuando la pieza no presenta salientes ni orificios, la extracción de cada elemento del molde se realiza directamente en la dirección longitudinal.

A continuación se muestran los pasos del proceso de desmoldeo de la pieza 1, seleccionada por su complejidad al presentar tanto salientes como agujeros tipo puzzle.

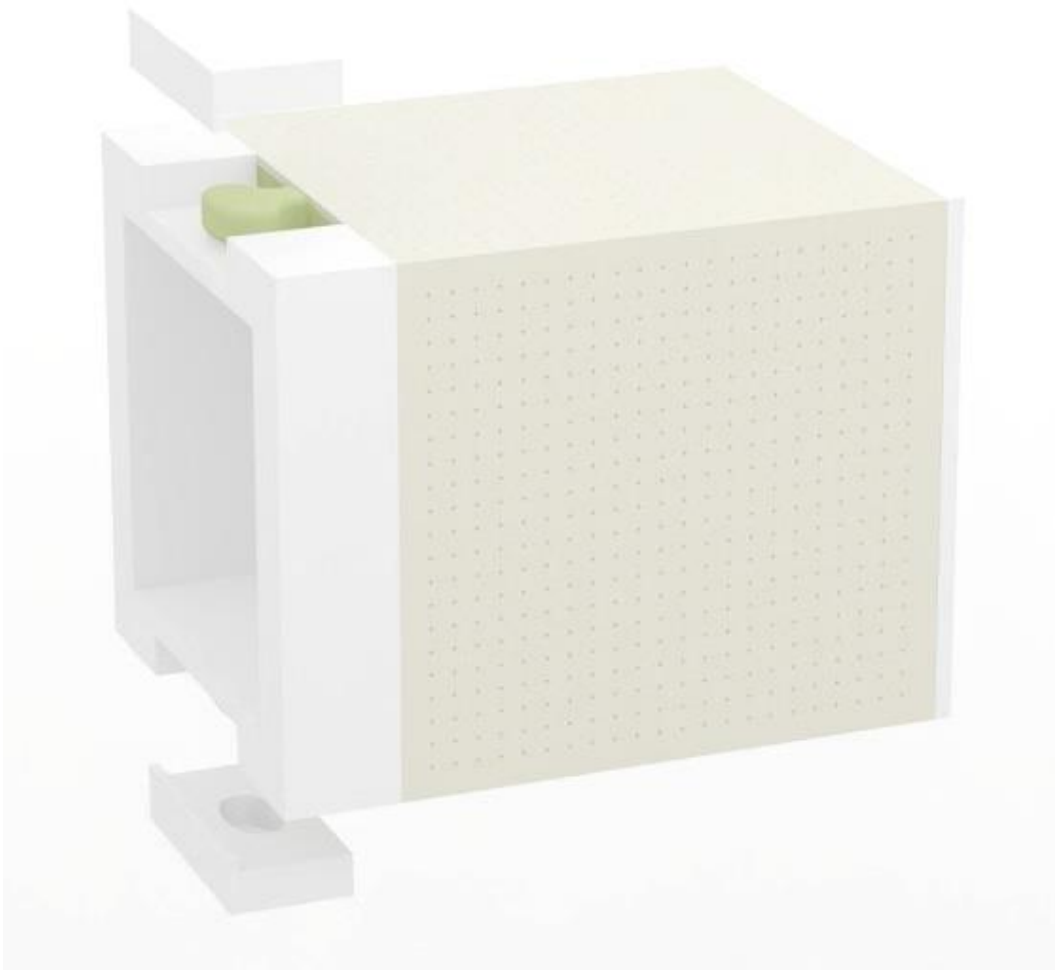


Figura 80. Paso 1 desmoldeo pieza 1: retirada de insertos para salientes. Elaboración propia.

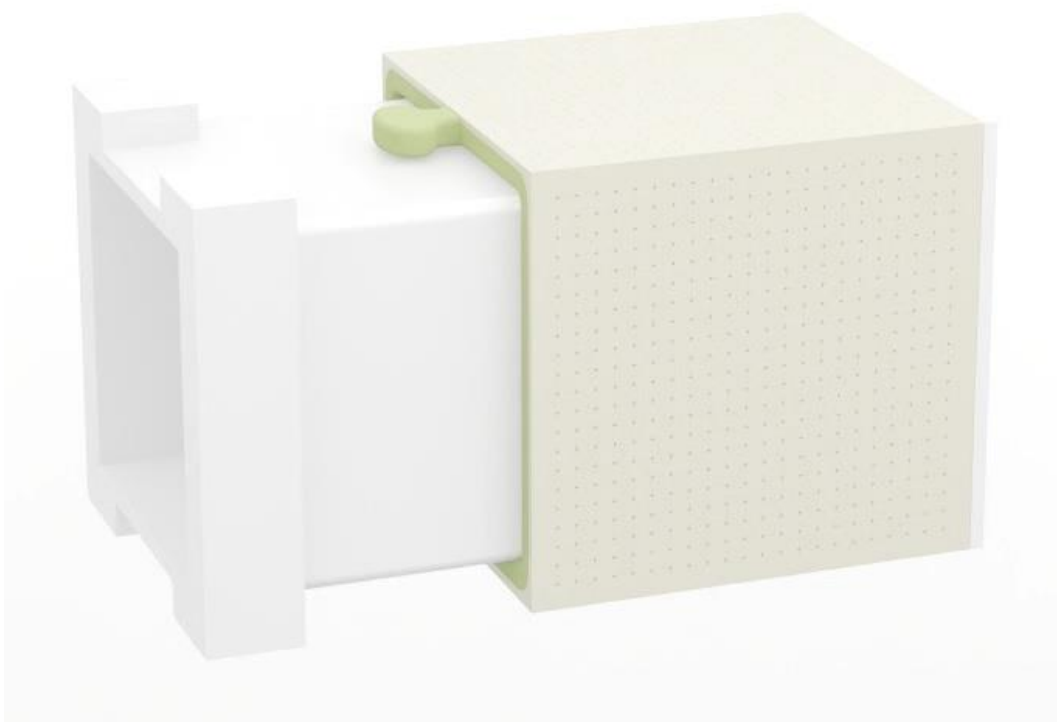


Figura 81. Paso 2 desmoldeo pieza 1: retirada de macho. Elaboración propia.

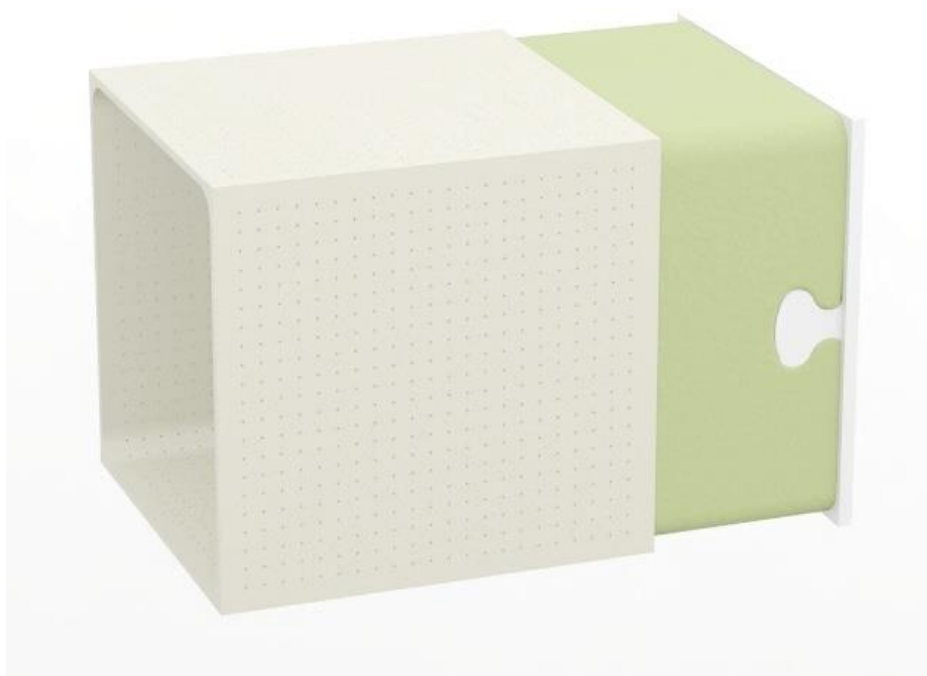


Figura 82. Paso 3 desmoldeo pieza 1: retirada de molde exterior. Elaboración propia.

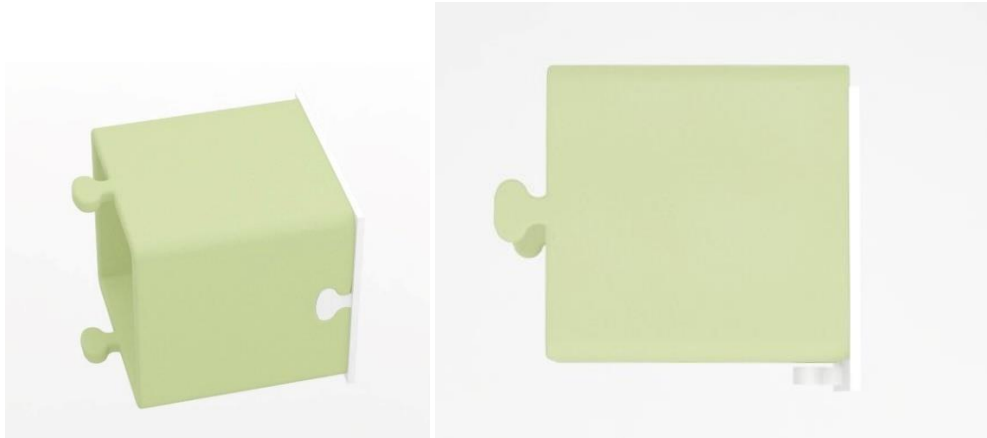


Figura 83. Paso 4 desmoldeo pieza 1: movimiento perpendicular de la tapa con salientes para agujeros. Elaboración propia.

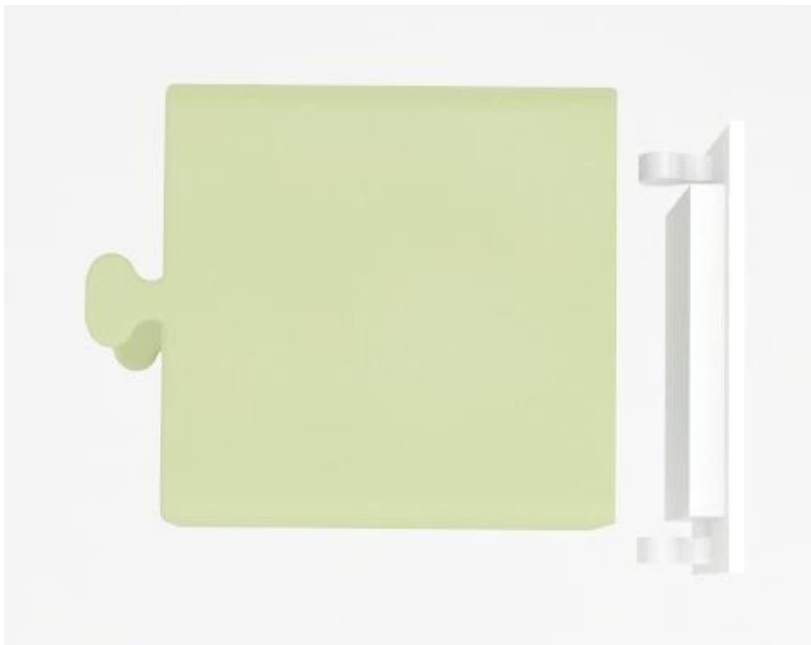


Figura 84. Paso 5 desmoldeo pieza 1: retirada de tapa con salientes para agujeros. Elaboración propia.

7.4.8. Inactivación y secado

Las piezas desmoldadas se someten a un ciclo de secado en horno de convección forzada siguiendo tres etapas:

- Rampa de calentamiento: 25 °C hasta 100 °C en 2 horas
- Meseta de inactivación: 100 °C durante 48 horas
- Enfriamiento controlado: hasta temperatura ambiente en 4 horas

Este proceso inactiva el micelio, reduce la humedad por debajo del 5% y fija los pigmentos.



7.4.9. Acabado superficial

- Tratamiento de estabilización

Siguiendo el protocolo de la patente EP3828260A1 utilizada como referencia para los ensayos mecánicos, las piezas secas se tratan con resina de colofonia natural al 10% p/v en etanol. La aplicación se realiza mediante pulverización en 3 capas sucesivas con intervalos de secado de 30 minutos. Este tratamiento incrementa la cohesión superficial al crear una fina película que une las fibras sueltas de la superficie, evitando el desprendimiento de partículas durante la manipulación.

Al ser la colofonia una resina vegetal extraída de pinos, mantiene la biodegradabilidad del material, descomponiéndose junto con el sustrato en condiciones de compostaje.

- Control dimensional

Las conexiones tipo puzzle se verifican dimensionalmente y se ajustan mediante lijado suave (grano 220) para garantizar tolerancias de ± 1 mm en los acoplamientos. El logo en bajorrelieve se limpia con cepillo suave para eliminar posibles residuos de sustrato.

7.4.10. Viabilidad técnica

La fabricación de las geometrías propuestas resulta viable mediante el sistema de moldeo descrito. El uso de machos de EPS sacrificables resuelve la complejidad del hueco interior sin requerir moldes costosos. Los elementos de conexión tipo puzzle, se obtienen mediante insertos mecanizados, evitando operaciones de post-mecanizado.

La incorporación de tintes vegetales al sustrato húmedo no interfiere con el proceso de colonización. Investigaciones sobre *Pleurotus ostreatus* con extractos de *Curcuma longa* (Suryadi et al., 2022) y betalaínas de *Beta vulgaris* (Velíšek & Cejpek, 2011) confirman que concentraciones inferiores al 5% no afectan significativamente la velocidad de colonización. En este proceso, los pigmentos naturales se integran en el sustrato durante la fase de preparación y ajuste de humedad, de manera que la mezcla pigmentada entra ya lista en los moldes para la colonización secundaria. En nuestro proceso, los pigmentos diluidos al 2-3% del peso seco permiten obtener los tonos deseados sin alterar el desarrollo del micelio.

El proceso completo requiere entre 21 y 24 días desde la preparación del sustrato hasta el acabado final, distribuidos en: preparación y esterilización (2 días), incubación inicial (7 días), moldeo y colonización secundaria (10-12 días), y secado/acabado (2-3 días).



7.5. Ecodiseño

El ecodiseño consiste en integrar criterios ambientales en todas las fases del ciclo de vida de un producto, desde la selección de materiales hasta su fin de vida útil. El objetivo es minimizar los impactos negativos sobre el entorno, optimizando al mismo tiempo la funcionalidad, la seguridad y la viabilidad técnica del sistema.

En el caso del sistema modular de mobiliario infantil fabricado en micelio, la estrategia de ecodiseño se centra en el uso de biomateriales renovables, el aprovechamiento de subproductos agrícolas, la incorporación de pigmentos naturales no tóxicos, así como en la posibilidad de biodegradación y retorno al ciclo biológico al final de su vida útil.

Además, el carácter modular y flexible del diseño prolonga la durabilidad del producto, lo que refuerza su alineación con principios de economía circular.

7.5.1. Matriz METCO

Para analizar de forma estructurada los impactos y oportunidades de mejora, se ha elaborado una matriz METCO (Materiales, Energía, Toxicidad, Circularidad y Otros). Esta herramienta permite desglosar cada fase del ciclo de vida del producto (extracción de materiales, fabricación, transporte, uso y mantenimiento, fin de vida) y evaluar sus principales aspectos ambientales. (Gobierno de Castilla-La Mancha, 2024)

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos para el sistema de piezas modulares Mykum, identificando tanto los puntos fuertes del proceso como los aspectos críticos a tener en cuenta en futuras optimizaciones:



	M - Materiales	E - Energía	T - Toxicidad	C - Circularidad	O - Otros
Extracción de materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Sarmiento de vid procesado, serrín y paja - Pigmentos naturales (cúrcuma, remolacha, espirulina, arándanos) - Resina natural de colofonia 	Energía en secado inicial: <ul style="list-style-type: none"> - solar/ambiente - horno a 100 °C 	No se emplean productos tóxicos	Uso de subproductos agrícolas y pigmentos naturales	Bajo impacto ambiental en extracción; posible generación de polvo y ruido en el triturado
Fabricación en fábrica	<ul style="list-style-type: none"> - Bolsas de polipropileno con filtro - Moldes de PP/POM reutilizables - Machos de EPS sacrificables - Espaciadores de cartón integrables 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de energía en autoclave (120 °C, 30 min) - Mezcladora - Homogeneizador ultrasónico - Hornos de secado (100 °C, 48 h) 	Uso de etanol en disolución con resina de colofonia (compuesto volátil)	<ul style="list-style-type: none"> - Moldes e insertos reutilizables - Espaciadores integrados en la pieza 	<ul style="list-style-type: none"> - Condiciones seguras en cabina de flujo laminar - Ruido del molino de martillos
Transporte	Embalaje biodegradable: <ul style="list-style-type: none"> - Cartón - Film 	Energía asociada al transporte a cliente (camión)	Emisiones de CO ₂ derivadas del transporte	Posibilidad de usar embalajes reciclados o reciclables.	Generación de ruido y emisiones durante transporte
Uso y mantenimiento	No requiere consumibles (no requiere mantenimiento ni elementos adicionales)	Nulo consumo energético durante su uso	Material libre de tóxicos; inocuo en contacto con usuarios	Modularidad que prolonga la vida útil, permite la reutilización y recombinación de piezas	Posible desgaste superficial, fácilmente reparable con lijado o reaplicación de resina natural
Fin de vida	Biodegradación completa del micelio, fibras vegetales, pigmentos y colofonia	Energía mínima en procesos de compostaje o reciclado biológico	No se generan residuos peligrosos; únicamente restos de EPS si no se recupera	100% compostable; retorno al ciclo biológico en compostaje industrial o doméstico	Fin de vida con bajo impacto ambiental, compatible con estrategias de economía circular

Tabla 3. Matriz METCO. Elaboración propia.

En conclusión, el análisis mediante la matriz METCO muestra que los principales impactos ambientales del sistema se concentran en la fase de fabricación, debido al consumo energético en procesos de esterilización, secado y acondicionamiento del sustrato, así como en el uso de materiales auxiliares como el EPS.

Sin embargo, se observa un perfil ambiental favorable en comparación con sistemas convencionales, ya que la mayor parte de los materiales empleados son biodegradables, renovables y no tóxicos.

Además, la modularidad del diseño y la biodegradabilidad del micelio refuerzan la alineación del producto con la economía circular, prolongando su vida útil y facilitando un fin de vida con bajo impacto ambiental.

7.5.2. Rueda de LiDS

La Rueda de LiDS (Life-cycle Design Strategy Wheel) es una metodología de ecodiseño que permite evaluar productos a partir de ocho estrategias relacionadas con su ciclo de vida. Cada una de las etapas corresponde a un criterio específico, que va desde el desarrollo del concepto inicial hasta el final del ciclo de vida del producto.



La representación gráfica se realiza en forma de diagrama radial, donde los valores se sitúan de dentro hacia fuera: cuanto más externa es la posición en la rueda, menor es el impacto ambiental.

En este proyecto se ha comparado el sistema modular de micelio Mykum con el Nugget Couch, un sistema de mobiliario modular de espuma tapizada analizado previamente en el estudio de mercado por su funcionalidad similar (uso como asiento y juego).

A continuación se muestra la rueda de LiDS definitiva, representando el sistema Mykum en verde, y el producto de la competencia (Nugget Couch) en rosa.

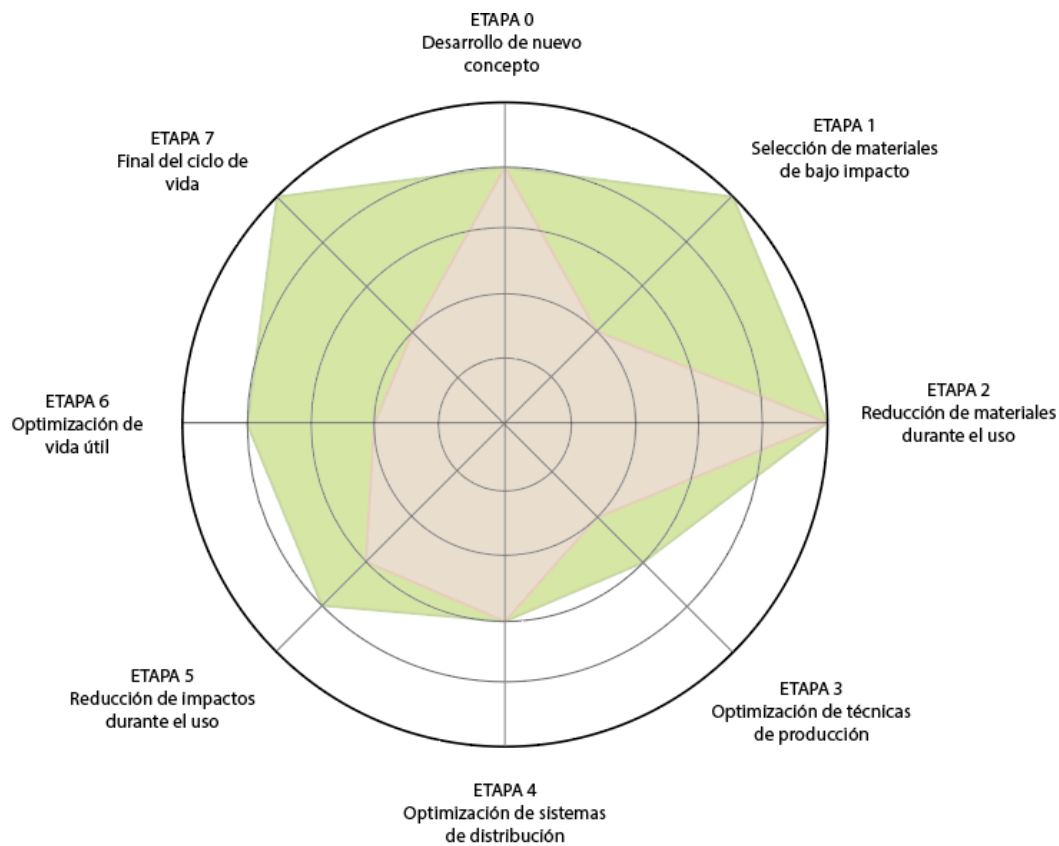


Figura 85. Rueda de LiDS. Elaboración propia.

- Etapa 0. Desarrollo de nuevo concepto

Ambos productos obtienen una puntuación de 4, ya que los dos presentan un concepto innovador y flexible de mobiliario modular que combina funciones de asiento y juego. No obstante, ninguno alcanza la máxima valoración porque ambos parten de tipologías ya existentes en el mercado.

- Etapa 1. Selección de materiales de bajo impacto

Mykum alcanza la puntuación máxima gracias al uso de fibras vegetales, pigmentos naturales y resinas biodegradables, todos ellos de bajo impacto



ambiental. Por otro lado, Nugget Couch obtiene un 2, pues está fabricado en espuma de poliuretano y tejidos sintéticos, materiales derivados del petróleo con mayor huella ambiental.

- Etapa 2. Reducción de materiales durante el uso

Ambos productos obtienen un 5, ya que los dos emplean soluciones de diseño que reducen el consumo de materiales. El sistema en micelio es hueco, optimizando el espesor de las paredes, mientras que el Nugget utiliza bloques ligeros de espuma, lo que también supone un uso relativamente eficiente de material en relación con el volumen y la funcionalidad.

- Etapa 3. Optimización de técnicas de producción

Mykum micelio se valora con un 3, pues, aunque el proceso de moldeo es innovador y de bajo impacto químico, requiere ciclos largos de incubación y secado que implican consumo energético. Nugget Couch recibe un 2, ya que la producción de espumas sintéticas conlleva procesos químicos intensivos y un mayor uso de aditivos industriales.

- Etapa 4. Optimización de sistemas de distribución

Ambos productos se valoran con un 3, dado que su transporte presenta limitaciones similares relacionadas con el volumen de las piezas.

- Etapa 5. Reducción de impactos durante el uso

El sistema Mykum obtiene un 4, ya que no necesita consumibles ni genera emisiones durante su utilización. Nugget Couch obtiene un 3, pues aunque tampoco requiere consumibles, su durabilidad frente al desgaste y la limpieza es más limitada.

- Etapa 6. Optimización de vida útil

Mykum recibe un 4, ya que su diseño modular permite sustituir piezas de manera independiente y prolongar la vida útil del conjunto. Nugget Couch se valora con un 2, puesto que el deterioro del tapizado o de la espuma afecta a la totalidad del producto y limita su durabilidad.

- Etapa 7. Final del ciclo de vida

El sistema en micelio obtiene la máxima puntuación gracias a su completa biodegradabilidad y compostabilidad, retornando al ciclo biológico. El Nugget Couch queda en 2, debido a las dificultades de reciclaje derivadas de su composición en espumas y tejidos sintéticos unidos con adhesivos.

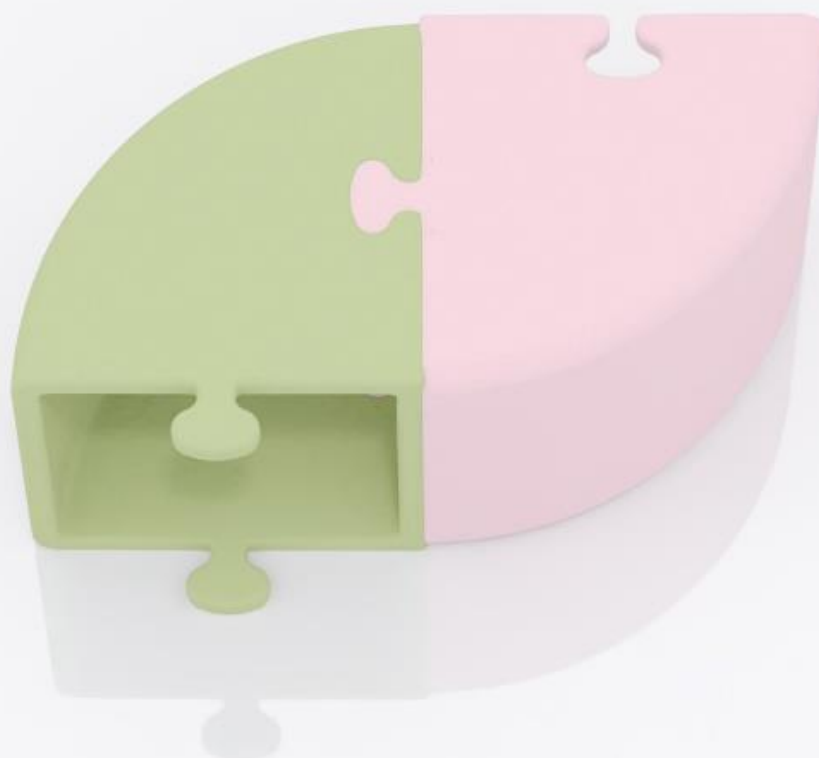
En conjunto, la Rueda de LiDS muestra que el mobiliario Mykum fabricado en micelio ofrece un comportamiento ambiental más favorable que el producto de referencia, destacando en aspectos como la selección de materiales, la



circularidad y el final de vida. Por su parte, el Nugget Couch solo presenta resultados comparables en la reducción de materiales durante la fase de uso.

Capítulo 02

Planos





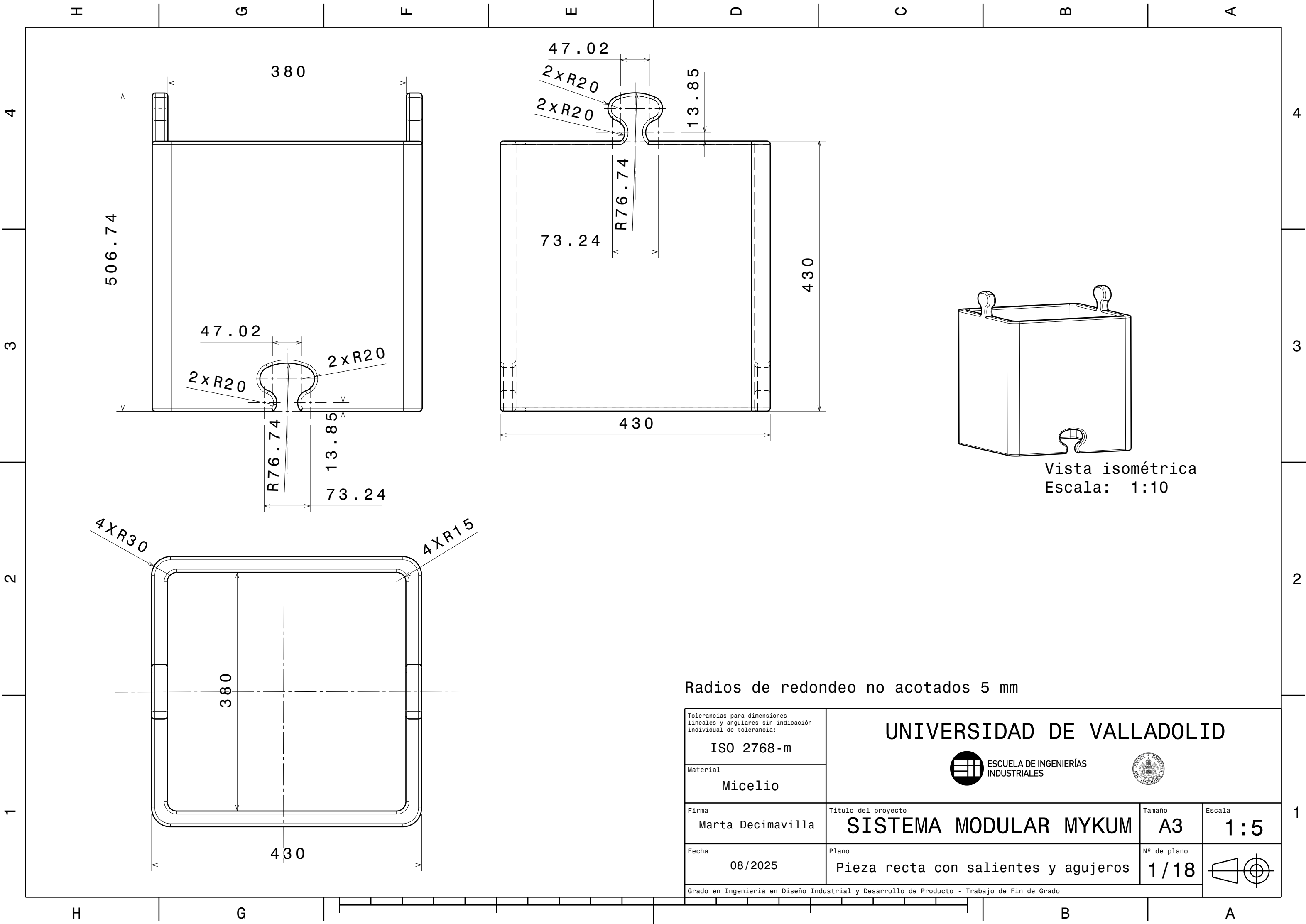
En este apartado se incluyen los planos detallados de todas las piezas que forman parte del sistema. Cada plano recoge las dimensiones necesarias para su fabricación y comprensión del diseño.

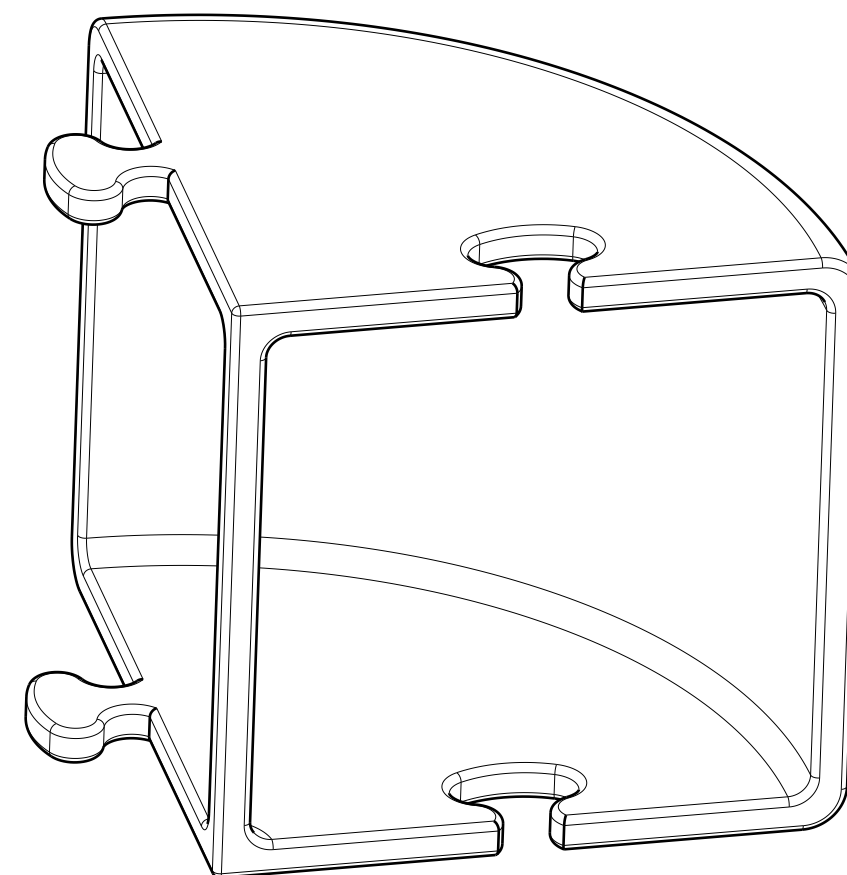
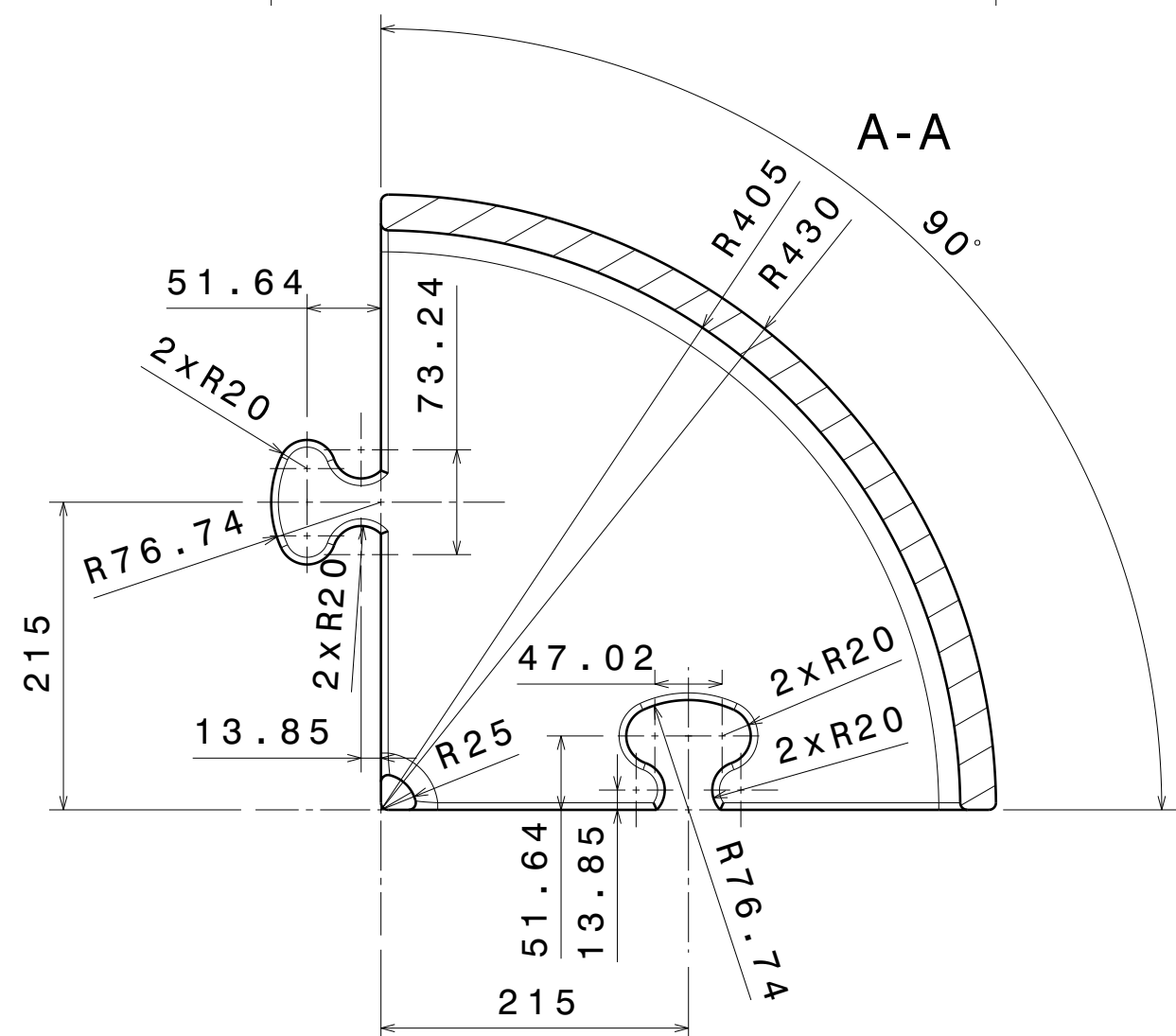
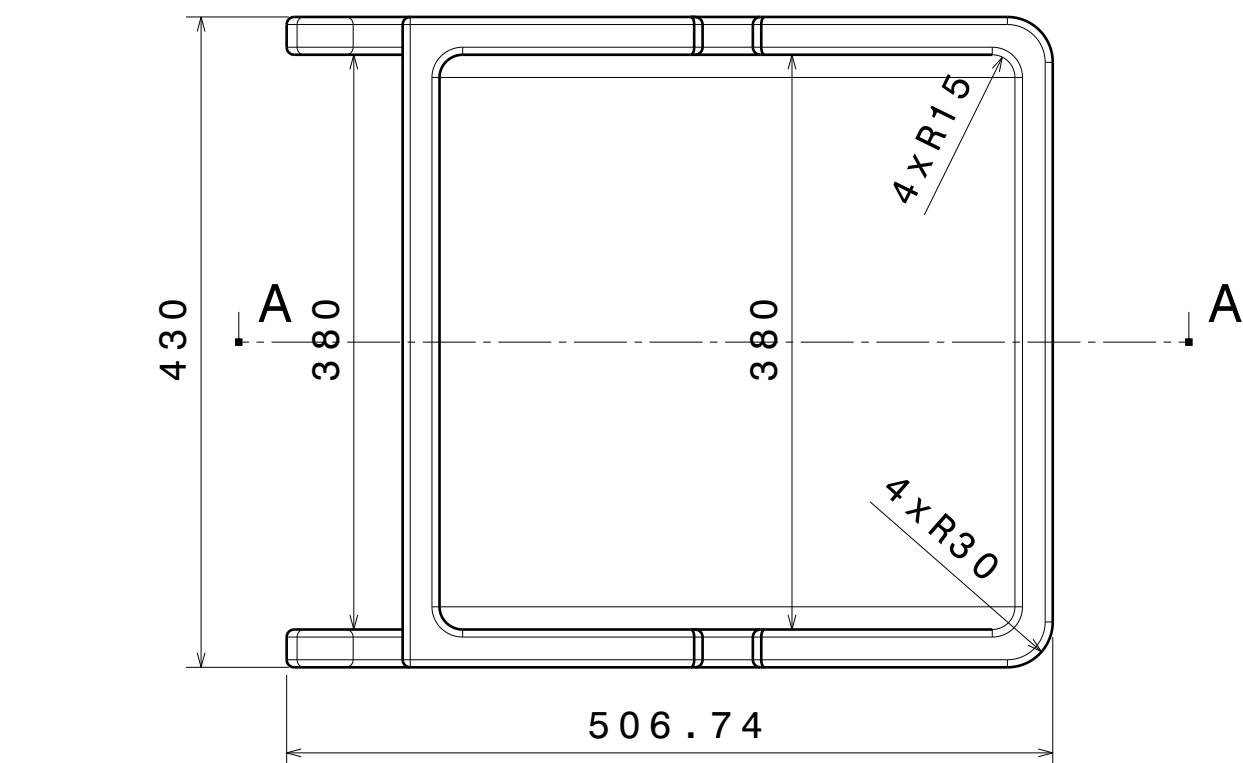
Para el juguete, se han elaborado seis planos principales, correspondientes a las piezas modulares:

- Plano 1: Pieza recta con salientes y agujeros
- Plano 2: Pieza curva
- Plano 3: Pieza recta con salientes
- Plano 4: Pieza recta con agujeros
- Plano 5: Pieza recta
- Plano 6: Abrazadera

Adicionalmente, aunque no forman parte del sistema de mobiliario en sí, se incluyen los planos de los elementos necesarios para el moldeo (moldes exteriores, machos y tapas). Estos resultan esenciales para comprender cómo se lleva a cabo el proceso de fabricación y garantizan la reproducibilidad del sistema productivo:

- Plano 7: Molde exterior piezas rectas
- Plano 8: Molde macho pieza recta
- Plano 9: Tapa molde pieza recta
- Plano 10: Molde macho pieza recta con salientes
- Plano 11: Inserto para saliente
- Plano 12: Tapa molde pieza con agujeros
- Plano 13: Medio molde exterior pieza curva
- Plano 14: Molde macho pieza curva
- Plano 15: Tapa molde pieza curva
- Plano 16: Molde exterior abrazadera
- Plano 17: Molde macho abrazadera
- Plano 18: Tapa molde abrazadera

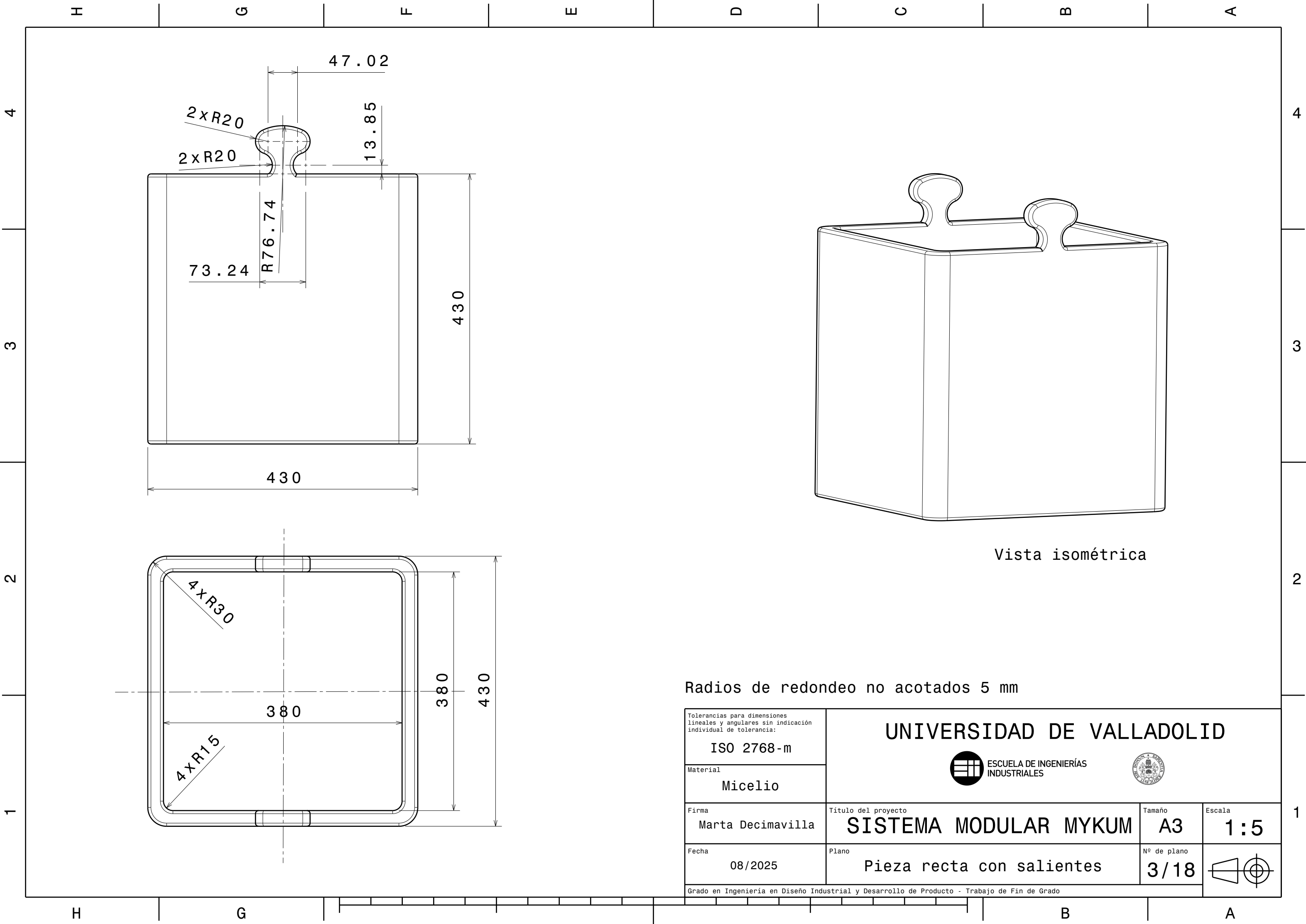


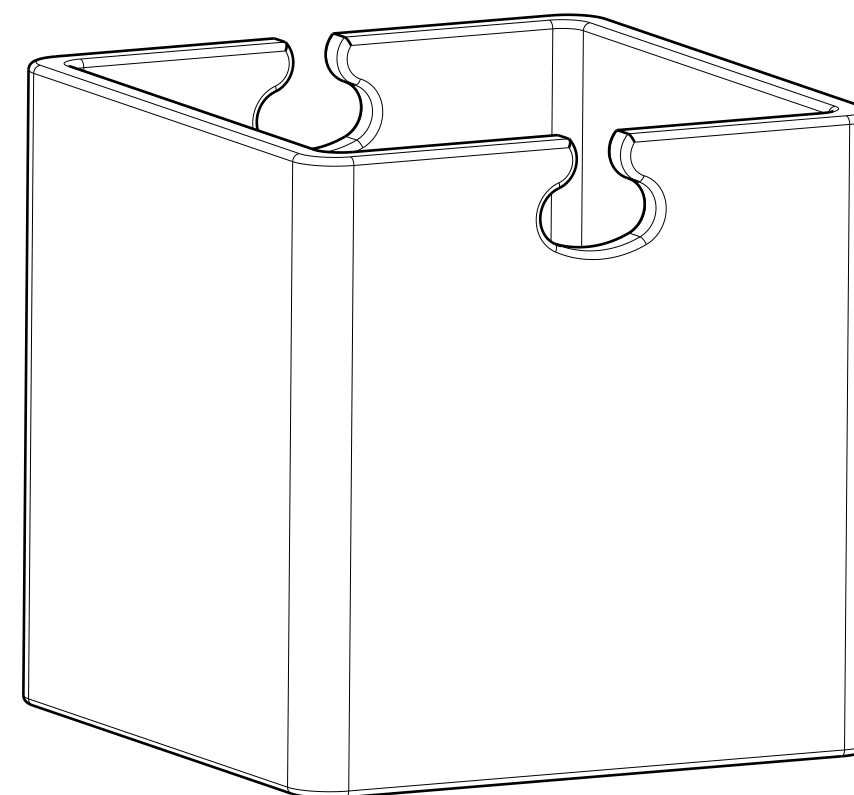
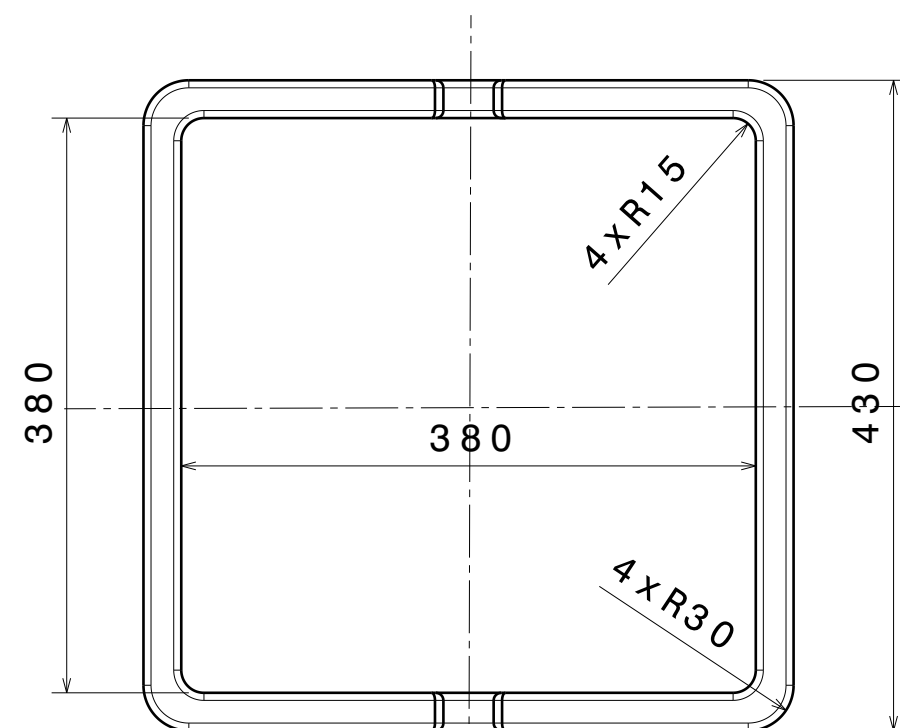
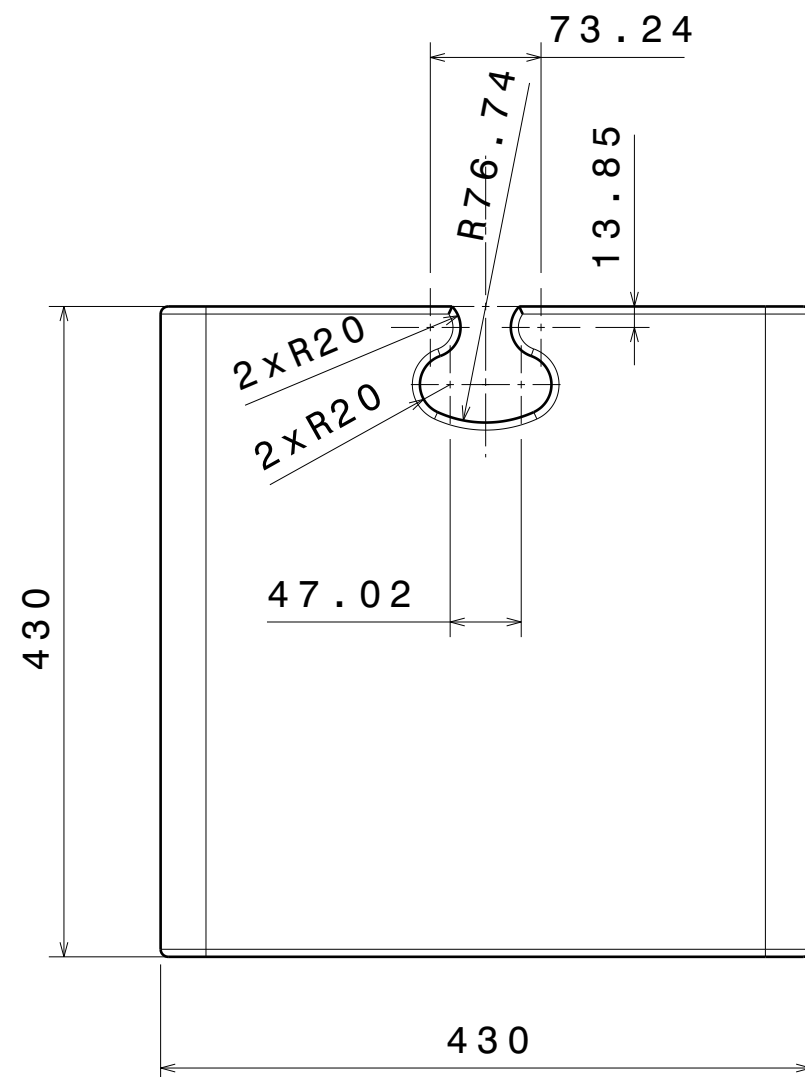


Vista isométrica

Radios de redondeo no acotados 5 mm

Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia:		UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		
Material Micelio		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		
Firma Marta Decimavilla		Título del proyecto SISTEMA MODULAR MYKUM		Tamaño A3
Fecha 08/2025		Plano Pieza curva		Nº de plano 2/18
Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto - Trabajo de Fin de Grado				

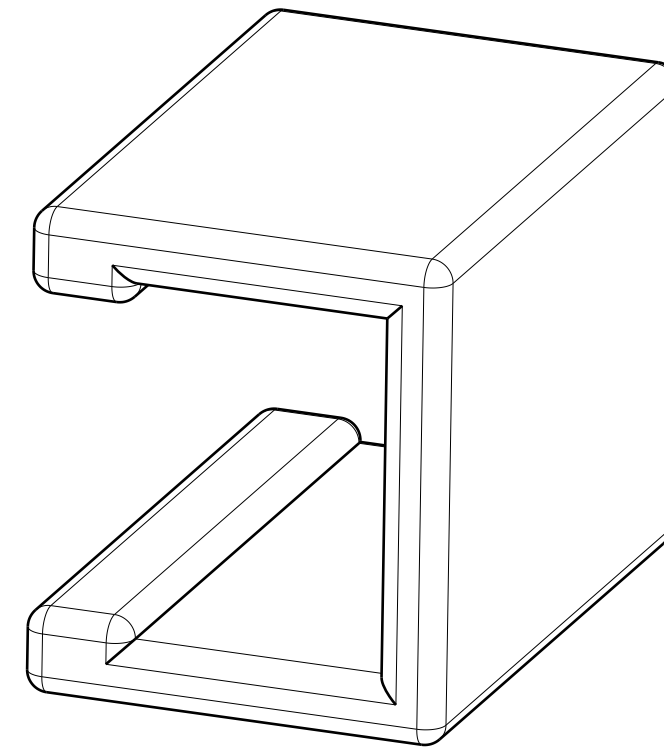
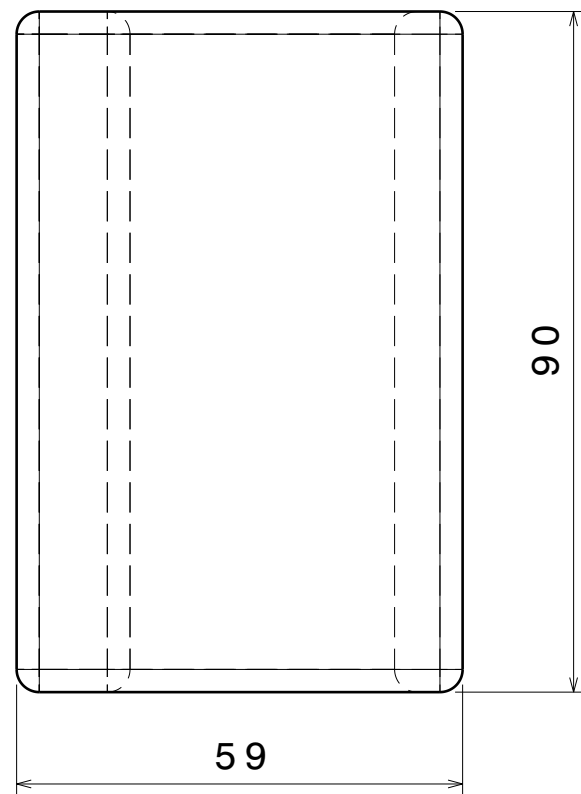
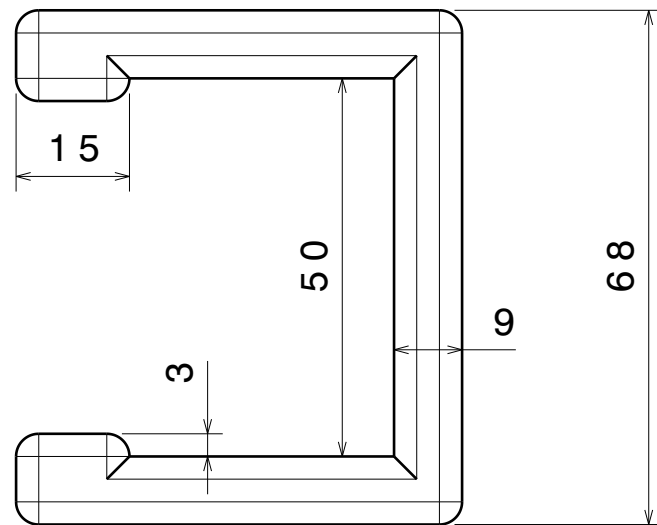




Vista isométrica

Radio de redondeo no acotados 5 mm

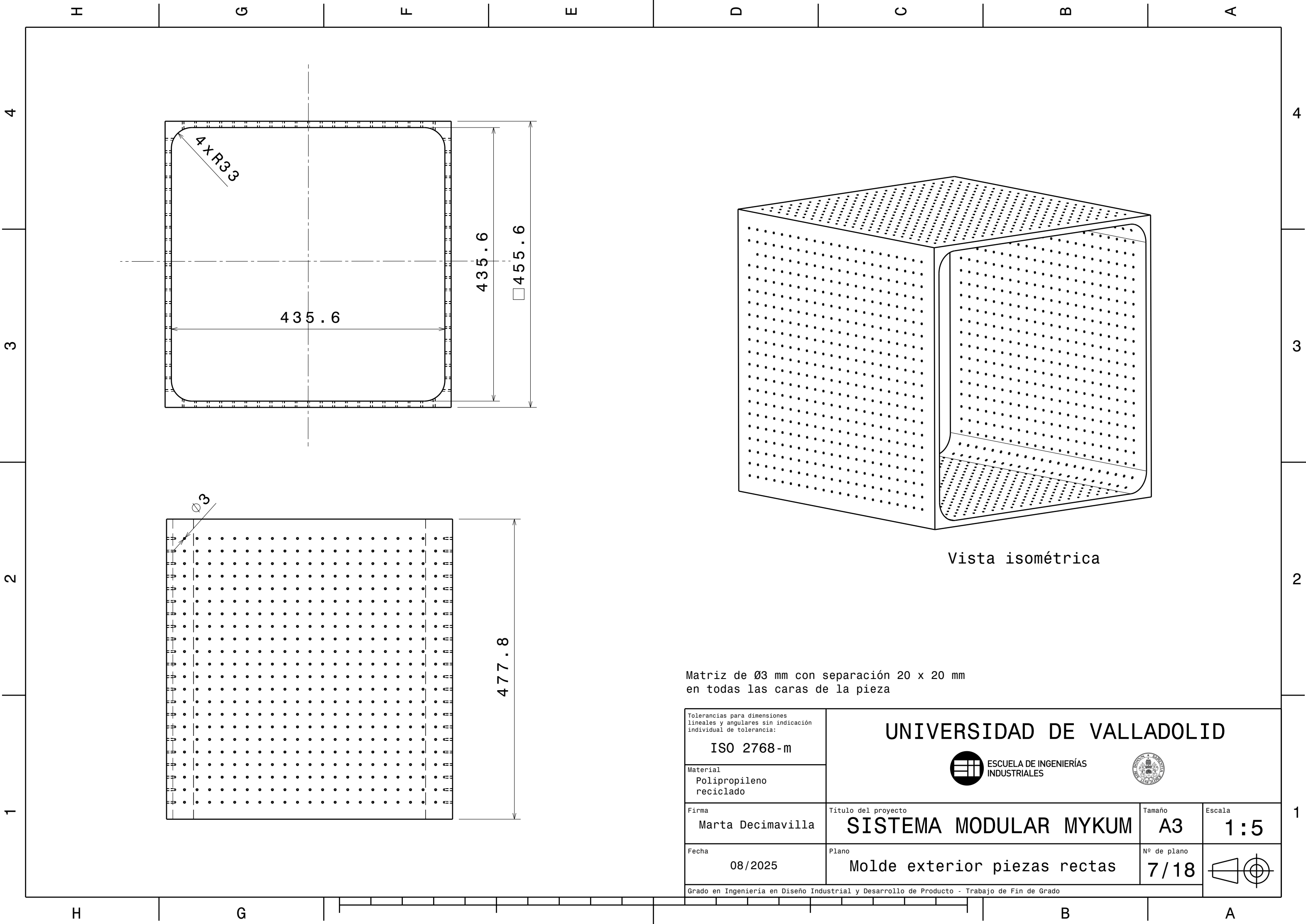
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia:		UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		
Material Micelio		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		
Firma Marta Decimavilla	Título del proyecto SISTEMA MODULAR MYKUM	Tamaño A3	Escala 1:5	
Fecha 08/2025	Plano Pieza recta con agujeros	Nº de plano 4/18		
Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto - Trabajo de Fin de Grado				



Vista isométrica

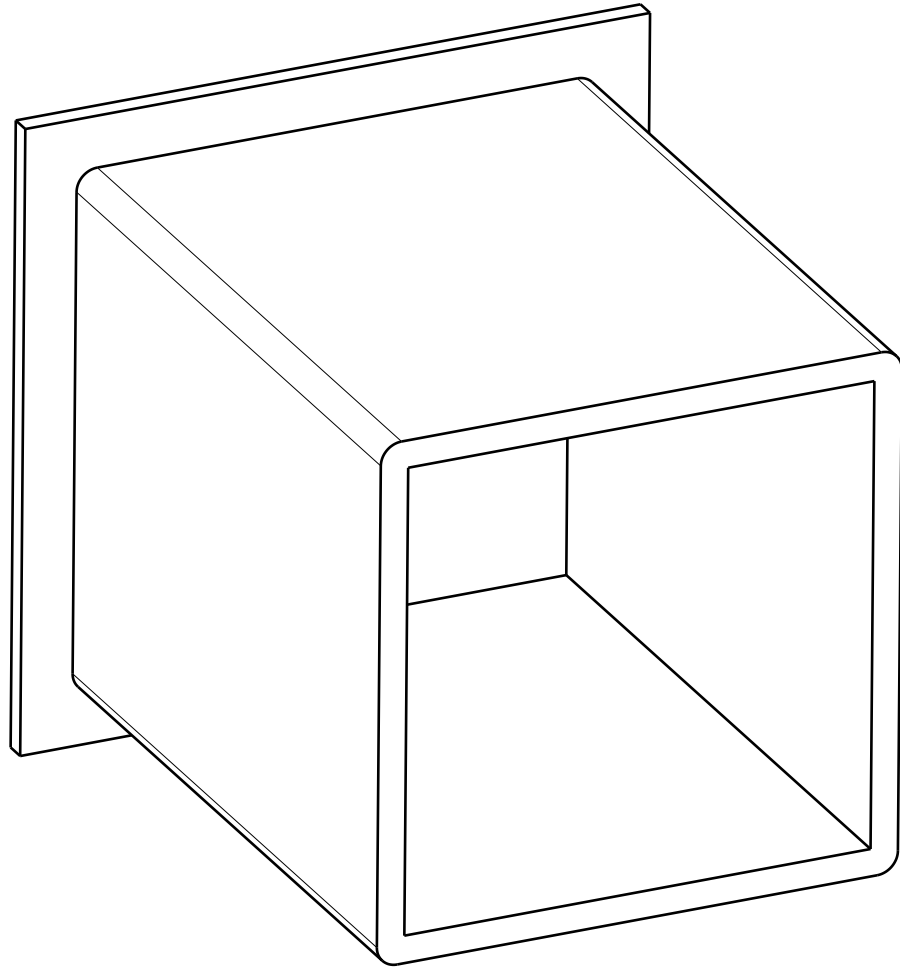
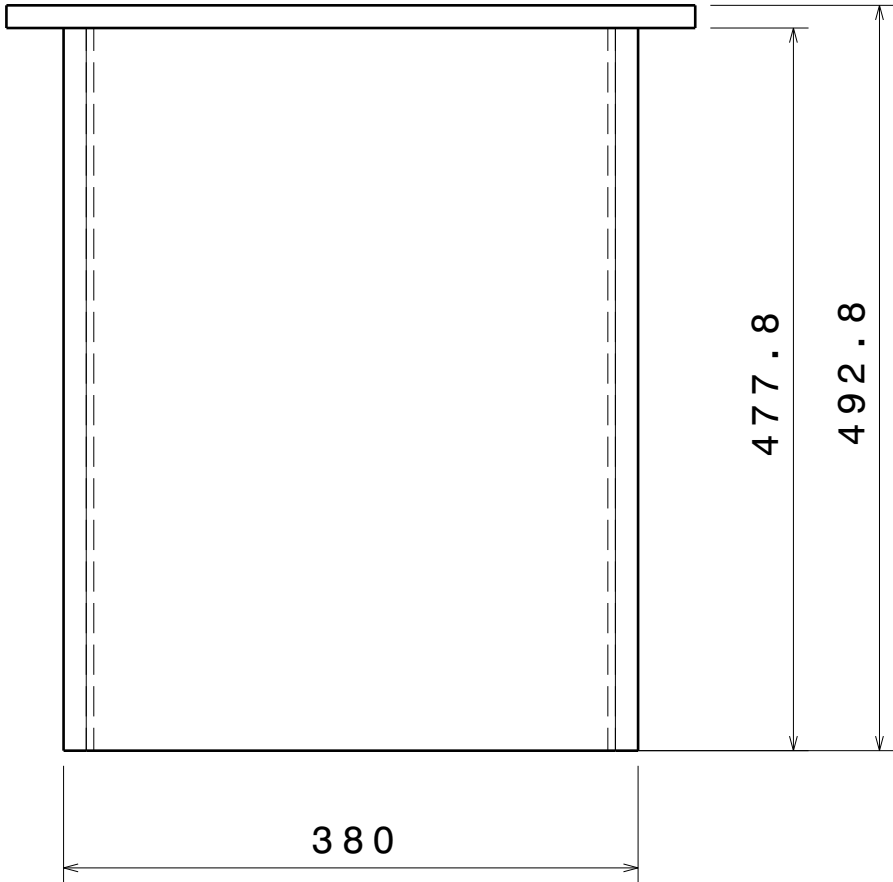
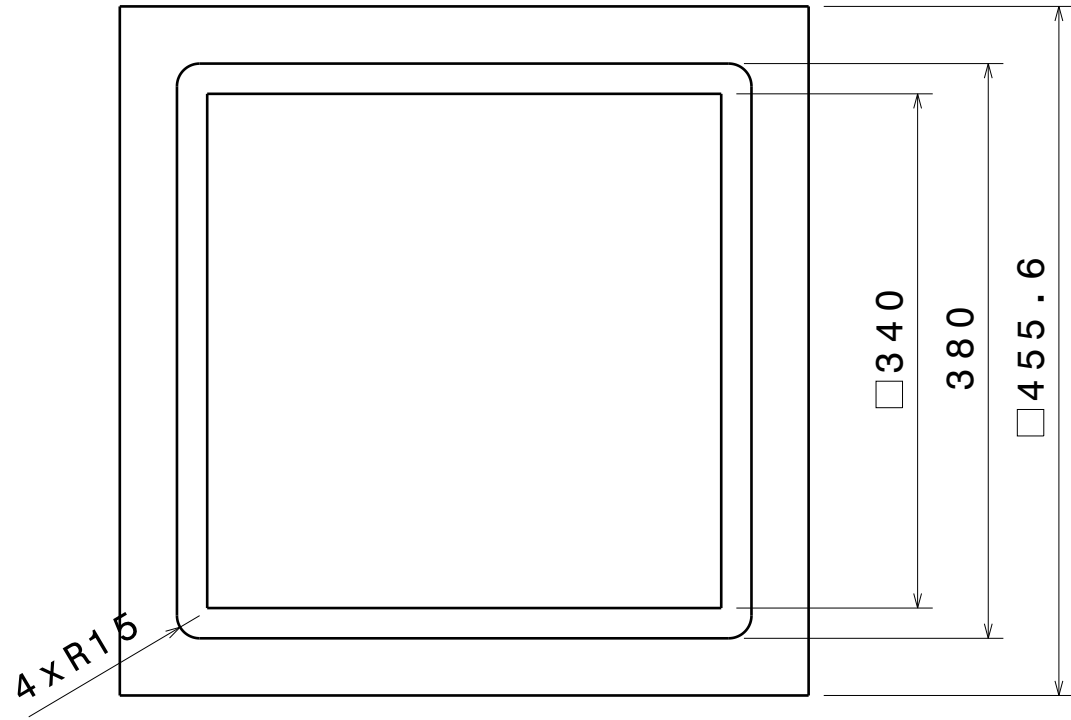
Radios de redondeo no acotados 3 mm

Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia:		UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		
Material Micelio		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		
Firma Marta Decimavilla	Título del proyecto SISTEMA MODULAR MYKUM	Tamaño A3	Escala 1 : 1	
Fecha 08/2025	Plano Abrazadera	Nº de plano 6 / 18		
Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto - Trabajo de Fin de Grado				



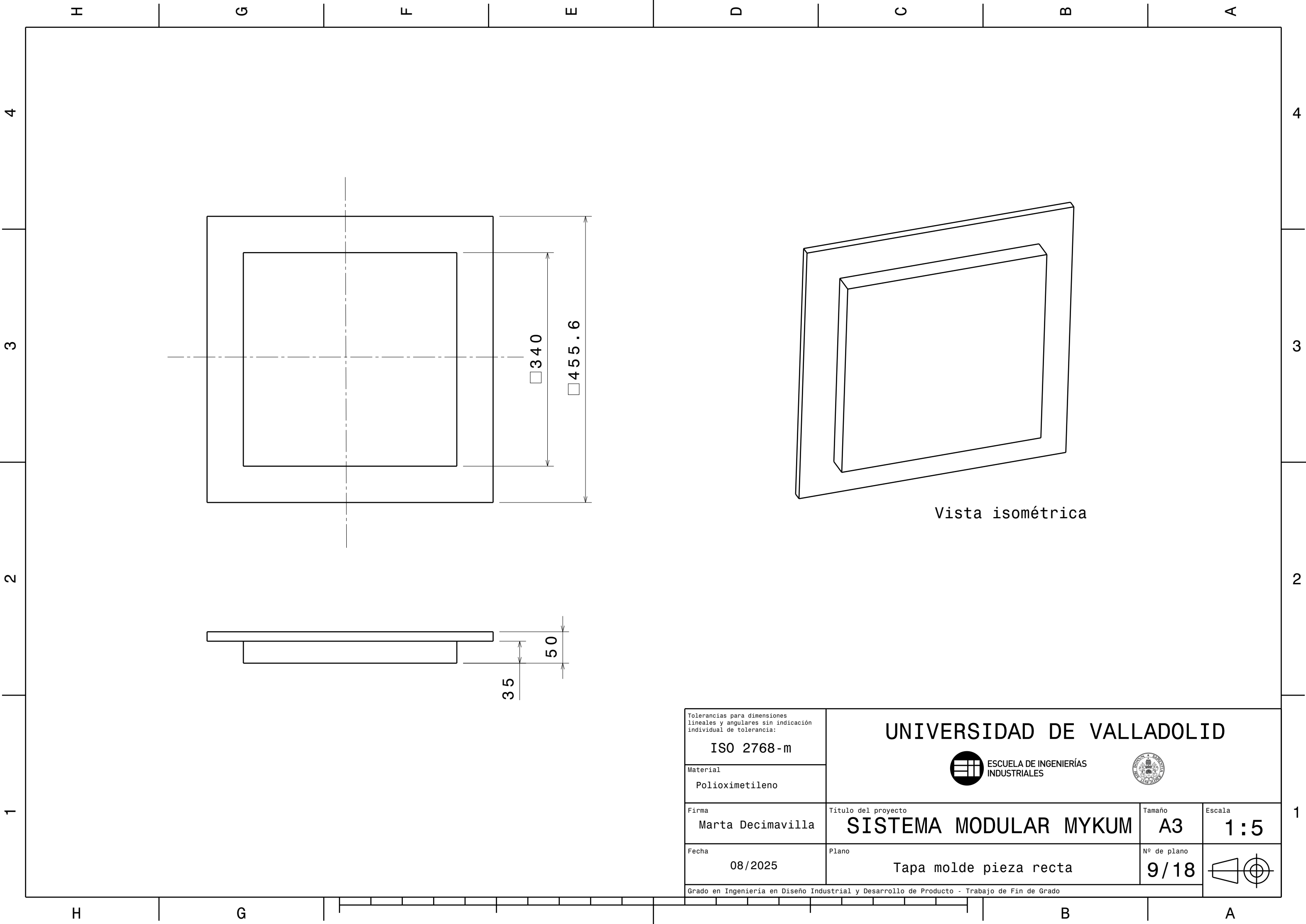
Matriz de Ø3 mm con separación 20 x 20 mm
en todas las caras de la pieza

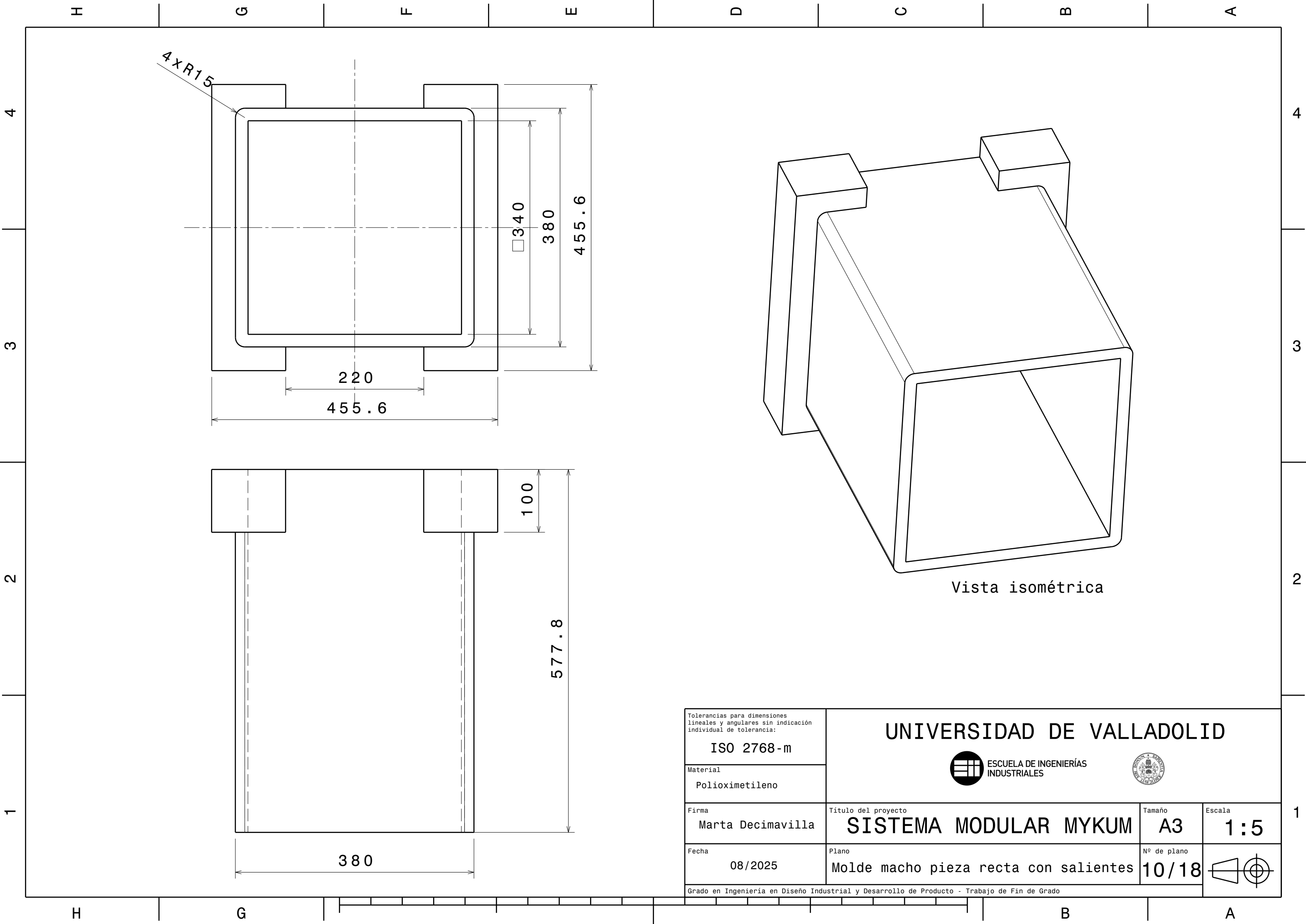
Vista isométrica



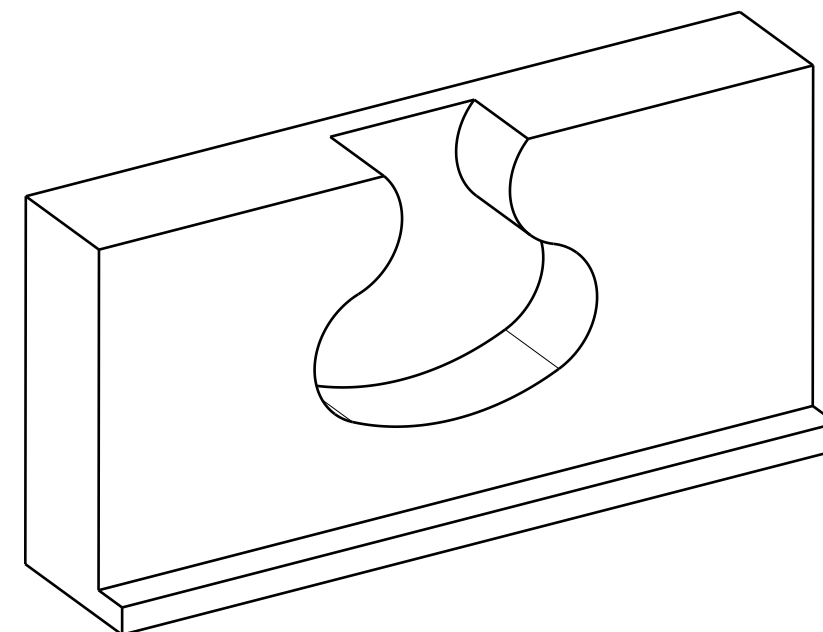
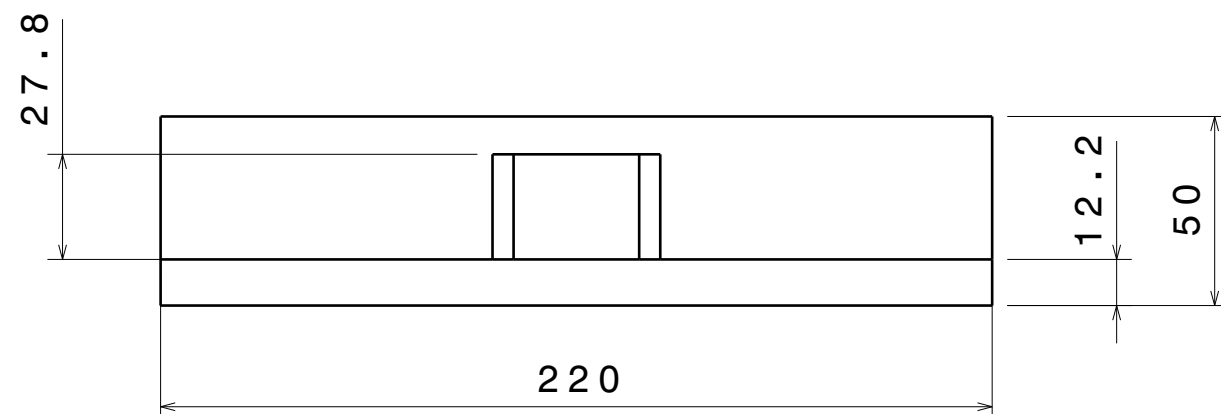
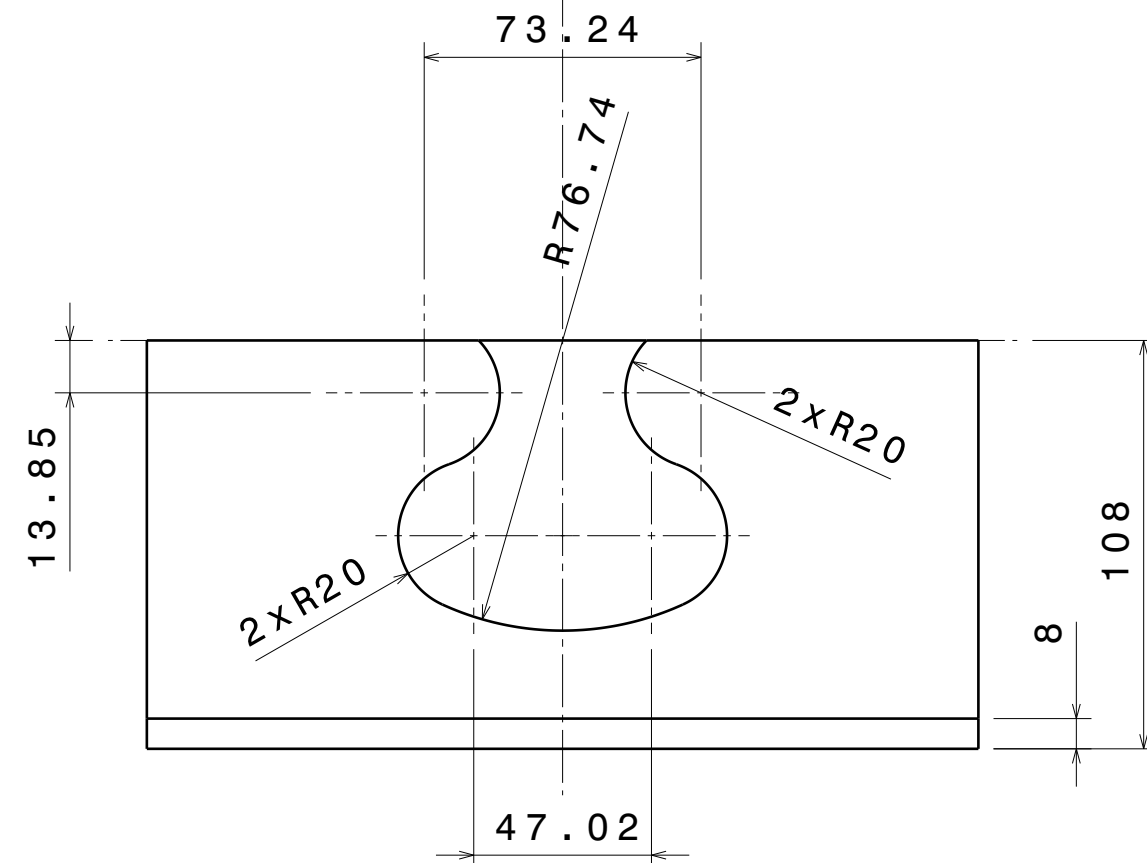
Vista isométrica

Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-m		UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		
Material Polioximetileno		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		
Firma Marta Decimavilla	Título del proyecto SISTEMA MODULAR MYKUM	Tamaño A3	Escala 1 : 5	
Fecha 08/2025	Plano Molde macho pieza recta	Nº de plano 8/18		
Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto - Trabajo de Fin de Grado				



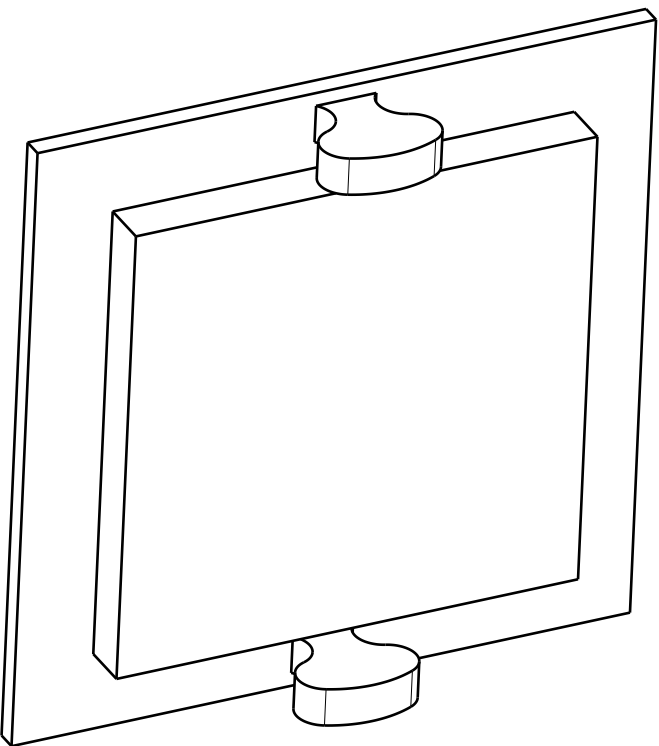
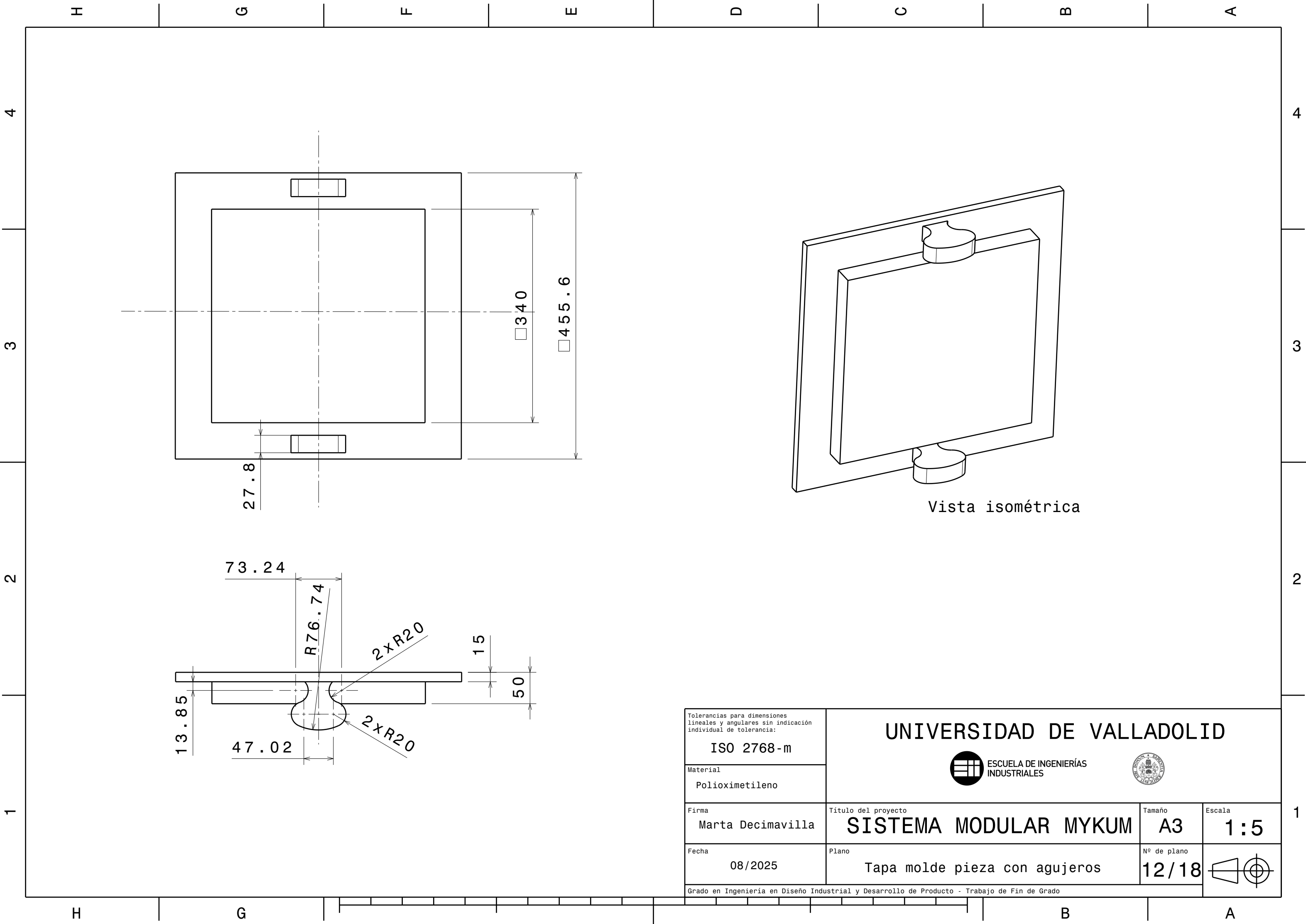


Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia:		UNIVERSIDAD DE VALLADOLID			
ISO 2768-m					
Material Polioximetileno					
Firma Marta Decimavilla	Título del proyecto SISTEMA MODULAR MYKUM	Tamaño A3	Escala 1 : 5		
Fecha 08/2025	Plano Molde macho pieza recta con salientes	Nº de plano 10/18			
Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto - Trabajo de Fin de Grado					



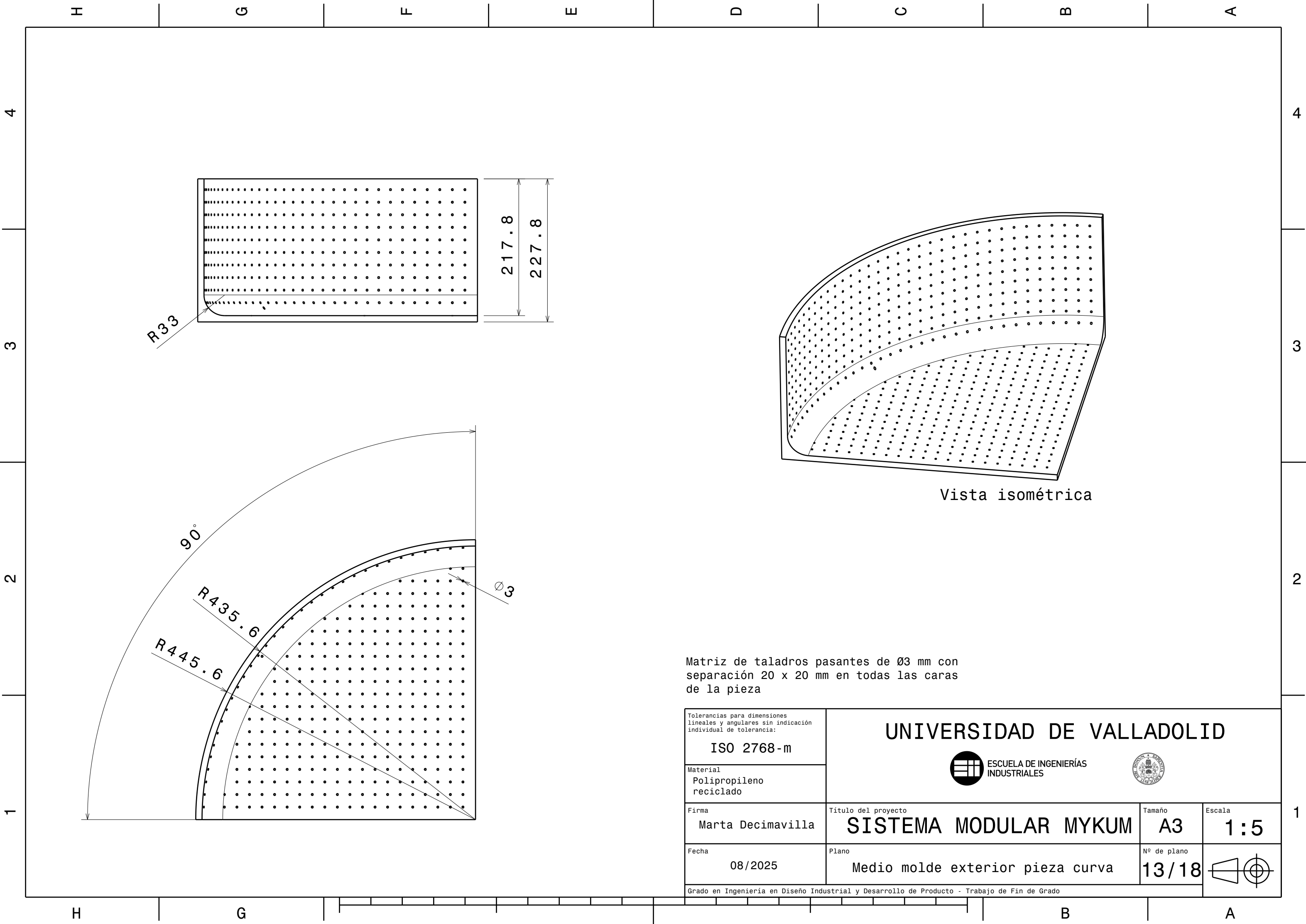
Vista isométrica

Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: <div>ISO 2768-m</div>		<div> <div>  <div> ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES </div> </div> <div>  </div> </div> <div>UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</div>		
Material <div>Polioximetileno</div>				
Firma <div>Marta Decimavilla</div>	Título del proyecto <div>SISTEMA MODULAR MYKUM</div>	Tamaño <div>A3</div>	Escala <div>1 : 2</div>	
Fecha <div>08/2025</div>	Plano <div>Inserto para saliente</div>	Nº de plano <div>11 / 18</div>		
Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto - Trabajo de Fin de Grado				



Vista isométrica

Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia:		UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		
ISO 2768-m		<div> ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES</div> <div></div>		
Material Polioximetileno				
Firma Marta Decimavilla		Título del proyecto SISTEMA MODULAR MYKUM	Tamaño A3	Escala 1 : 5
Fecha 08/2025		Plano Tapa molde pieza con agujeros	Nº de plano 12/18	
Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto - Trabajo de Fin de Grado				



R33

90°

R435.6

R445.6

Ø3

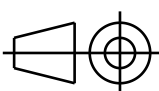
217.8

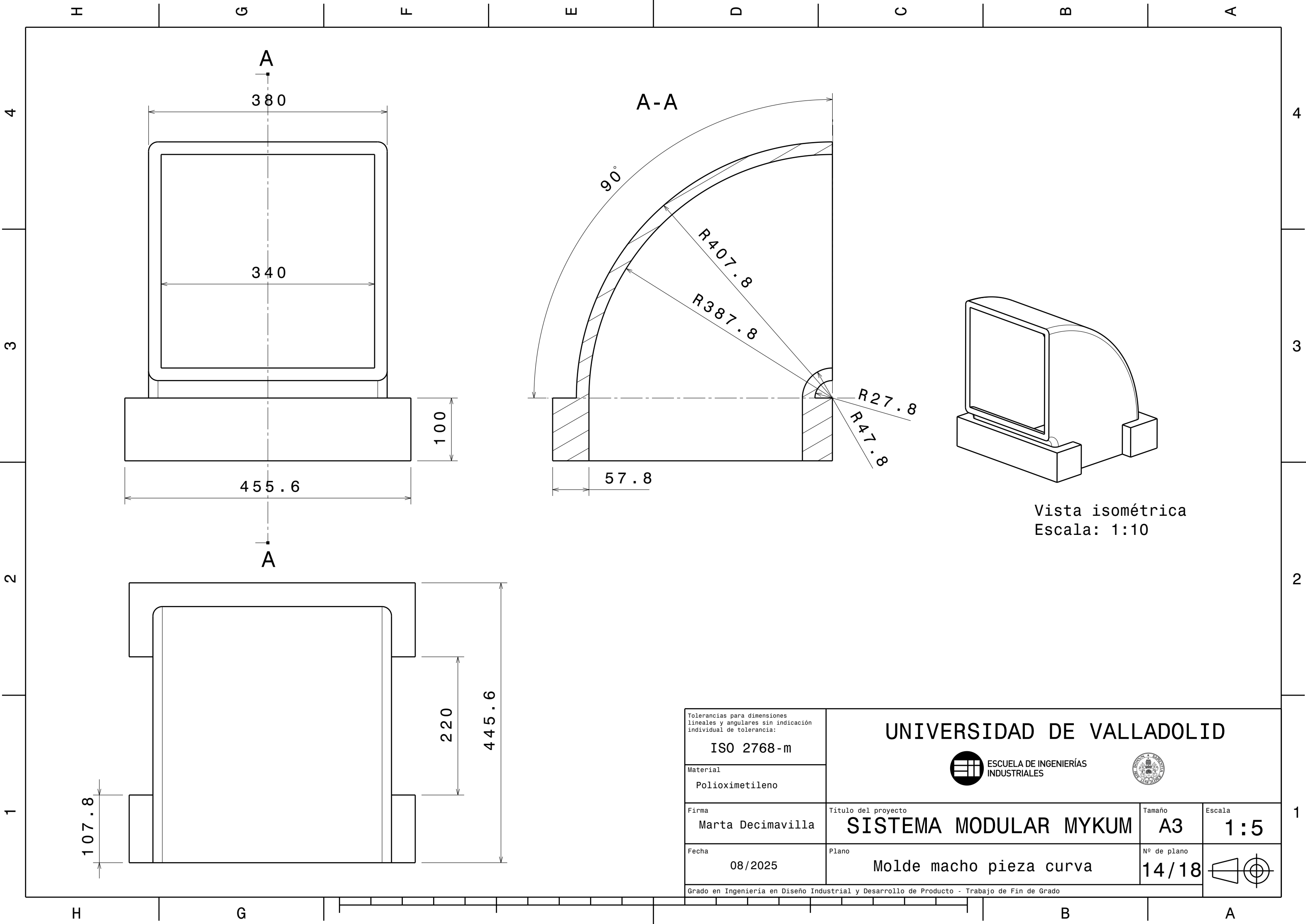
227.8

Matriz de taladros pasantes de Ø3 mm con separación 20 x 20 mm en todas las caras de la pieza

Vista isométrica

Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-m		UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		
Material Polipropileno reciclado			ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	
Firma Marta Decimavilla		Título del proyecto SISTEMA MODULAR MYKUM	Tamaño A3	Escala 1 : 5
Fecha 08/2025		Plano Medio molde exterior pieza curva	Nº de plano 13/18	
Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto - Trabajo de Fin de Grado				





4

3

2

1

H

G

F

E

D

C

B

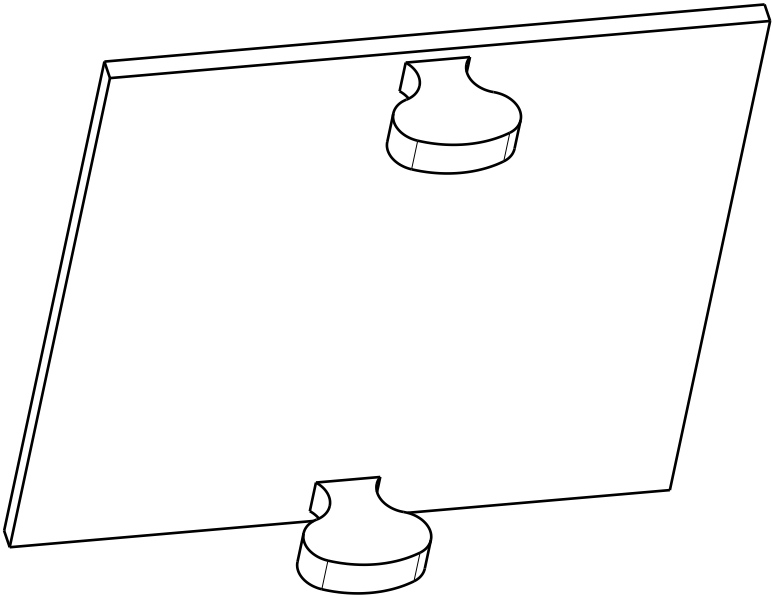
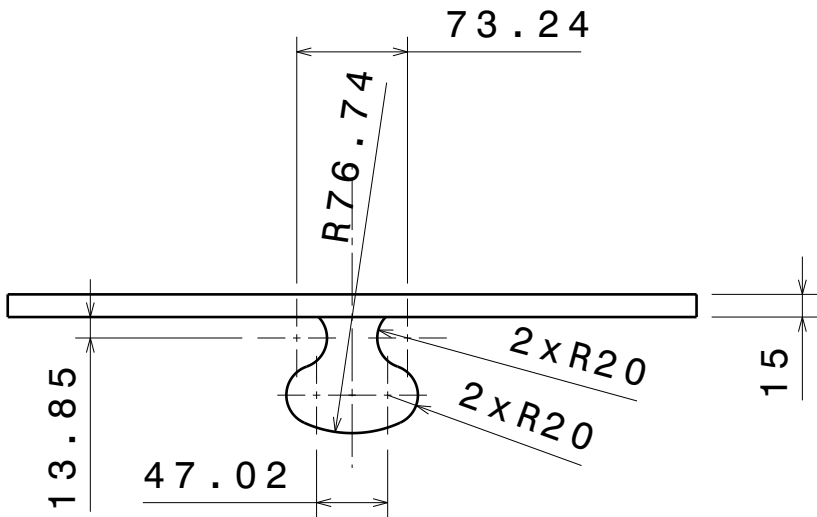
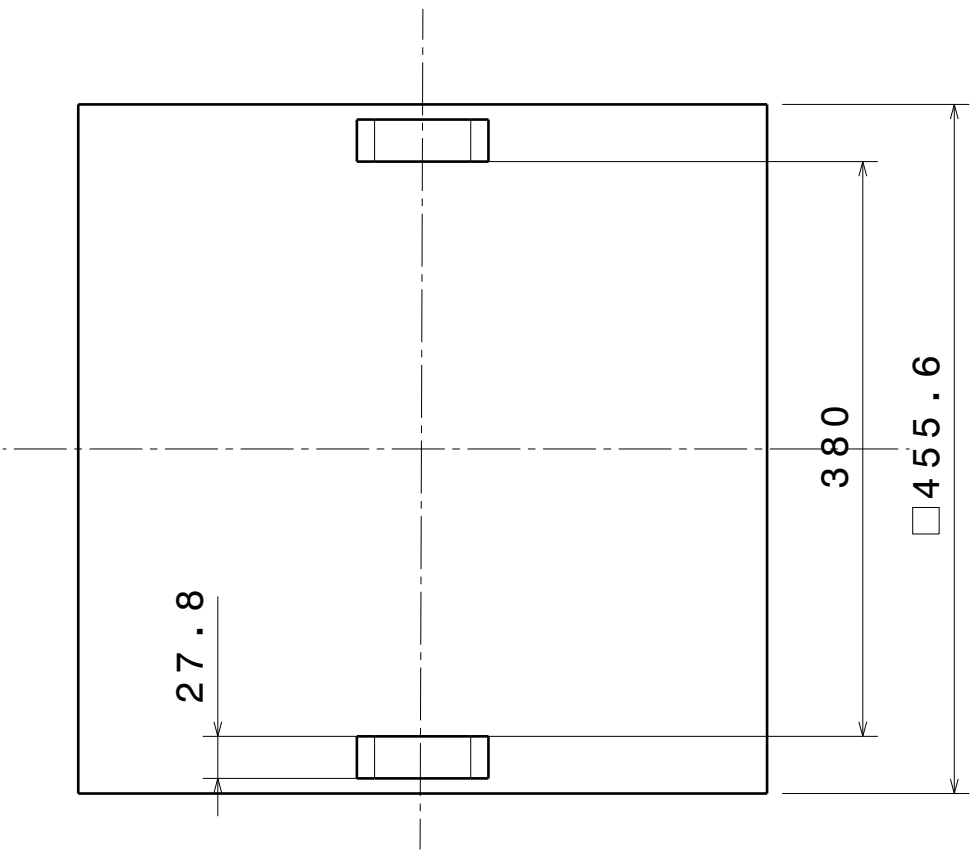
A

4

3

2

1



Vista isométrica

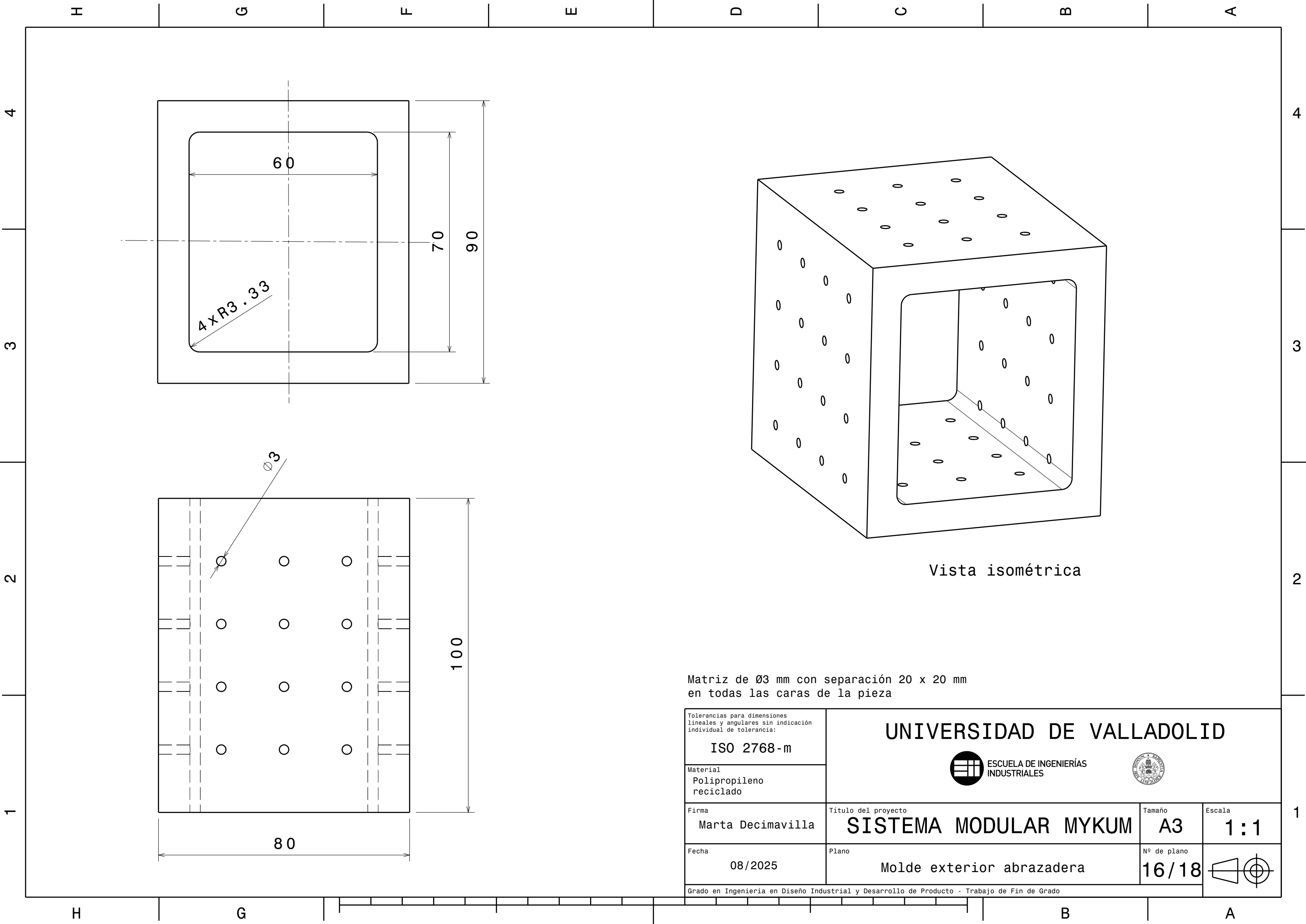
Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-m		UNIVERSIDAD DE VALLADOLID			
Material Polioximetileno		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES			
Firma Marta Decimavilla	Título del proyecto SISTEMA MODULAR MYKUM		Tamaño A3	Escala 1 : 5	
Fecha 08/2025	Plano Tapa molde pieza curva		Nº de plano 15/18		
Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto - Trabajo de Fin de Grado					

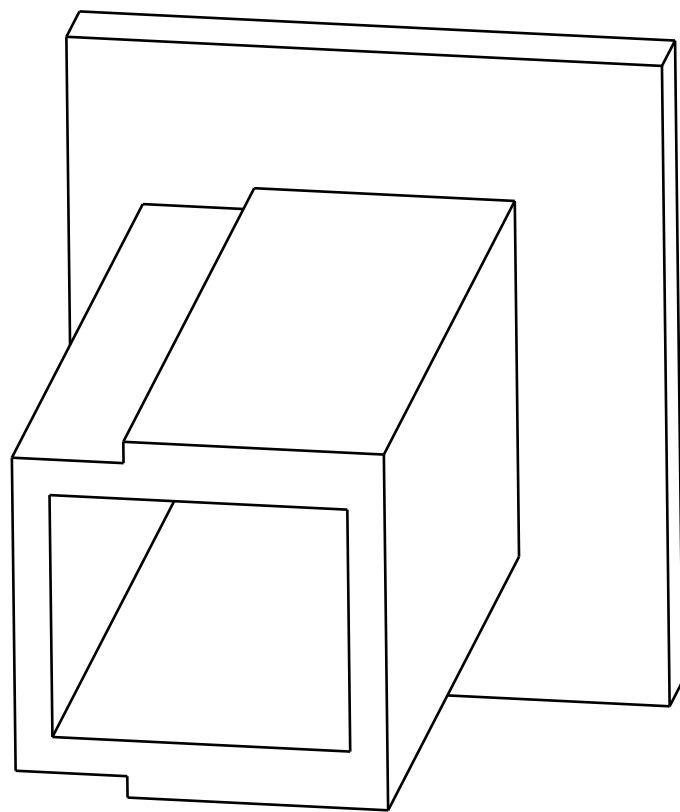
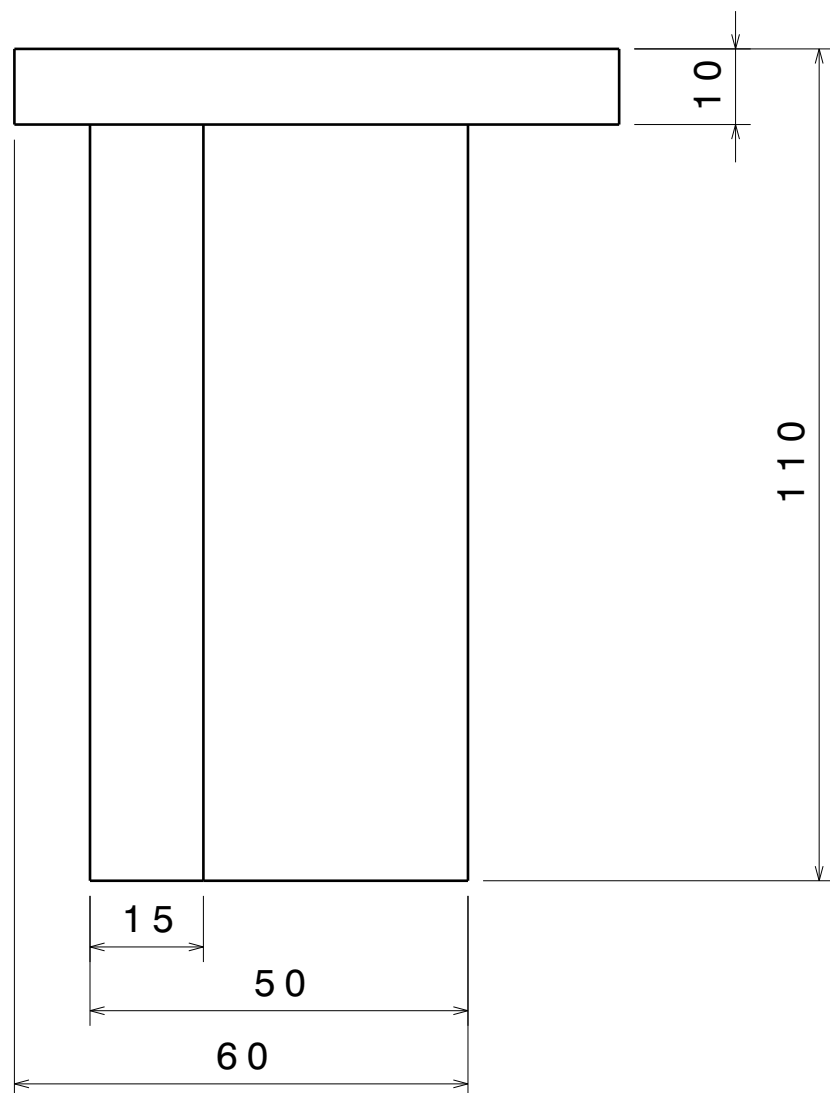
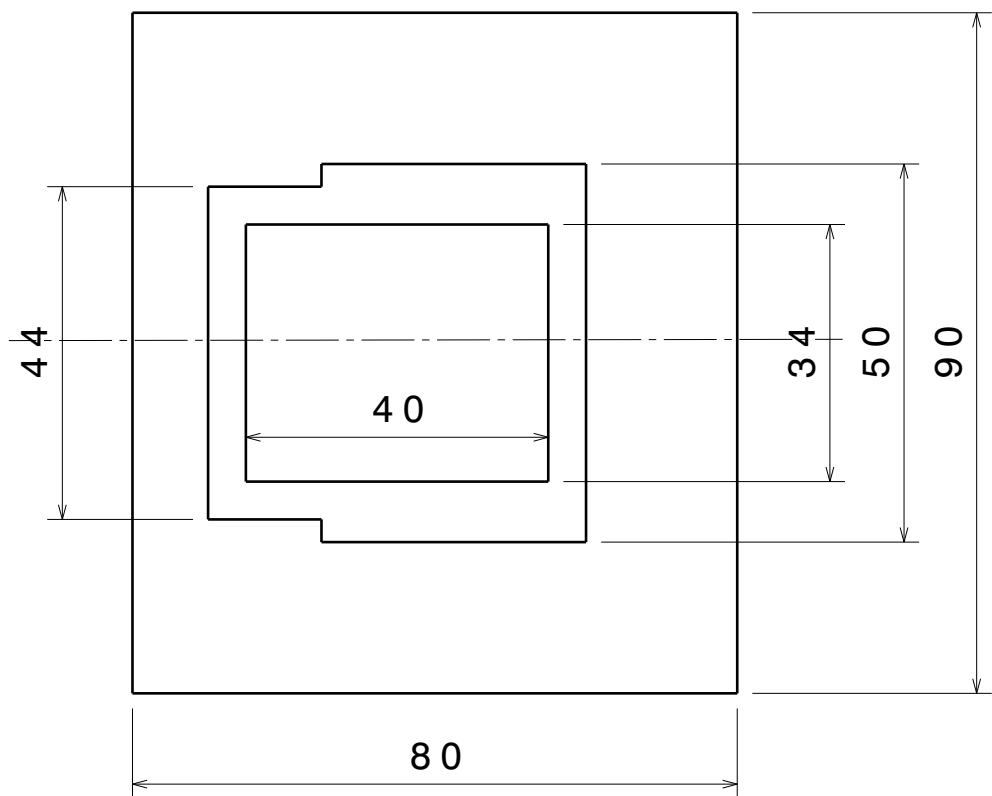
H

G

B

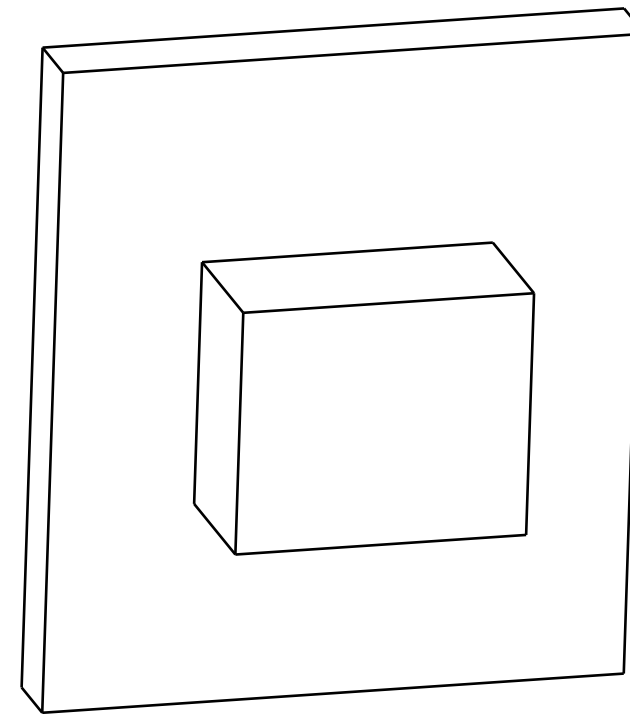
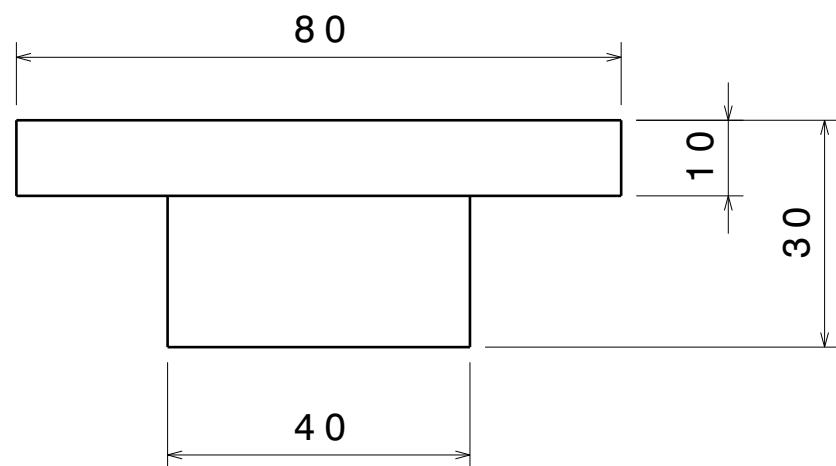
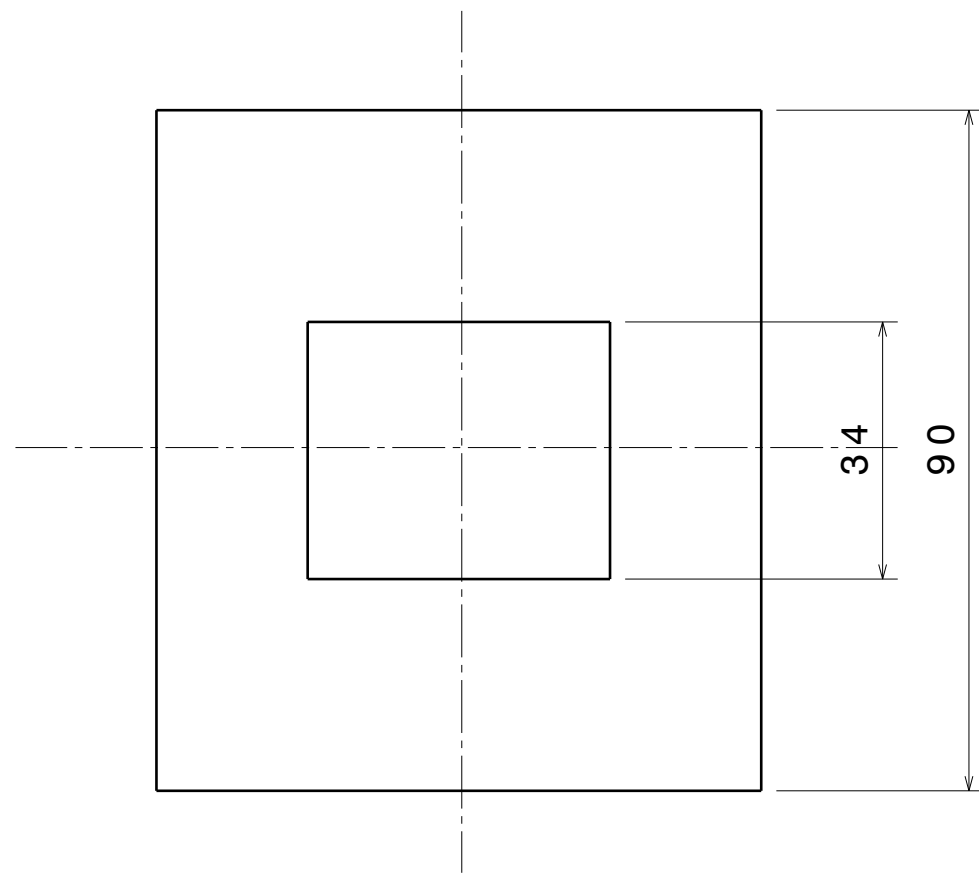
A







Vista isométrica

Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-m		UNIVERSIDAD DE VALLADOLID			
Material Polioximetileno		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES			
Firma Marta Decimavilla		Título del proyecto SISTEMA MODULAR MYKUM		Tamaño A3	Escala 1 : 1
Fecha 08/2025		Plano Molde macho abrazadera		Nº de plano 17 / 18	
Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto - Trabajo de Fin de Grado					

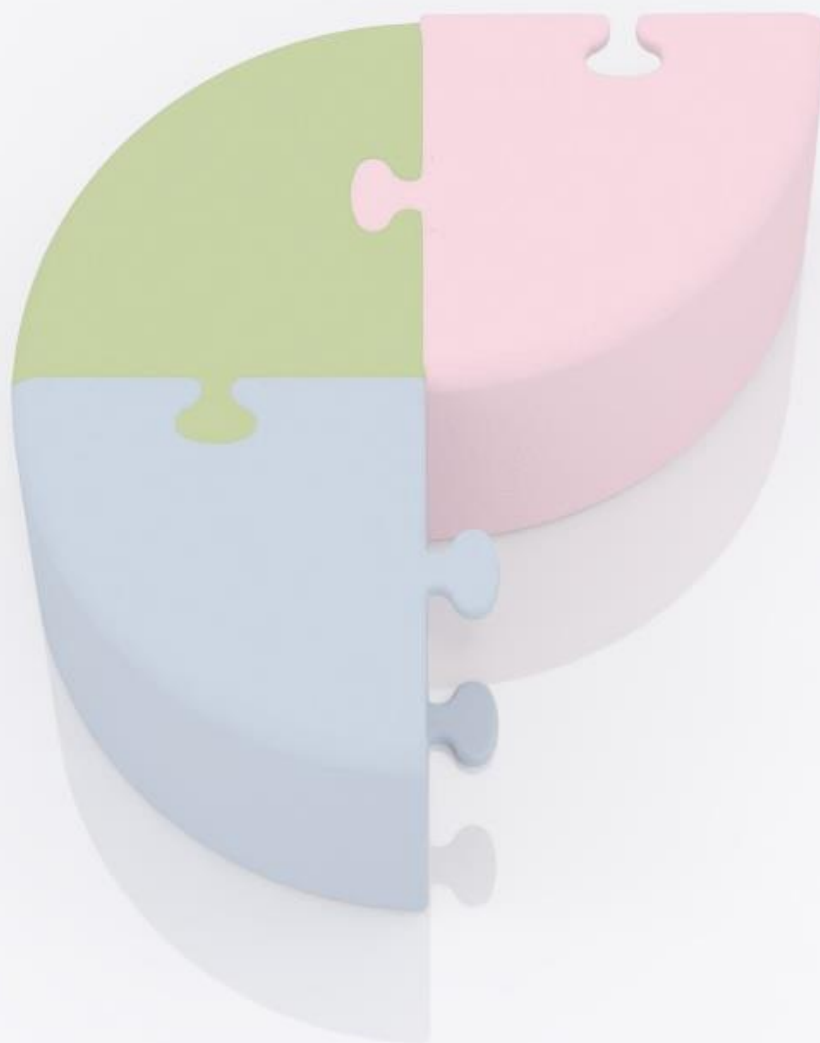


Vista isométrica

Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia: ISO 2768-m		<div> <div>  <div> ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES </div> </div> <div>  </div> </div> <div> <h1>UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</h1> </div>		
Material Polioximetileno				
Firma Marta Decimavilla	Título del proyecto SISTEMA MODULAR MYKUM	Tamaño A3	Escala 1 : 1	
Fecha 08/2025	Plano Tapa molde abrazadera	Nº de plano 18/18		
Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto - Trabajo de Fin de Grado				

Capítulo 03

Presupuesto





1. Coste de fabricación

1.1. Material

Para estimar el coste del material se ha considerado la mezcla húmeda lista para moldear, es decir, la formulación completa previa a introducirse en los moldes. Se define como unidad base:

1 kg de mezcla húmeda al 68 % HR, lo que equivale a 0,32 kg de materia seca junto con 0,68 kg de agua.

Composición y costes unitarios

- Spawn de *Pleurotus ostreatus*: 0,10 kg → 12,5 €/kg → 1,25 €
- Semilla de alpiste: 0,11 kg → 1,5 €/kg → 0,165 €
- Sarmiento de vid procesado: 0,11 kg → 0,1 €/kg → 0,011 €
- Bolsa de polipropileno con filtro 0,2 µm: coste 0,48 €/bolsa (capacidad 3 kg), prorrateado → 0,16 €/kg
- Agua destilada: coste despreciable

Subtotal mezcla base sin pigmento: 1,586 €/kg húmedo

Pigmentos naturales

La coloración se obtiene mediante la adición de pigmentos vegetales al 2–3 % sobre peso seco, es decir, 8 g/kg de mezcla húmeda. Los precios de referencia de mercado son:

- Cúrcuma: 9 €/kg → 0,072 €
- Espirulina: 29 €/kg → 0,232 €
- Remolacha fresca: 2,8 €/kg → 0,022 €
- Arándanos: 3,5 €/kg → 0,028 €

Coste mezcla pigmentada por color:

- Base + cúrcuma: 1,658 €/kg
- Base + espirulina: 1,818 €/kg
- Base + remolacha: 1,608 €/kg
- Base + arándano: 1,614 €/kg

Dado que la producción contempla el 25 % de cada color, el coste medio ponderado es de **1,675 €/kg** húmedo.

Densidad de la mezcla

Para transformar el volumen de las piezas en masa de mezcla, se ha tomado como referencia la densidad seca de 0,21 g/cm³ (210 kg/m³) documentada en la patente EP3828260A1.



En dicho documento las probetas fueron tratadas con resinas epoxi, PU o colofonia. En el presente proyecto se adopta únicamente la colofonia natural, al ser compatible con la biodegradabilidad, por lo que se considera representativo usar el mismo rango de densidad.

La densidad se ha ajustado a condiciones húmedas mediante la relación:

$$\rho_h = \frac{\rho_s}{(1 - H)} = \frac{210}{1 - 0,68} = \mathbf{656 \text{ kg/m}^3}$$

Donde ρ_s es la densidad seca y H el contenido de humedad (68 %).

El impacto de los pigmentos en la densidad se considera despreciable, dado que representan únicamente un 2–3 % del peso seco.

Volumen y masa de las piezas

Los volúmenes se han obtenido mediante modelado 3D en CATIA:

- Pieza 1 (recta, macho + hembra): $1,612 \times 10^7 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,01612 \text{ m}^3 \rightarrow 10,58 \text{ kg húmedo}$
- Pieza 2 (curva, macho + hembra): $1,605 \times 10^7 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,01605 \text{ m}^3 \rightarrow 10,52 \text{ kg húmedo}$
- Pieza 3 (recta, solo macho): $1,691 \times 10^7 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,01691 \text{ m}^3 \rightarrow 11,10 \text{ kg húmedo}$
- Pieza 4 (recta, solo hembra): $1,602 \times 10^7 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,01602 \text{ m}^3 \rightarrow 10,51 \text{ kg húmedo}$
- Pieza 5 (recta sin conectores, con ranuras): $1,651 \times 10^7 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,01651 \text{ m}^3 \rightarrow 10,82 \text{ kg húmedo}$
- Pieza 6 (abrazadera): $1,414 \times 10^5 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,000141 \text{ m}^3 \rightarrow 0,092 \text{ kg húmedo}$

Es importante señalar que los valores calculados con densidad húmeda (656 kg/m^3) no representan el peso final de las piezas, sino que se utilizan únicamente para estimar el coste del material, dado que la mezcla se introduce en el molde en estado húmedo y es en ese momento cuando debe valorarse económicamente.

Para conocer el peso real en uso de cada módulo se toma como referencia la densidad seca del material (210 kg/m^3), ya que tras el proceso de secado el micelio pierde agua y se estabiliza. De este modo, el peso final de las piezas se sitúa en torno a 3,3–3,6 kg. Por ejemplo, en la pieza 1, con un volumen de $0,01612 \text{ m}^3$, la masa seca es:

$$0,01612 \text{ m}^3 \times \frac{210 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 3,38 \text{ kg}$$



Coste del material por pieza

Aplicando el coste medio de 1,675 €/kg:

- Pieza 1 → $10,58 \text{ kg} \times 1,675 \text{ €/kg} = \mathbf{17,721 \text{ €}}$
- Pieza 2 → $10,52 \text{ kg} \times 1,675 \text{ €/kg} = \mathbf{17,621 \text{ €}}$
- Pieza 3 → $11,10 \text{ kg} \times 1,675 \text{ €/kg} = \mathbf{18,592 \text{ €}}$
- Pieza 4 → $10,51 \text{ kg} \times 1,675 \text{ €/kg} = \mathbf{17,604 \text{ €}}$
- Pieza 5 → $10,82 \text{ kg} \times 1,675 \text{ €/kg} = \mathbf{18,123 \text{ €}}$
- Pieza 6 (abrazadera) → $0,092 \text{ kg} \times 1,675 \text{ €/kg} = \mathbf{0,15 \text{ €}}$

1.2. M.O.D. (Mano de obra directa)

Los costes de Mano de Obra Directa (M.O.D.) corresponden exclusivamente al tiempo necesario para realizar las operaciones manuales de fabricación: preparación del molde, llenado con la mezcla, desmoldeo, aplicación de la resina de colofonia y control final de calidad.

La única operación cuyo tiempo varía entre todas las piezas es la preparación de la mezcla base. Esta fase incluye la pigmentación, el embolsado y la inoculación en lotes mediante útiles específicos, y se estima que se tarda 0,4 min/kg de mezcla húmeda. Por lo tanto, el tiempo de esta operación depende directamente de la masa de cada pieza:

- Pieza 1 → $10,58 \text{ kg} \times 0,4 \text{ min/kg} = 4,23 \text{ min}$
- Pieza 2 → $10,52 \text{ kg} \times 0,4 \text{ min/kg} = 4,21 \text{ min}$
- Pieza 3 → $11,10 \text{ kg} \times 0,4 \text{ min/kg} = 4,44 \text{ min}$
- Pieza 4 → $10,51 \text{ kg} \times 0,4 \text{ min/kg} = 4,20 \text{ min}$
- Pieza 5 → $10,82 \text{ kg} \times 0,4 \text{ min/kg} = 4,33 \text{ min}$
- Pieza 6 → $0,092 \text{ kg} \times 0,4 \text{ min/kg} = 0,04 \text{ min}$

El resto de operaciones (esterilización, llenado, colonización, desmoldeo y aplicación del tratamiento superficial) y sus respectivos tiempos son comunes a todas las piezas rectas (piezas 1, 3, 4 y 5), por lo que sus costes, se mantienen constantes en todos los casos, variando únicamente la fase de preparación de mezcla.

M.O.D. Pieza 1



Nº Op.	Operación	Operario	Tiempo (min)	Tiempo (h)	Jornal (€/h)	Importe (€)
1	Preparación mezcla	Peón	4,23	0,071	10	0,71
2	Preparación de molde e insertos	Oficial	2	0,033	12	0,4
3	Llenado y compactación	Oficial	3	0,05	12	0,6
4	Cierre	Peón	0,5	0,008	10	0,08
5	Carga a incubación	Peón	0,5	0,008	10	0,08
6	Desmoldeo exterior y retirada de insertos	Oficial	2	0,033	12	0,4
7	Extracción de macho y limpieza interior	Oficial	3	0,05	12	0,6
8	Descarga/carga de horno	Peón	0,7	0,012	10	0,12
9	Pulverizado colofonia	Especialista	1	0,017	14	0,23
10	Control dimensional y limpieza de logo	Oficial	1	0,017	12	0,2
	M.O.D. Pieza 1		17,93			3,42

Tabla 4. Coste M.O.D. Pieza 1. Elaboración propia.

M.O.D. Pieza 2

Nº Op.	Operación	Operario	Tiempo (min)	Tiempo (h)	Jornal (€/h)	Importe (€)
1	Preparación mezcla	Peón	4,21	0,07	10	0,7
2-10	Mismas que Pieza 1		13,7			2,71
11	Desmoldeo específico curvo	Oficial	2	0,033	12	0,4
	M.O.D. Pieza 2		19,91			3,81

Tabla 5. Coste M.O.D. Pieza 2. Elaboración propia.

M.O.D. Pieza 3

Nº Op.	Operación	Operario	Tiempo (min)	Tiempo (h)	Jornal (€/h)	Importe (€)
1	Preparación mezcla	Peón	4,44	0,074	10	0,74
2-10	Mismas que Pieza 1		13,7			2,71
	M.O.D. Pieza 3		18,14			3,45

Tabla 6. Coste M.O.D. Pieza 3. Elaboración propia.

M.O.D. Pieza 4



Nº Op.	Operación	Operario	Tiempo (min)	Tiempo (h)	Jornal (€/h)	Importe (€)
1	Preparación mezcla	Peón	4,2	0,07	10	0,7
2-10	Mismas que Pieza 1		13,7			2,71
	M.O.D. Pieza 4		17,9			3,41

Tabla 7. Coste M.O.D. Pieza 4. Elaboración propia.

M.O.D. Pieza 5

Nº Op.	Operación	Operario	Tiempo (min)	Tiempo (h)	Jornal (€/h)	Importe (€)
1	Preparación mezcla	Peón	4,33	0,072	10	0,72
2-10	Mismas que Pieza 1		13,7			2,71
	M.O.D. Pieza 5		18,03			3,43

Tabla 8. Coste M.O.D. Pieza 5. Elaboración propia.

M.O.D. Pieza 6

Nº Op.	Operación	Operario	Tiempo (min)	Tiempo (h)	Jornal (€/h)	Importe (€)
1	Preparación mezcla	Peón	0,04	0,001	10	0,01
2	Preparación de molde e insertos	Oficial	0,5	0,008	12	0,1
3	Llenado y compactación	Oficial	0,8	0,013	12	0,16
4	Cierre	Peón	0,2	0,003	10	0,03
5	Carga a incubación	Peón	0,2	0,003	10	0,03
6	Desmoldeo	Oficial	0,5	0,008	12	0,1
7	Descarga/carga de horno	Peón	0,3	0,005	10	0,05
8	Pulverizado colofonia	Especialista	0,2	0,003	14	0,05
9	Control dimensional	Oficial	0,2	0,003	12	0,04
	M.O.D. Pieza 6		2,94			0,57

Tabla 9. Coste M.O.D. Pieza 6. Elaboración propia.

1.3. Puesto de trabajo

Los costes de puesto de trabajo recogen el consumo energético asociado a cada máquina empleada durante el proceso productivo: desde la preparación del sustrato hasta el secado final y la aplicación de colofonia. Para su cálculo se han considerado los consumos eléctricos medios de cada equipo, el tiempo de uso estimado por pieza y un coste de la energía de 0,20 €/kWh.

En el caso del molino de martillos, el tiempo depende de la masa de cada pieza (0,02 h/ kg), por lo que varía dependiendo del tipo de pieza.



Para el autoclave se toma como referencia un ciclo estándar de esterilización de 0,5 horas para una carga máxima de 12 kg de sustrato.

El resto de operaciones se mantienen constantes para todas las piezas, ya que el consumo se calcula por unidad: la mezcladora de paletas (0,01 € por pieza), la cámara de cultivo (0,10 € por pieza), el horno de convección (2,40 € por pieza, al repartir una carga de 6 unidades en 48 h) y la pulverización de colofonia (0,02 €). De este modo, solo cambian los importes del molino y el autoclave entre piezas, mientras que los demás se repiten en todas.

A continuación se muestra el cálculo del coste del puesto de trabajo de la pieza 1, del que se partirá para calcular el de las piezas 2, 3, 4 y 5, en las que sólo cambiarán los valores del molino de martillos y del autoclave

Nº Op.	Máquina	Potencia (kW)	Coste (€/kWh)	Tiempo (h)	Importe (€)
1	Molino de martillos	2	0,2	0,212	0,08
2	Mezcladora de paletas	0,75	0,2	0,083	0,01
3	Autoclave 121°C	2	0,2	0,442	0,18
4	Cámara de cultivo		0,2		0,1
5	Horno convección 100°	1,5	0,2	8	2,4
6	Pistola/compresor	1	0,2	0,1	0,02
	Puesto de trabajo Pieza 1				2,79

Tabla 10. Puesto de trabajo Pieza 1. Elaboración propia.

Nº Pieza	Máquina						Puesto trabajo (€)
	Molino de martillos (€)	Mezcladora (€)	Autoclave (€)	Cámara de cultivo (€)	Horno convección (€)	Pistola/compresor (€)	
2	0,08	0,01	0,18	0,1	2,4	0,02	2,79
3	0,09	0,01	0,19	0,1	2,4	0,02	2,81
4	0,08	0,01	0,18	0,1	2,4	0,02	2,79
5	0,09	0,01	0,18	0,1	2,4	0,02	2,8

Tabla 11. Puesto de trabajo Piezas 2, 3, 4 y 5. Elaboración propia.

Por último, la pieza 6 tiene un coste de puesto de trabajo muy reducido porque su masa es mínima (0,092 kg) y, al prorratear los consumos, casi todas las operaciones resultan despreciables. El paso por el molino y el autoclave apenas llega a unos céntimos, y la cámara de cultivo o la aplicación de colofonia se diluyen al hacerse en tandas con muchas unidades. El único consumo significativo corresponde al secado en horno, ya que se hornean varias abrazaderas por bandeja, pero aun así el prorrateo es de solo 0,5 kWh por pieza.



Nº Op.	Máquina	Consumo prorrateado	Importe (€)
1-4	Molino de martillos	≈0,01 kWh	≈0,00
5	Horno convección	≈0,5 kWh/ud	0,1
6	Autoclave	0,02 kWh	0
	Puesto de trabajo Pieza 6		≈0,12 €

Tabla 12. Puesto de trabajo Pieza 6. Elaboración propia.

TOTAL COSTES DE FABRICACIÓN = Material + M.O.D + Puesto de trabajo

Pieza	Material	M.O.D.	Puesto de trabajo	COSTE TOTAL FABRICACIÓN
1	17,72€	3,42€	2,79€	23,93€
2	17,62€	3,81€	2,79€	24,22€
3	18,59€	3,45€	2,81€	24,85€
4	17,60€	3,41€	2,79€	23,80€
5	18,12€	3,43€	2,80€	24,35€
6	0,15€	0,57€	0,12€	0,84€

Tabla 13. Coste total fabricación. Elaboración propia.

2. M.O.I. (Mano de Obra Indirecta)

Los costes de mano de obra indirecta corresponden a las personas que no intervienen de forma directa en el proceso de fabricación. Estos costes suponen el 34% de los costes MOD.

Pieza	M.O.D.	M.O.I.
1	3,42€	1,16€
2	3,81€	1,30€
3	3,45€	1,17€
4	3,41€	1,16€
5	3,43€	1,17€
6	0,57€	0,19€

Tabla 14. Costes M.O.I. Elaboración propia.

3. Cargas sociales



Las cargas sociales están formadas por las aportaciones que debe realizar la empresa a determinados Departamentos y Organismos Oficiales con el fin de cubrir las prestaciones del personal en cuanto a la Seguridad Social, formación del personal, accidentes de trabajo, fondo de garantía salarial, responsabilidad civil y seguro de desempleo. Estas cargas constituyen el 37% de la suma del M.O.D. y el M.O.I.

Pieza	M.O.D.	M.O.I.	Cargas sociales
1	3,42€	1,16€	1,70€
2	3,81€	1,30€	1,89€
3	3,45€	1,17€	1,71€
4	3,41€	1,16€	1,69€
5	3,43€	1,17€	1,70€
6	0,57€	0,19€	0,28€

Tabla 15. Cargas sociales. Elaboración propia.

4. Gastos generales

Los gastos generales son aquellos que no se consideran gastos de producción pero que son necesarios para el correcto funcionamiento de la empresa. Estos gastos constituyen el 15% de la mano de obra directa.

Pieza	M.O.D.	Gastos Generales
1	3,42€	0,51€
2	3,81€	0,57€
3	3,45€	0,52€
4	3,41€	0,51€
5	3,43€	0,51€
6	0,57€	0,09€

Tabla 16. Gastos generales. Elaboración propia.

5. Coste total en fábrica

COSTE TOTAL EN FÁBRICA = Coste de fabricación + M.O.I. + Cargas sociales + Gastos generales



Pieza	Coste fabricación	M.O.I.	Cargas sociales	Gastos Generales	Coste total en fábrica
1	23,93€	1,16€	1,70€	0,51€	27,30€
2	24,22€	1,30€	1,89€	0,57€	27,98€
3	24,85€	1,17€	1,71€	0,52€	28,25€
4	23,80€	1,16€	1,69€	0,51€	27,16€
5	24,35€	1,17€	1,70€	0,51€	27,73€
6	0,84€	0,19€	0,28€	0,09€	1,40€

Tabla 17. Coste total en fábrica. Elaboración propia.

6. Beneficio industrial

El beneficio industrial se ha estimado en un 6 % sobre el coste total en fábrica, porcentaje acorde con márgenes habituales en proyectos similares.

Pieza	Coste total en fábrica	B.I.
1	27,30€	1,64€
2	27,98€	1,68€
3	28,25€	1,70€
4	27,16€	1,63€
5	27,73€	1,66€
6	1,40€	0,08€

Tabla 18. Beneficio industrial.
Elaboración propia.

7. Precio de venta en fábrica

Es la suma del coste total en fábrica y el beneficio industrial.

Pieza	Coste total en fábrica	B.I.	Precio de venta en fábrica
1	27,30€	1,64€	28,94€
2	27,98€	1,68€	29,66€
3	28,25€	1,70€	29,95€
4	27,16€	1,63€	28,79€
5	27,73€	1,66€	29,39€
6	1,40€	0,08€	1,48€

Tabla 19. Precio de venta en fábrica. Elaboración propia.



8. I.V.A.

Es el impuesto sobre el valor añadido y constituye el 21% del precio de venta en fábrica.

Pieza	Precio de venta en fábrica	I.V.A.
1	28,94€	6,08€
2	29,66€	6,23€
3	29,95€	6,29€
4	28,79€	6,05€
5	29,39€	6,17€
6	1,48€	0,31€

Tabla 20. I.V.A. Elaboración propia.

9. Precio de venta al público

Es la suma del precio de venta en fábrica y el IVA.

Pieza	Precio de venta en fábrica	I.V.A.	Precio de venta al público
1	28,94€	6,08€	35,02€
2	29,66€	6,23€	35,89€
3	29,95€	6,29€	36,24€
4	28,79€	6,05€	34,84€
5	29,39€	6,17€	35,56€
6	1,48€	0,31€	1,79€

Tabla 21. Precio de venta al público. Elaboración propia.

Aunque el cálculo anterior se ha realizado sobre el precio unitario de cada módulo, en la comercialización real está previsto ofrecer packs de varias piezas a un precio reducido. Esta estrategia permitiría incentivar la compra de configuraciones completas, facilitar el acceso a un conjunto funcional desde el primer momento y, al mismo tiempo, mantener una posición competitiva frente a otros productos modulares presentes en el mercado.



10. Posibles financiaciones y comparación con precios de mercado

10.1 Posibles vías de financiación

Al tratarse de un producto basado en biomateriales y con un enfoque de ecodiseño, este proyecto podría optar a distintas líneas de apoyo público que podrían contribuir a reducir la inversión inicial en caso de su industrialización.

En el ámbito autonómico, por ejemplo, la Comunidad de Madrid convoca ayudas específicas para proyectos de ecodiseño y economía circular, con subvenciones de hasta 25 000 € por proyecto (Cámara de Comercio de Madrid, 2024).

A escala estatal, el PERTE de Economía Circular impulsado por el MITECO ofrece una financiación que supera los 1 200 millones de euros, con alrededor de 73 millones destinados a proyectos empresariales directos relacionados con la reducción de recursos, la reutilización y la reciclabilidad (MITECO, 2025).

Además, el marco europeo de recuperación NextGenerationEU prevé convocatorias periódicas gestionadas a través del IDAE, CDTI y las comunidades autónomas, orientadas a la innovación en materiales sostenibles, eficiencia energética y economía circular (Comisión Europea, 2023).

Estas oportunidades no se han integrado en el presupuesto de base, que refleja los costes de fabricación en condiciones estándar, pero podrían suponer una reducción significativa del desembolso inicial en un escenario real de implantación industrial.

10.1 Comparación con precios de mercado

El sistema modular propuesto presenta unos precios de venta al público que oscilan entre 34,84 € y 36,24 € por pieza en el caso de los módulos principales, y 1,79 € en el caso de las abrazaderas (pieza 6). Este rango sitúa el producto en un nivel accesible si se compara con otros referentes de mobiliario modular y de juego infantil presentes en el mercado.

Un ejemplo de referencia directa es el Nugget Couch, un sistema modular blando de uso infantil fabricado en espuma tapizada. Su precio en Estados Unidos es de 249 USD (aprox. 230 €) por un conjunto de cuatro piezas básicas, lo que supone un coste medio superior a 57 € por pieza, casi el doble del calculado en este proyecto. (Nugget Comfort, s.f.)



Figura 86. Conjunto Nugget Couch.

En cuanto a los bancos o asientos infantiles convencionales, los precios suelen variar entre 40 y 80 € por unidad (IKEA, Vertbaudet, Maisons du Monde), con la desventaja de que se trata de productos con una única función y menor flexibilidad de uso.

Si se comparan con módulos de juego libre como conjuntos tipo *BanaSuper* disponibles en plataformas reconocidas, que rondan precios de entre 100 y 130 €, lo que confirma que la propuesta se posiciona de forma competitiva al mantener precios en torno a los 35 € por pieza. (BanaSuper, s.f.)

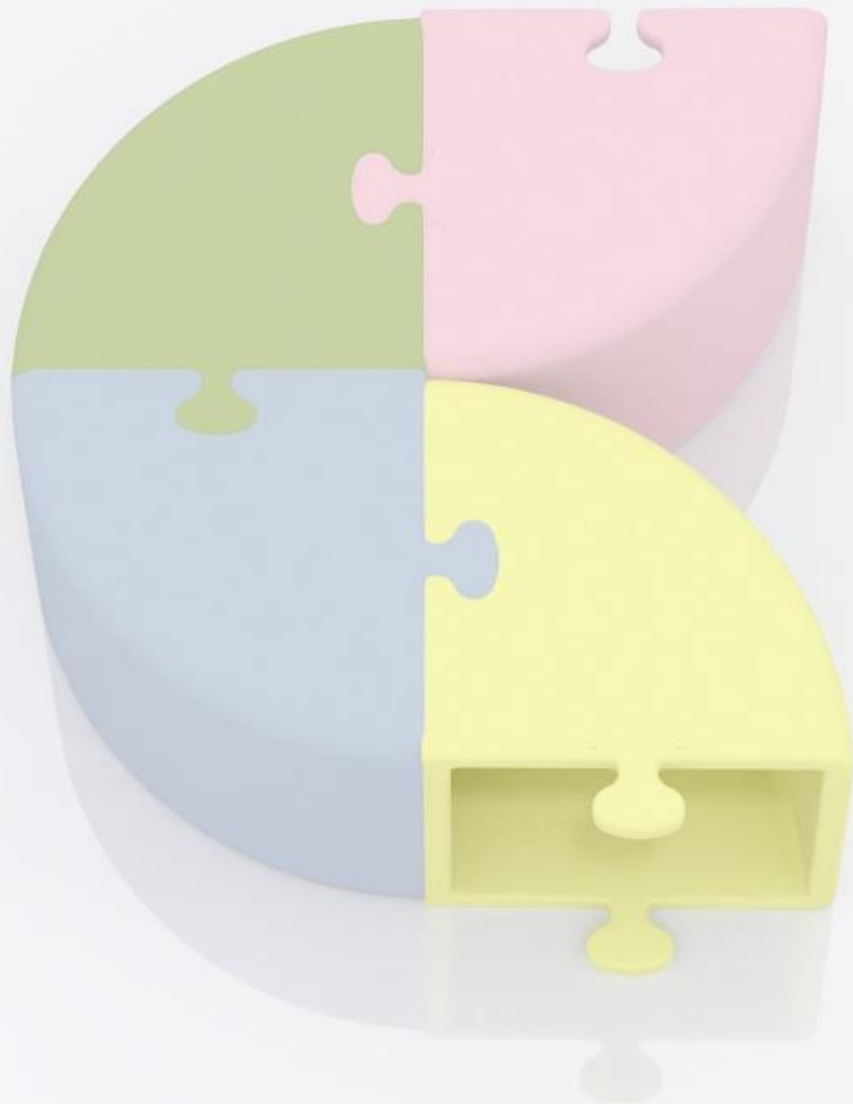


Figura 87. BanaSuper 6 bloques de construcción.

La comparativa demuestra que el sistema modular en micelio se sitúa en un rango de precio claramente competitivo, combinando la accesibilidad económica con el valor añadido de ser un producto sostenible, multifuncional y biodegradable.

Capítulo 04

Conclusiones y líneas futuras





Conclusiones

El inicio de este proyecto se centró en la necesidad de crear un sistema de mobiliario infantil que, además de cumplir una función práctica, fomentara el juego y la creatividad de los niños. Con este objetivo en mente, se establecieron una serie de metas que se han ido cumpliendo a lo largo de este documento.

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis del estado de la técnica en relación con el micelio aplicado al diseño de mobiliario. Este estudio confirmó el potencial de este material como alternativa sostenible frente a opciones convencionales basadas en plásticos o maderas contrachapadas.

Posteriormente, el diseño de las seis piezas del sistema permitió integrar tanto la funcionalidad del mobiliario (asientos, mesas, estanterías) como la dimensión lúdica propia de un juego de construcción, con especial atención a la ergonomía, la seguridad y la facilidad de montaje por parte de los propios niños y sus acompañantes adultos.

El desarrollo del proceso de fabricación, basado en el moldeo en húmedo de un sustrato de sarmiento de vid, alpiste y micelio pigmentado con colorantes naturales, proporcionó una solución viable, respetuosa con el medio ambiente y adaptable a la producción industrial.

Además, el estudio económico y la comparación con productos similares del mercado han mostrado que la propuesta es competitiva y coherente, llegando a una aproximación de costes que permite valorar su viabilidad en un futuro proceso de industrialización.

En conclusión, el proyecto cumple con los objetivos planteados, ofreciendo un sistema modular innovador, versátil y sostenible. El resultado es un producto que combina mobiliario y juego, fomenta la creatividad, y responde a las necesidades actuales de diseño responsable y adaptado a contextos infantiles.



Líneas futuras

El desarrollo del sistema modular de mobiliario y juego infantil Mykum supone un primer paso hacia la incorporación de biomateriales como el micelio en el diseño de productos destinados a un público infantil. No obstante, se abren diversas líneas de trabajo que podrían explorarse en el futuro para reforzar y ampliar el alcance del proyecto.

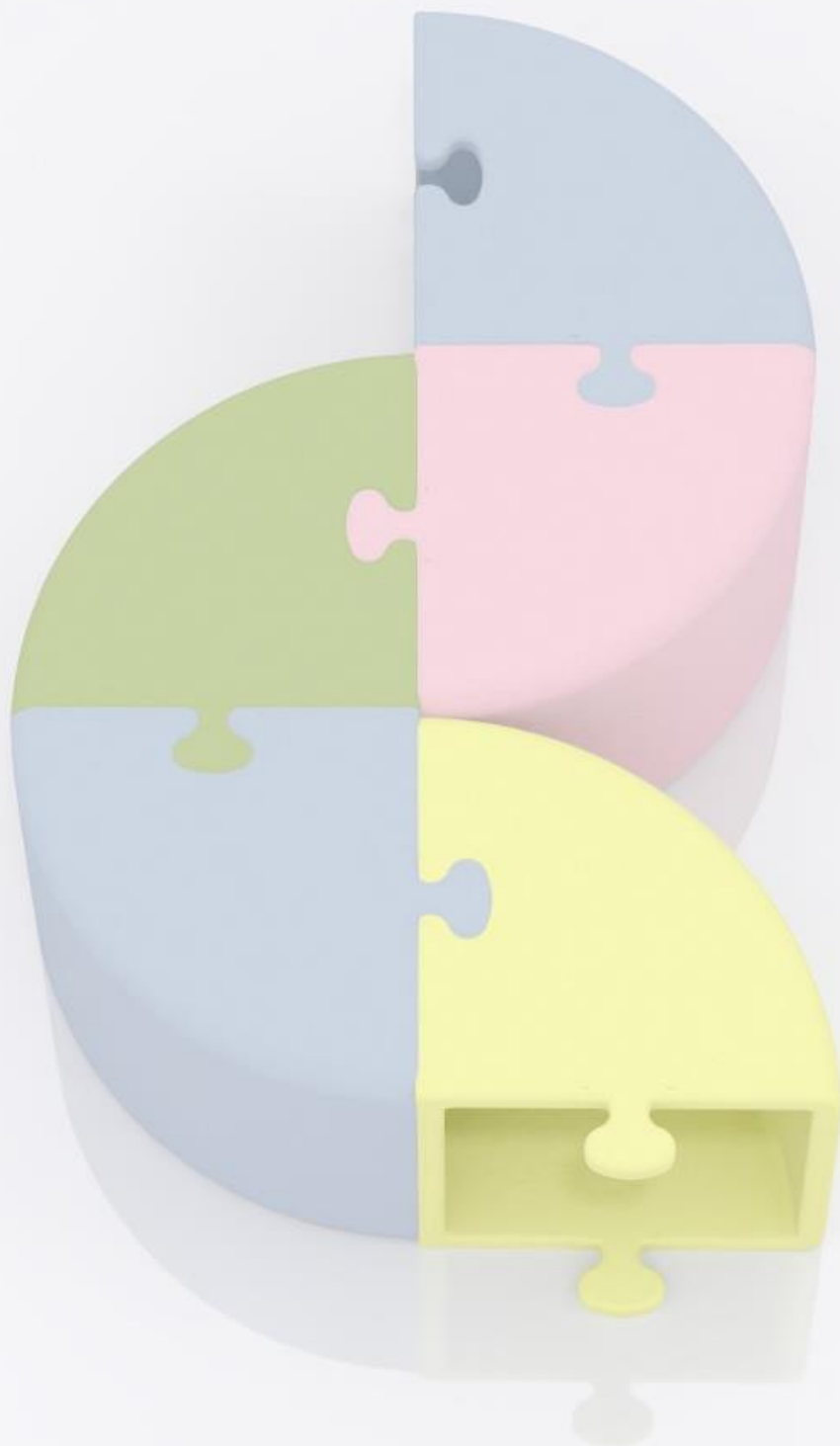
Una de ellas sería la optimización del proceso de fabricación, investigando alternativas que reduzcan los tiempos de incubación o permitan aumentar la resistencia del material sin comprometer su carácter biodegradable. También podría profundizarse en la estandarización de pigmentos naturales para garantizar una mayor estabilidad cromática a lo largo del tiempo, así como en estrategias para reducir el peso de cada módulo y facilitar aún más su manipulación por parte de los niños.

Otra línea de desarrollo consiste en la ampliación del catálogo de piezas, incorporando nuevas geometrías o accesorios que aumenten las posibilidades de configuración y fomenten aún más el juego creativo. Asimismo, se podrían estudiar acabados adicionales o tratamientos superficiales que aporten mayor durabilidad en entornos de uso intensivo, como escuelas infantiles o bibliotecas.

Por último, sería conveniente realizar pruebas en contextos reales de uso para evaluar la aceptación del producto por parte de los niños y los adultos acompañantes. Estos ensayos permitirían obtener información sobre su ergonomía, seguridad, facilidad de montaje y resistencia, además de que ayudarían a realizar posibles colaboraciones con instituciones interesadas en mobiliario sostenible para entornos infantiles interiores.

Capítulo 05

Bibliografía y fuentes





1. Bibliografía

- Appels, F., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M., Dijksterhuis, J., ... & Wösten, H. A. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture- and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, 161, 64-71.
- Bechtold, T., & Mussak, R. (Eds.). (2009). *Handbook of natural colorants*. John Wiley & Sons.
- Camere, S., & Karana, E. (2020). Bio fabricación: Micelio como material de construcción (Trabajo fin de grado). Universidad Politécnica de Madrid.
- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced materials from fungal mycelium: Fabrication and tuning of physical properties. *Scientific Reports*, 7(1), 41292.
- Jones, M., Huynh, T., Dekiwadia, C., Daver, F., & John, S. (2017). Mycelium composites: A review of engineering characteristics and growth kinetics. *Journal of Bionanoscience*, 11(4), 241–257.
- Kazmer, D. (2016). *Injection mold design engineering* (2nd ed.). Hanser Publications.
- Rashdan, W., & Ashour, A. F. (2024). Growing design: The role of mycelium-based materials in interior and furniture design. *Journal of Sustainable Interior Design*, 12(3), 139-164.
- Rashdan, W. (2023). Mycelium-based materials: An alternative for sustainable interior design. *Sustainable Architecture Review*, 8(2), 54-70.
- Rosato, D. V., & Rosato, M. G. (2000). *Injection molding handbook* (3rd ed.). Springer.
- Sheldrake, M. (2021). *Entangled life: How fungi make our worlds, change our minds and shape our futures*. Vintage.
- Stamets, P. (2005). *Mycelium running: How mushrooms can help save the world*. Ten Speed Press.
- Stamets, P., & Chilton, J. S. (1983). *The mushroom cultivator: A practical guide to growing mushrooms at home*. Agarikon Press.
- Suryadi, Y., Susilowati, A., Rachmawaty, A., & Meryandini, A. (2022). Effect of turmeric extract on growth and development of *Pleurotus ostreatus*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1030(1), 012005.
- Velíšek, J., & Cejpek, K. (2011). Pigments of higher fungi: A review. *Czech Journal of Food Sciences*, 29(2), 87–102.



2. Webgrafía

Adamatzky, A., & Jones, J. (2023). *Mycelium-based composite: The future sustainable biomaterial*. NIH - National Library of Medicine. Obtenido el 18 de junio de 2025 de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8934219/>

Adorno Design. (s.f.). *Cherry Picker – Mycelium Coffee Table*. Adorno. Obtenido el 8 de julio de 2025 de <https://adorno.design/pieces/cherry-picker-mycelium-coffee-table/>

Architectural Digest. (2022). *Is compostable furniture the future of sustainable design?* Obtenido el 18 de junio de 2025 de <https://www.architecturaldigest.com/story/sustainable-design-compostable-furniture>

Asociación Española de Normalización. (s.f.). *UNE-EN 71-1 / 71-3 / 71-9, 71-10, 71-11: Seguridad de los juguetes*. AENOR. Obtenido el 2 de julio de 2025 de <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas>

Asociación Española de Normalización. (s.f.). *UNE-EN 1729-1 y 1729-2: Mobiliario escolar – Requisitos funcionales y de seguridad*. AENOR. Obtenido el 2 de julio de 2025 de <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas>

Asociación Española de Normalización. (s.f.). *UNE-EN 16139: Mobiliario – Requisitos en entornos no domésticos*. AENOR. Obtenido el 2 de julio de 2025 de <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas>

Asociación Española de Normalización. (s.f.). *UNE-EN ISO 26800: Principios ergonómicos en el diseño*. AENOR. Obtenido el 2 de julio de 2025 de <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas>

Asociación Española de Normalización (UNE). (2022). *UNE-EN IEC 63000:2022: Documentación técnica para la evaluación de productos eléctricos y electrónicos con respecto a la restricción de sustancias peligrosas*. AENOR. Obtenido el 2 de julio de 2025 de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0070047>

BanaSuper. (s. f.). *Soft Play Set* [Producto en línea]. Amazon Stores. Obtenido el 28 de agosto de <https://www.amazon.com/stores/BanaSuper/page/CEA208E4-391C-4B63-8741-BFOC3E059EEA>

Bioresources and Bioprocessing. (2024). *Review on mushroom mycelium-based products and their applications*. Obtenido el 18 de junio de 2025 de



<https://bioresourcesbioprocessing.springeropen.com/articles/10.1186/s40643-024-00836-7>

Cámara de Comercio de Madrid. (2024). *Subvenciones de ecodiseño y economía circular*. Obtenido el 28 de agosto de 2025 de <https://serviciosempresariales.camaramadrid.es/subvenciones-ecodisenoeconomia-circular>

Comisión Europea. (2023). *NextGenerationEU: oportunidades de financiación*. Obtenido el 28 de agosto de <https://commission.europa.eu>

CriticalConcrete. (2017). *Insights into Mycelium*. Obtenido el 18 de junio de 2025 de <https://criticalconcrete.com/insights-mycelium/>

DesignWanted. (2022). *Projects using the potential of mycelium, a natural alternative to plastic*. Obtenido el 18 de junio de 2025 de <https://designwanted.com/mycelium-alternative-plastic/>

DMAX España. (s. f.). *¿Cómo lo hacen?* [Vídeo]. Facebook. Obtenido el 21 de mayo de 2025 de <https://www.facebook.com/DMAXes/videos/c%C3%B3mo-lo-hacen/686020905425806/>

Droppelmann A., V. (2022, 1 de junio). *Micelio: las impresionantes redes naturales de la Tierra*. Ladera Sur. Obtenido el 21 de mayo de 2025 de <https://laderasur.com/articulo/micelio-las-impresionantes-redes-naturales-de-la-tierra/>

Ecovative Design. (2023). *GIY (Grow It Yourself) protocols*. Obtenido el 17 de agosto de 2025 de <https://www.ecovative.com/technology>

FAO. (2004). *Cultivation of Pleurotus ostreatus: Technical manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtenido el 17 de agosto de 2025 de <http://www.fao.org/documents>

Fernandez, I., & Sostenible, A. (s. f.). *Un material que combina micelio y bacterias, la propuesta de un equipo de investigadores para avanzar en la arquitectura regenerativa | Arquitectura Sostenible*. Obtenido el 22 de mayo de 2025 de <https://arquitectura-sostenible.es/investigadores-material-regenerativo-micelio/>

Foro Económico Mundial. (s. f.). *Esta empresa fabrica materiales de construcción a partir de hongos y residuos alimentarios*. Obtenido el 22 de mayo de 2025 de <https://es.weforum.org/stories/2022/08/esta-empresa-fabrica-materiales-de-construccion-a-partir-de-setas-y-residuos-de-alimentos/>

Gobierno de Castilla-La Mancha. (2024, junio). *Manual de ecodiseño* [PDF]. Economía Circular Castilla-La Mancha. Obtenido el 20 de agosto de



https://economia-circular.castillalamancha.es/sites/default/files/2024-06/EC_manual_ecodise%C3%B1o_A4_cas.pdf

Hey Pappy. (s.f.). *Tangram Puzzle Play Couch*. Hey Pappy. Obtenido el 7 de julio de 2025 de <https://heypappy.com/products/tangram-puzzle-play-couch>

Inovace Od Buřinky. (s.f.). *House grown from mycelium in the Czech Republic*. Inovace od Buřinky. Obtenido el 8 de julio de 2025 de <https://www.inovaceodburinky.cz/en/house-grown-from-mycelium-in-the-czech-republic/>

Institut National de la Propriété Industrielle (Francia). (2012). *Système de construction modulaire de formes géométriques tridimensionnelles et mobilières* (Patente n.º FR3012305A1). Obtenido el 13 de julio de 2025 de <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/050287783/publication/FR3012305A1>

Institute of Ergonomics & Human Factors. (s.f.). *Ergonomics 4 Schools – Anthropometrics*. Obtenido el 20 de julio de 2025 de <https://www.ergonomics4schools.org/>

Institut National de la Propriété Industrielle (Francia). (2014). *Procédé de fabrication d'un matériau composite à base de fibres naturellesensemencées avec du mycélium et pièce obtenue avec un tel procédé* (Patente n.º FR3006693A1). Obtenido el 14 de julio de 2025 de <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/049151111/publication/FR3006693A1>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2000). *Bases de datos antropométricos para el diseño de puestos de trabajo (NTP 602)*. Obtenido el 20 de julio de 2025 de <https://www.insst.es/documents/94886/96076/Nota+T%C3%A9cnica+de+Prevenci%C3%B3n+602/b5f9be8f-64f3-4fc1-b47f-fadbffe5952a>

Li, X., Sun, Y., Yao, Y., Yin, X., Xu, L., & Yu, H. (2024). Revolutionizing eco-friendly leather production: A freeze-thaw and liquid fermentation approach with fungal mycelium. *Journal of Fungi*, 11(4), 326. <https://doi.org/10.3390/jof11040326>

Materiom. (2023). *Open source material recipes database*. Obtenido el 18 de agosto de 2025 de <https://materiom.org/search/mycelium>

Medina-Gutiérrez, A.-C., Medina-Rodríguez, P.-J., Suesca-Díaz, A., & Morales-Fonseca, D. (2024). *Producción de un material biocompuesto a base de micelio por medio de fermentación sólida usando Pleurotus ostreatus*. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 22(2), 57–71.



Obtenido el 21 de mayo de 2025 de <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v22.n2.2024.2334>

Micelio, el 1er Internet de la naturaleza. (s. f.). Obtenido el 21 de junio de 2025 de <https://www.setasdesiecha.com/micelio>

Micelio. (s. f.). Obtenido el 21 de mayo de 2025 de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Micelio.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2025). *PERTE de Economía Circular.* Obtenido el 28 de agosto de <https://www.miteco.gob.es>

MujerInTime. (s. f.). *Micelio: el nuevo material de construcción sostenible.* Obtenido el 22 de mayo de 2025 de <https://www.mujerintime.com/micelio-el-nuevo-material-de-construccion-sostenible/>

Naturnext. (s. f.). *Mobili de micelio: innovación sostenible.* Obtenido el 22 de mayo de 2025 de <https://www.naturnext.eu/es/mobili-de-micelio>

Nugget Comfort. (s.f.). *The Nugget – Koala.* Nugget. Obtenido el 7 de julio de 2025 de <https://nuggetcomfort.com/products/the-nugget-koala>

Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de la República Popular China. (2018). *Children use modularization sectional sofa* (Modelo de utilidad n.º CN206979231U). Obtenido el 13 de julio de 2025 de <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/061423117/publication/CN206979231U>

Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de la República Popular China. (2013). *模块化公园摇椅 [Modular park rocking chair]* (Modelo de utilidad n.º CN202739419U). Obtenido el 13 de julio de 2025 de <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/047698885/publication/CN202739419U>

Parlamento Europeo y Consejo. (2009). *Directiva 2009/48/CE sobre la seguridad de los juguetes.* Diario Oficial de la Unión Europea. Obtenido el 2 de julio de 2025 de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0048>

Parlamento Europeo y Consejo. (2023). *Reglamento (UE) 2023/988 relativo a la seguridad general de los productos.* Diario Oficial de la Unión Europea. Obtenido el 2 de julio de 2025 de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0988>

Parlamento Europeo y Consejo. (2006). *Reglamento (CE) n° 1907/2006 (REACH).* Diario Oficial de la Unión Europea. Obtenido el 2 de julio de 2025 de



<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32006R1907>

Springer Nature. (2023). *Mycelium-based materials for sustainable design and construction*. Obtenido el 18 de junio de 2025 de <https://link.springer.com/article/10.1007/s40940-023-00286-5>

3Dnatives. (2024, 19 de enero). *Samorost: Mycelium-based 3D printed furniture*. 3Dnatives. Obtenido el 8 de julio de 2025 de <https://www.3dnatives.com/en/samorost-mycelium-based-3d-printed-furniture-190120246>

Universidade Católica Portuguesa. (2021). *Composite biomaterial, obtaining methods and uses thereof* (Patente n.º EP3828260A1). Obtenido el 14 de julio de 2025 de <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/070861186/publication/EP3828260A1>

Walmart. (s.f.). *Modular Kids Couch, Foldable Climbing Furniture, Grey*. Walmart. Obtenido el 7 de julio de 2025 de <https://www.walmart.com/ip/17012174431>



3. Figuras

Figura 1. Estructura general del micelio. Países Bajos. Fuente: <https://www.zamnesia.es/blog-que-es-el-micelio-n1562>

Figura 2. Micelio en sustrato bajo tierra con crecimiento fúngico. Quito, Ecuador, 2021. Fuente: <https://revistamundodineros.com/uso-del-micelio-como-biomaterial/>

Figura 3. Partes del micelio. Elaboración propia.

Figura 4. Pabellón Hy-Fi construido con bloques de micelio. Nueva York, EE. UU., 2014. Fuente: <https://www.metalocus.es/es/noticias/inaugurado-hy-fi-living-momaps1-2014>

Figura 5. Paneles de micelio como material constructivo. España. Fuente: <https://tectonica.archi/materials/paneles-de-fabricacion-biologica-a-base-de-micelio/>

Figura 6. Piezas de Nugget Coach. Fuente: <https://nuggetcomfort.com/products/the-nugget-koala>

Figura 7. Configuración de Nugget Coach. Fuente: <https://nuggetcomfort.com/products/the-nugget-koala>

Figura 8. Nugget Coach configurado a modo de juego. Fuente: <https://nuggetcomfort.com/products/the-nugget-koala>

Figura 9. Contenido de Heypappy Tangram Couch. Fuente: <https://heypappy.com/products/tangram-puzzle-play-couch>

Figura 10. Configuración vertical de Heypappy Tangram Couch. Fuente: <https://heypappy.com/products/tangram-puzzle-play-couch>

Figura 11. Distintas configuraciones de DISHUP 10-piece Kids Play Coach. Fuente: <https://www.walmart.com/ip/17012174431>

Figura 12. Progreso en la construcción de la casa SAMOROST. República Checa, 2025. Fuente: <https://www.inovaceodburinky.cz/en/house-grown-from-mycelium-in-the-czech-republic/>

Figura 13. Mesa de centro impresa en 3D a partir de micelio del proyecto SAMOROST. República Checa, 2024. Fuente: <https://www.3dnatives.com/en/samorost-mycelium-based-3d-printed-furniture-190120246>

Figura 14. Cherry Picker, mesa de café de micelio de Adorno Design. Estados Unidos, 2023. Fuente: <https://adorno.design/pieces/cherry-picker-mycelium-coffee-table/>



Figura 15. Picchu, escultura de micelio y mesa auxiliar de Adorno Design. Estados Unidos, 2024. Fuente: <https://adorno.design/pieces/picchu-mycelium-sculpture-side-table/>

Figura 16. Mystool, taburete de micelio de Adorno Design. Suecia, 2023. Fuente: <https://adorno.design/pieces/mystool-mycelium-stool/>

Figura 17. Spore, taburete de micelio de Adorno Design. Suecia, 2025. Fuente: <https://adorno.design/pieces/spore/>

Figura 18. Sofá seccional modular para niños. China, 2018. Fuente: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/061423117/publication/CN206979231U>

Figura 19. Mecedora modular para parques. China, 2013. Fuente: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/047698885/publication/CN202739419U>

Figura 20. Sistema de construcción modular. Francia, 2015. Fuente: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/050287783/publication/FR3012305A1>

Figura 21. Material compuesto a base de fibras naturales y micelio. Francia, 2014. Fuente: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/049151111/publication/FR3006693A1>

Figura 22. Biomaterial compuesto a partir de sarmiento de vid, micelio y semillas. Portugal, 2021. Fuente: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/070861186/publication/EP3828260A1>

Figura 23. Propuesta 1: mesa orgánica. Elaboración propia.

Figura 24. Propuesta 2: banco 1. Elaboración propia.

Figura 25. Propuesta 3: banco 2. Elaboración propia.

Figura 26. Propuesta 4: banco formado por láminas de micelio. Elaboración propia.

Figura 27. Propuesta 5: banco modular geométrico. Elaboración propia.

Figura 28. Propuesta 6: banco modular curvo. Elaboración propia.

Figura 29. Propuesta 6: composición de 4 bancos modulares curvos. Elaboración propia.

Figura 30. Propuesta 7: banco modular infantil tipo puzzle. Elaboración propia.



Figura 31. Altura poplítea. Fuente: <https://www.4patas.net/productos/eleccion-de-tallas-segun-edad-y-altura/>

Figura 32. Medición de la envergadura. Chile. Fuente: <http://viejo.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Revisiones/RevisionTemas/5285>

Figura 33. Sección transversal del módulo. Elaboración propia.

Figura 34. Esquema de viga apoyada con carga puntual centrada. Elaboración propia.

Figura 35. Dimensiones del módulo: ancho, espesor y luz de cálculo. Elaboración propia.

Figura 36. Diagramas de esfuerzos y deformaciones de la viga. Elaboración propia.

Figura 37. Logotipo final. Elaboración propia.

Figura 38. Variantes del logotipo definitivo. Elaboración propia.

Figura 39. Paleta de colores definitivos. Elaboración propia.

Figura 40. Pieza 1: pieza recta con salientes y agujeros. Elaboración propia.

Figura 41. Gama de colores de la pieza 1. Elaboración propia.

Figura 42. Pieza 2: pieza curva. Elaboración propia.

Figura 43. Gama de colores de la pieza 2. Elaboración propia.

Figura 44. Pieza 3: pieza recta con salientes. Elaboración propia.

Figura 45. Gama de colores de la pieza 3. Elaboración propia.

Figura 46. Pieza 4: pieza recta con agujeros. Elaboración propia.

Figura 47. Gama de colores de la pieza 4. Elaboración propia.

Figura 48. Pieza 5: pieza recta. Elaboración propia.

Figura 49. Gama de colores de la pieza 5. Elaboración propia.

Figura 50. Pieza 6: abrazadera. Elaboración propia.

Figura 51. Gama de colores de la pieza 6. Elaboración propia.

Figura 52. Relieve hundido con el logo corporativo Mykum. Elaboración propia.

Figura 53. Montaje de configuración cuadrada. Elaboración propia.

Figura 54. Montaje de estantería con abrazaderas. Elaboración propia.

Figura 55. Configuración en forma de banco cuadrado. Elaboración propia.

Figura 56. Configuración en forma de banco con respaldo. Elaboración propia.



Figura 57. Configuración en forma de banco con separación vertical entre usuarios. Elaboración propia.

Figura 58. Configuración en mesa y asientos individuales. Elaboración propia.

Figura 59. Configuración a modo de estantería. Elaboración propia.

Figura 60. Escenario de uso de banco en ángulo recto y estantería. Elaboración propia.

Figura 61. Escenario con usuario colocando una pieza. Elaboración propia.

Figura 62. Escenario de uso de banco con respaldo. Elaboración propia.

Figura 63. Escenario de uso de banco irregular y estantería. Elaboración propia.

Figura 64. Molino de martillos industrial. Europa, 2020. Fuente: <https://www.lameccanica.it/es/madera-biomasa/molino-martillos>

Figura 65. Extractos concentrados de colorantes naturales alimentarios en solución acuosa. Costa Rica, 2022. Fuente: <https://tecnosolucionescr.net>

Figura 66. Autoclave de laboratorio para esterilización de sustratos de cultivo fúngico. China, 2023. Fuente: <https://es.aliexpress.com/i/1005007692626759.html>

Figura 67. Partes molde pieza 5. Elaboración propia.

Figura 68. Molde final pieza 5. Elaboración propia.

Figura 69. Partes molde pieza 1. Elaboración propia.

Figura 70. Montaje molde pieza 1. Elaboración propia.

Figura 71. Molde final pieza 1. Elaboración propia. Elaboración propia.

Figura 72. Partes molde pieza 3. Elaboración propia.

Figura 73. Partes molde pieza 4. Elaboración propia.

Figura 74. Partes molde pieza 2. Elaboración propia.

Figura 75. Montaje molde pieza 2. Elaboración propia.

Figura 76. Molde final pieza 2. Elaboración propia.

Figura 77. Partes molde pieza 6. Elaboración propia.

Figura 78. Montaje molde pieza 6. Elaboración propia.

Figura 79. Sustrato colonizado por micelio tras periodo de incubación. 2023.

Figura 80. Paso 1 desmoldeo pieza 1: retirada de insertos para salientes. Elaboración propia.



Figura 81. Paso 2 desmoldeo pieza 1: retirada de macho. Elaboración propia.

Figura 82. Paso 3 desmoldeo pieza 1: retirada de molde exterior. Elaboración propia.

Figura 83. Paso 4 desmoldeo pieza 1: movimiento perpendicular de la tapa con salientes para agujeros. Elaboración propia.

Figura 84. Paso 5 desmoldeo pieza 1: retirada de tapa con salientes para agujeros. Elaboración propia.

Figura 85. Rueda de LiDS. Elaboración propia.

Figura 86. Conjunto Nugget Couch. Fuente: <https://nuggetcomfort.com/products/the-nugget-koala>

Figura 87. BanaSuper 6 bloques de construcción. Fuente: <https://www.amazon.es/dp/B0DDXPSPNL>



4. Tablas

- Tabla 1. Diagrama de Gantt. Elaboración propia.
- Tabla 2. Matriz de decisión ponderada. Elaboración propia.
- Tabla 3. Matriz METCO. Elaboración propia.
- Tabla 4. Coste M.O.D. Pieza 1. Elaboración propia.
- Tabla 5. Coste M.O.D. Pieza 2. Elaboración propia.
- Tabla 6. Coste M.O.D. Pieza 3. Elaboración propia.
- Tabla 7. Coste M.O.D. Pieza 4. Elaboración propia.
- Tabla 8. Coste M.O.D. Pieza 5. Elaboración propia.
- Tabla 9. Coste M.O.D. Pieza 6. Elaboración propia.
- Tabla 10. Puesto de trabajo Pieza 1. Elaboración propia.
- Tabla 11. Puesto de trabajo Piezas 2, 3, 4 y 5. Elaboración propia.
- Tabla 12. Puesto de trabajo Pieza 6. Elaboración propia.
- Tabla 13. Coste total fabricación. Elaboración propia.
- Tabla 14. Costes M.O.I. Elaboración propia.
- Tabla 15. Cargas sociales. Elaboración propia.
- Tabla 16. Gastos generales. Elaboración propia.
- Tabla 17. Coste total en fábrica. Elaboración propia.
- Tabla 18. Beneficio industrial. Elaboración propia.
- Tabla 19. Precio de venta en fábrica. Elaboración propia.
- Tabla 20. I.V.A. Elaboración propia.
- Tabla 21. Precio de venta al público. Elaboración propia.