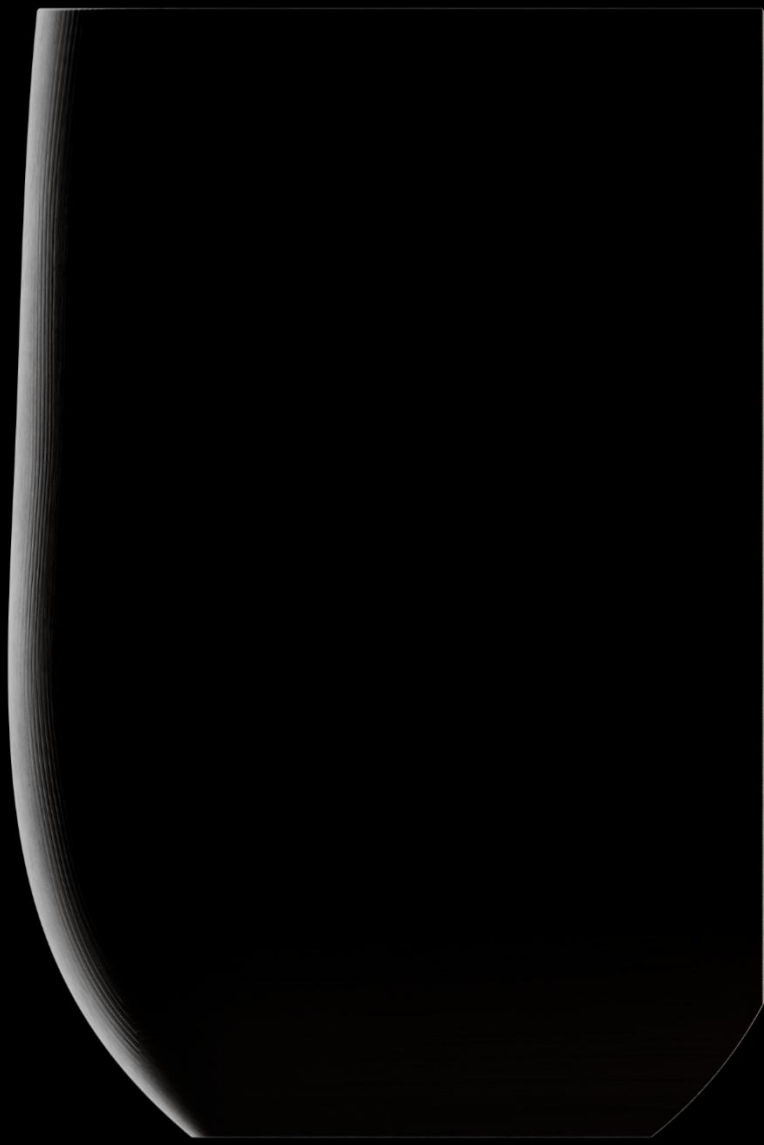
Diseño y desarrollo de un producto que permita el cultivo hidropónico a pequeña escala

Pedro García Morales - Autor

Miguel Ángel Pardo Vicente - Tutor

Trabajo de Fin de Grado
07/07/2026



UCA | Escuela Superior de Ingeniería

UCA | Escuela Superior de Ingeniería

TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DEL PRODUCTO

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PRODUCTO QUE PERMITA EL CULTIVO HIDROPÓNICO A PEQUEÑA ESCALA.

AUTOR: PEDRO GARCÍA MORALES

Puerto Real, septiembre 2026

UCA | Escuela Superior de Ingeniería

TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DEL PRODUCTO

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PRODUCTO QUE PERMITA EL CULTIVO HIDROPÓNICO A PEQUEÑA ESCALA.

TUTOR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE
AUTOR: PEDRO GARCÍA MORALES

Puerto Real, septiembre 2026

AGRADECIMIENTOS

Con la entrega de este Trabajo de Fin de Grado pongo el broche final a mis estudios en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto. No podría cerrar esta etapa sin expresar mi profundo agradecimiento a las personas que me han acompañado y han hecho de estos años una experiencia verdaderamente enriquecedora.

En primer lugar, a mi madre, mi padre, mi hermana, mi abuela materna y a mi pareja. Gracias por ser mi pilar fundamental y por vuestro apoyo incondicional, sin vuestro cuidado constante, hoy no habría llegado hasta aquí.

A mi tutor, Miguel Ángel Pardo Vicente, por su guía, su dedicación y el tiempo invertido. Sin su ayuda, este proyecto no habría sido posible.

A todos los docentes que me impartieron clase y a aquellos que, a través de una simple conversación en eventos universitarios, pasillos o fuera de clases, hicieron de la universidad un entorno mucho más humano y cercano.

A la Delegación de Estudiantes de la Escuela, por haber sido una parte inseparable de mi etapa y de mi aprendizaje durante este tiempo.

A todas las personas que han formado parte de este camino, gracias. Me despido de estos años siendo una persona completamente distinta a la que los comenzó.

- Pedro García Morales

RESUMEN

En este proyecto se aborda la problemática de la integración de la agricultura urbana y el cultivo hidropónico en entornos domésticos, donde la estética industrial, la emisión de ruido y la complejidad técnica suelen suponer barreras de entrada para el usuario inexperto. Para dar respuesta a esta necesidad, se diseña y desarrolla un sistema hidropónico modular de pared, apoyado en sistemas de decoración, ergonómico y con un enfoque estético, apto tanto para espacios interiores como para exteriores o espacios semicubiertos.

Dicho sistema se articula en torno a un módulo técnico inyectado en ASA (polímero con una buena resistencia a la foto degradación UV), una envolvente decorativa fabricada por colada en resina Jesmonite AC100 con tratamiento impermeabilizante, y un depósito de vidrio inerte dotado de un cierre de bayoneta. A nivel funcional, el conjunto integra componentes electromecánicos y de muy baja tensión, incluyendo iluminación LED.

En primer lugar, se realiza una investigación del estado del arte que abarca los fundamentos de la hidroponía, el ecodiseño y el marco legal vigente. Esta fase permite establecer los requisitos de diseño y definir las normativas de obligado cumplimiento teniendo también presentes las restricciones impuestas por los procesos de fabricación industrial a gran escala.

Tras ello, se ejecuta un análisis de soluciones conceptuales hasta converger en el diseño definitivo. Este concepto se desarrolla mediante ingeniería de detalle (CAD), justificando exhaustivamente la selección de materiales, el diseño geométrico de los ensamblajes (incluyendo tolerancias) y su integración en el entorno arquitectónico del usuario mediante un sistema de palillería.

Para terminar, se exponen los resultados finales. Esta fase final culmina con la estructuración documental bajo la norma UNE 157001, la generación de los planos de fabricación, la representación del producto mediante renders fotorrealista, además de nuevas ideas para generar la expansión del sistema hidropónico y la consolidación de un presupuesto industrial para una serie productiva.

DECLARACIÓN PERSONAL DE AUTORÍA

Pedro García Morales con DNI 27405688S, estudiante del Título de Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto en la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad de Cádiz, como autor de este documento académico titulado Diseño y Desarrollo de un Producto que Permita el Cultivo Hidropónico a Pequeña Escala y presentado como Trabajo Final de Grado.

DECLARO QUE:

Es un trabajo original, que no copio ni utilizo parte de obra alguna sin mencionar de forma clara y precisa su origen tanto en el cuerpo del texto como en su bibliografía y que no empleo datos de terceros sin la debida autorización, de acuerdo con la legislación vigente. Asimismo, declaro que soy plenamente consciente de que no respetar esta obligación podrá implicar la aplicación de sanciones académicas, sin perjuicio de otras actuaciones que pudieran iniciarse.

En Puerto Real, a 7 de Septiembre del 2026.



Fdo: Pedro García Morales.

Índice general

1. Memoria 15
1.1. Objetivo 15
1.2. Alcance 16
1.3. Antecedentes 16
1.3.1. Historia y beneficios 16
1.3.2. Problemáticas del cultivo hidropónico doméstico desde el diseño industrial 19
1.3.3. Estado actual de la hidroponía doméstica 23
1.3.4. Fundamento técnico y agrónomo de la hidroponía 37
1.4. Normas y referencias 41
1.4.1. Disposiciones legales y normativas aplicadas 41
1.4.2. Software utilizado 43
1.4.3. Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del Proyecto 44
1.4.4. Bibliografía 44
1.5. Definiciones y abreviaturas 48
1.6. Metodología 49
1.7. Usuario y mercado potencial 51
1.7.1. Definición de perfiles de usuario 51
1.7.2. Alineación tecnológica según perfil de usuario 52
1.7.3. Metodología empleada 56
1.7.4. Conclusiones del estudio de usuario y síntesis de necesidades 61
1.8. Requisitos de diseño 65
1.9. Análisis de soluciones 66
1.9.1. Agrupación de alternativas conceptuales 67
1.9.2. Definición de los Criterios de Evaluación y Ponderación 71
1.9.3. Matriz de Decisión ponderada 72
1.9.4. Selección y Síntesis 73
1.9.5. Validación mediante Usuarios Sintéticos 77
1.10. Resultados finales 80
1.10.1. Configuración Definitiva. Con Piel Exterior 82
1.10.2. Embellecedor 82
1.10.3. Integración Espacial: Renders en Contexto 83
1.10.4. Módulo Técnico. Configuración "Naked" 84

1.10.5. Pieles Exteriores. Personalización Morfológica Para Distintos Ambientes86
1.10.6. Expansión del Ecosistema: Adaptabilidad del Concepto Hidropónico..... 96
1.11. Planificación..... 106
1.12. Orden de prioridad entre documentos..... 106
2. Anexos..... 108
2.1. Estudio de usuarios: Modelos de encuesta y datos en bruto..... 108
2.1.1. Cuestionario para Usuarios Potenciales..... 109
2.1.2. Cuestionario para Usuarios Expertos..... 111
2.2. Resultados y Representación Gráfica..... 122
2.2.1. Resultados Cuestionario Usuario Potencial..... 122
2.2.2. Resultados de los Usuarios Expertos..... 125
2.3. Ideación y Bocetado de Conceptos..... 127
2.4. Encuesta de validación del diseño mediante Usuarios Sintéticos..... 139
2.4.1. Descripción y preguntas realizadas en la encuesta..... 139
2.4.2. Resultados de la encuesta..... 140
2.5. Fichas de datos técnicos..... 142
2.5.1. Jesmonite AC100..... 142
2.5.2. ASA..... 144
2.5.3. Vidrio sodocálcico..... 146
3. Planos..... 148
3.1. Plano de Conjunto..... 148
3.2. Plano de Medidas Generales..... 149
3.3. Plano de Explosionado..... 150
3.4. Subconjuntos..... 151
3.4.1. Subconjunto del Embellecedor..... 151
3.4.2. Subconjunto Módulo Hidropónico..... 153
3.4.3. Subconjunto Palillería..... 158
3.4.3.1. Tablones..... 159
4. Pliego de condiciones..... 163
1: Condiciones Generales..... 163
1.1. Objeto del Pliego..... 163
1.2. Alcance..... 163
1.3. Normativa de Obligado Cumplimiento..... 163
2: Condiciones de los Materiales..... 164
2.1. Materiales Poliméricos y Resinas..... 164
2.2. Materiales Cerámicos / Vidrio..... 164

2.3. Componentes Metálicos y Tornillería 164
2.4. Componentes Eléctricos e Iluminación 164
2.5. Elementos de Sustentación y Cultivo (Kit Hidropónico) 165
3: Condiciones de Ejecución y Fabricación 165
3.1. Procesos de conformado 165
3.2. Procesos de ensamblaje 165
3.3. Montaje eléctrico 166
4: Condiciones de Inspección, Pruebas y Ensayos 166
4.1. Inspección visual y dimensional 166
4.2. Prueba de estanqueidad (Crítico) 166
4.3. Prueba de seguridad eléctrica 166
5: Condiciones de Recepción, Entrega y Uso Previsto 167
5.1. Embalaje y etiquetado 167
5.2. Condiciones de garantía 167
5.3. Límites de uso e instalación 167
6: Requisitos del Entorno de Instalación 167
5. Mediciones 171
1: Envolvente y Estructura 171
2: Sistema Neumático e Hidropónico 172
3: Electrónica e Iluminación 172
4: Mano de Obra y Procesos 172
6. Presupuesto 176
1. Cuadro de Precios Unitarios (CPU) 176
2. Presupuestos Parciales 177
1: Envolvente y Estructura 177
2: Sistema Neumático e Hidropónico 178
3: Electrónica e Iluminación 178
4: Procesos de Fabricación y Amortización 179
5: Ingeniería y Desarrollo 179
3. Presupuesto de Ejecución Material (PEM) 180
4. Presupuesto Base de Licitación / Ejecución por Contrata (PEC) 180
5. Cierre Formal del Documento 181

Índice de tablas

Tabla 1. Comparación entre las diferentes topologías de sistemas. 29

Tabla 2. Matriz de análisis de sistemas hidropónicos domésticos comercializados en función al análisis hecho en el apartado “1.3.3.3.2.”. 36

Tabla 3: Comparación entre encuesta de Usuarios Reales versus Usuarios Sintéticos.. 61

Tabla 4: Comparación entre encuesta de Usuarios Reales versus Usuarios Sintéticos.. 72

Tabla A.2.1. Respuestas a preguntas por parte de los usuarios expertos citadas ... 125

Índice de figuras

Figura 1.1: Representación histórica de los jardines colgantes de Babilonia. 17
Figura 1.2: Representación histórica del Sistema de chinampas utilizado por la civilización azteca. 18
Figura 1.3: Comparación entre cultivo en suelo y cultivo hidropónico 18
Figura 1.4: Ejemplo de sistema hidropónico doméstico con alta visibilidad de elementos técnicos. 19
Figura 1.5: Sistema hidropónico doméstico de gran volumen, difícil de integrar en entornos domésticos. 20
Figura 1.6: Sistema NFT (Nutrient Film Technique) 24
Figura 1.7: Sistema hidropónico de raíz flotante (Deep Water Culture) 25
Figura 1.8: Sistema hidropónico por mecha (wick system). 26
Figura 1.9: Sistema hidropónico por goteo 27
Figura 1.10: Sistema aeropónico 27
Figura 1.11: Ejemplo de sistema hidropónico híbrido. 28
Figura 1.12: Sistemas de cultivo hidropónico comercializado por la empresas The Scotts Miracle-Gro Company (izquierda) y Click&Grow (derecha). 33
Figura 1.13: Sistema de cultivo hidropónico comercializado por la empresa Gardin.. 34
Figura 1.14: Sistema de cultivo hidropónico comercializado por la empresa The Rise Garden 34
Figura 1.15: Sistema de cultivo hidropónico del tipoNFT comercializado en Amazon 35
Figura 1.16: Sistema de cultivo hidropónico del tipo DWC comercializado en Amazon 35
Figura. 1.17: Esquema metodológico. 50
Figura 1.18: Comparación de resultados del elemento de fricción, ruido, entre los Usuarios Reales y Usuarios Sintético. 59
Figura 1.19: Comparación de resultados del elemento de fricción, mantenimiento, entre los Usuarios Reales y Usuarios Sintéticos. 60
Figura 1.20: Comparación de resultados del elemento de fricción, mantenimiento, entre los Usuarios Reales y Usuarios Sintéticos. 60
Figura 1.21: Fricciones y Tolerancias de los Usuarios Potenciales. 62
Figura 1.22: Ubicación prevista por los Usuarios Potenciales. 63
Figura 1.23: Preferencia sobre productividad del sistema. 63
Figuras 1.24. Boceto de Sistemas Compactos. 68
Figuras 1.25: Bocetos de Sistemas Decorativos. 70
Figura 1.26.: Renderizado módulo técnico. Modelado en base al concepto 15. 73
Figura 1.27.: Vista Isométrica del sistema con piel exterior. Concepto 15. 74
Figura 1.28.: Renders en contexto. Concepto 15. 74

Figuras 1.29: Referencias aplicadas al diseño volumétrico (De izquierda a derecha: Sistemas radiculares en el templo de Angkor; Morfología de almacenamiento hídrico en cactus; Estructura de baobab)..... 75
Figuras 1.30: Comparación ASA y ABS frente a los rayos UV y la intemperie.. 79
Figuras 1.31: Render del sistema hidropónico con piel exterior.. 82
Figuras 1.32: Render del embellecedor que acompaña al sistema..... 82
Figuras 1.33: Renders del sistema hidropónico con piel exterior en contexto..... 83
Figuras 1.34: Detalle Render del Sistema hidropónico.. 83
Figuras 1.35: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo japandi..... 84
Figuras 1.36: Render del sistema hidropónico sin piel exterior estilo industrial “naked” en contexto..... 85
Figuras 1.37: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo japandi..... 86
Figura 1.38: Renders del sistema hidropónico con piel exterior estilo japandi en contexto.. 87
Figuras 1.39: Renders del sistema hidropónico con piel exterior estilo moderno..... 88
Figuras 1.40: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo moderno en contexto. Detalle..... 89
Figuras 1.41: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo moderno en contexto. Con detalles..... 89
Figuras 1.42: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo industrial..... 90
Figuras 1.43: Renders del sistema hidropónico con piel exterior estilo industrial en contexto. Incluye Detalle..... 91
Figuras 1.44: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo minimalista.. ... 92
Figuras 1.45: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo minimalista en detalle. 93
Figuras 1.46: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo minimalista en contexto. 93
Figuras 1.47: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo neo art decó.. . 94
Figuras 1.48: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo neo art decó en contexto.. 95
Figuras 1.49: Detalle del sistema hidropónico instalado en pérgolas para decoración de exteriores..... 96
Figuras 1.50: Render del sistema hidropónico con piel exterior, en pérgola de jardín. Zona exterior en contexto..... 97
Figuras 1.51: Render del embellecedor con incorporación de placa solar sin contexto. Color negro..... 98
Figuras 1.52: Render del embellecedor con incorporación de placa solar. Color madera clara..... 98
Figuras 1.53: Render del embellecedor con incorporación de placa solar. Sin contexto.. 98

Figuras 1.54: Render del embellecedor con incorporación de placa solar en posición de uso. Render en contexto..... 99

Figuras 1.55: Render conceptual “Centro de mesa” con esquema de posicionamiento de los distintos elementos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema hidropónico 100

Figuras 1.56: Render conceptual Centro de mesa con perspectiva frontal..... 100

Figuras 1.57: Render conceptual centro de mesa.. 101

Figuras 1.58: Render conceptual centro de mesa en contexto..... 101

Figuras 1.59: Render conceptual “Lámpara de Suspensión Lujosa” con esquema de posicionamiento de los distintos elementos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema hidropónico. 102

Figuras 1.60: Render conceptual Lámpara de Suspensión Lujosa.. 102

Figuras 1.61: Render conceptual Lámpara de Suspensión Lujosa en contexto. 103

Figuras 1.62: Render conceptual “Baliza de jardín” con esquema de posicionamiento de los distintos elementos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema hidropónico.. 104

Figuras 1.63: Render conceptual baliza de jardín sin planta. Posicionamiento de la cesta..... 104

Figuras 1.64: Render conceptual baliza de jardín en distintas perspectivas. 104

Figuras 1.65: Render conceptual baliza de jardín en contexto. Detalle. 105

Figuras 1.66: Render conceptual baliza de jardín en contexto (oscuridad).. 105

Figura A.2.1.: Sistemas comerciales ordenados por letras para que el encuestado pueda elegir..... 111

Figura A.2.2. Rango de edad de los encuestados como Usuarios Potenciales. 122

Figura A.2.3. Preferencia sobre productividad del sistema..... 123

Figura A.2.4. Fricciones y Toleracias de los Usuarios Potenciales..... 123

Figura A.2.5. Ubicación prevista por los Usuarios Potenciales. 124

Figura A.2.6. Preferencias de los sistemas mostrados a Usuarios Potenciales. Se muestran los sistemas que se enseñaron en la Figura A.2.1.. 124

Figura A.2.7. Rango de precios que los Usuarios Potenciales estarían dispuestos a pagar por un sistema hidropónico doméstico. 125

Figura A.2.8: Concepto 1: “Despertador hidropónico”.. 128

Figura A.2.9: Concepto 2: “Módulo de biblioteca”..... 129

Figura A.2.10: Concepto 3: “Jardinera para rejas”..... 130

Figura A.2.11: Varios conceptos. 4, 5, 6 y 7. 131

Figura A.2.12: Concepto 8:” Maceta hidropónica”..... 132

Figura A.2.13: Concepto 9: “Jarrón Hidropónico”..... 133

Figura A.2.14: Concepto 10: Espacio 1.. 134

Figura A.2.15: Concepto 11: Recibidor. Espacio 2.. 135

Figura A.2.16: Concepto 12: “Totem”..... 136

Figura A.2.17: Concepto 13: “Media luna” Espacio 3.. 137
Figura A.2.18: Concepto 14: “Jardinera para palillería. Espacio 4”..... 138
Figura A.2.19: Concepto 15: Espacio 5. 139

1. Memoria

1.1. Objetivo

El objetivo global es diseñar un producto doméstico de cultivo hidropónico, sin necesidad de sustrato sólido, que permita al usuario cultivar pequeñas plantas y hortalizas y, al mismo tiempo, actúe como elemento decorativo integrado en el entorno doméstico, pequeños negocios, en el interior de edificios institucionales, entornos urbanos o espacios similares.

Objetivos específicos:

- Identificar las necesidades, motivaciones y limitaciones del usuario respecto al cultivo hidropónico y la integración estética del producto en el espacio.
- Definir los requisitos funcionales, ergonómicos, volumétricos y formales que debe cumplir el producto para permitir el cultivo hidropónico sin sustrato, en la medida de los posible.
- Analizar soluciones existentes, elaborando un estado del arte que incluya productos comerciales, tecnologías hidropónicas aplicables y tendencias de diseño vinculadas al mobiliario y la decoración.
- Desarrollar varias propuestas conceptuales de diseño, explorando configuraciones que equilibren funcionalidad y valor estético.
- Seleccionar y justificar la solución final, aplicando criterios de usabilidad, adaptabilidad al espacio, facilidad de mantenimiento y coherencia formal.
- Modelar y detallar el diseño final en CAD, incluyendo aspectos estructurales, materiales, volumen útil, geometrías y elementos necesarios para el funcionamiento hidropónico.
- Establecer la capacidad volumétrica y la escala del producto, garantizando que sea adecuado para entornos mencionados y dimensionado según una gama razonable de plantas u hortalizas.
- Analizar la viabilidad constructiva y los procesos de fabricación compatibles con el producto, sin necesidad de ejecutar dichos procesos, pero justificando su adecuación y coherencia con el diseño.

La creciente preocupación por la sostenibilidad, la reducción del uso de pesticidas y la trazabilidad de los alimentos ha impulsado el interés por el autocultivo doméstico. Este tipo de prácticas requiere soluciones compactas, eficientes e integrables en espacios reducidos, especialmente en entornos urbanos.

El cultivo hidropónico permite producir alimentos en espacios no convencionales, con menor consumo de agua y sin necesidad de suelo agrícola. Sin embargo, muchas soluciones disponibles carecen de una integración estética adecuada o presentan dificultades de uso para perfiles no especializados.

Por ello, este proyecto propone el diseño de un sistema hidropónico doméstico que combine funcionalidad, sostenibilidad y atractivo formal, aportando valor decorativo y facilitando la práctica del autocultivo en el hogar.

1.2. Alcance

El alcance incluirá:

1. Estado del arte:
    - Análisis de referencias comerciales, patentes y literatura sobre hidroponía.
    - Identificación de tendencias y soluciones existentes.
2. Estudio de usuario:
    - Perfil de usuario objetivo.
    - Necesidades funcionales, estéticas y ergonómicas.
    - Limitaciones espaciales.
3. Análisis de soluciones:
    - Exploración conceptual de distintas configuraciones.
4. Definición de requisitos del diseño:
    - Volumetría, ergonomía, mantenimiento, estética, integración espacial.
5. Desarrollo del diseño seleccionando la mejor propuesta:
    - Modelado CAD.
    - Detalles técnicos y estructurales.
    - Justificación formal y funcional.
6. Estudio de materiales y procesos de fabricación:
    - Análisis de procesos adecuados para fabricar el producto.
    - Sin necesidad de ejecutar su fabricación real.

1.3. Antecedentes

1.3.1. Historia y beneficios

Si se observa el mundo que está alrededor, el agua es la fuente de la vida, nada existiría si el agua no fluyese, si no completase su ciclo. El agua es una parte esencial de toda forma viviente de la Tierra. En las plantas, esta, ayuda a mantener una presión firme que permite que no se marchite la planta, además de, transportar nutrientes y energía disuelta a través de la propia planta.

Mirando desde otra perspectiva, cuando los excrementos de los animales, cargados de sales y nutrientes, que los propios sistemas digestivos de los animales son incapaces de digerir y transformar, se encuentran con el agua de la lluvia, esta los

disuelve y los esparce por el terreno, ayudando a que una mezcla equilibrada penetre por la tierra y llegue a las raíces de las plantas, lo que hace que puedan crecer sanas y fuertes, para que de nuevo de comienzo el ciclo y haya animales que vayan a comer esa planta para luego dar lugar a heces con las que futuras plantas se nutrirán y podrán crecer.

Teniendo ahora una visión más práctica sobre como es el proceso natural del crecimiento de las especies vegetales, de forma general, podemos entender que la hidroponía busca exactamente eso que se describe, es decir, conseguir la mezcla nutritiva, disuelta en agua, perfecta para el correcto crecimiento de las plantas que se crían bajo este sistema.

El sistema de la hidroponía, pese a parecer un sistema nuevo y tecnológico, tiene antecedentes en la antigüedad de la civilización humana, estos cultivos empiezan cuando se busca la mezcla perfecta de elementos para conseguir la composición perfecta, para crear la solución nutritiva, de este tipo de experimentos relacionados con nutrición vegetal, se tienen datados fechas cercanas al año 1600 A.C. Se encuentran señales de este tipo de cultivos en los jardines de Babilonia (figura 1.1) o en imperios como los Aztecas en México con sus jardines flotantes (figura 1.2), ambos son ejemplos tempranos de sistemas hidropónicos de cultivo en jardines de la antigüedad. Algunos historiadores han encontrado en Egipto jeroglíficos que describen el cultivo de plantas en agua, los cuales pueden ser datados miles de años antes de cristo. Estos ejemplos, si bien no constituyen casos reales de hidroponía moderna, representan antecedentes funcionales del cultivo sin suelo [1].



Figura 1.1: Representación histórica de los jardines colgantes de Babilonia [2].



Figura 1.2: Representación histórica del Sistema de chinampas utilizado por la civilización azteca [3].

La palabra “hidroponía” fue concebida por el Doctor W.F. Gericke en el año 1936 [4], con ella describía el cultivo de plantas comestible o decorativas, en una solución acuosa que le aportaba los nutrientes necesarios para el crecimiento de estas. La etimología de la palabra proviene del griego, es la combinación de “Hydro” que significa agua y “Ponos” que significa labor, llegando a un término que puede entenderse como el trabajo del agua o la labor del agua. Como ya se ha mencionado, en este método de cultivo, la clave está en encontrar la solución de nutrientes, sales minerales y otros elementos esenciales, disueltos en agua, necesarios para que, al tener las raíces de una planta en contacto con esta solución, ya sea mediante la pasividad de la fuerza de la gravedad o por la fuerza de una bomba electromecánica que facilite el movimiento de esta solución alrededor de las propias raíces, estas sean capaces de alimentarse correctamente y con ello, crecer y en caso de que pueda, dar frutos. Algunos sistemas hidropónicos también incorporan una bomba de aire que ayuda a oxigenar la solución desde abajo, esto lo que hace es, además de abastecer a las raíces con el oxígeno necesario, también previene el estancamiento del agua en el recipiente que la contenga [1].

Enfocándose en los beneficios de este sistema, las plantas que se cultivan bajo el sistema de la hidroponía son generalmente plantas más sanas [5] que las que están cultivadas en tierra con las consecuentes enfermedades y presencia de pesticidas que está conlleva en muchos casos.



Figura 1.3: Comparación entre cultivo en suelo y cultivo hidropónico [6] [7].

Otro gran beneficio de la hidroponía es que en la mayoría de los sistemas que se usan contienen la solución nutritiva en sistemas cerrados, por lo que esto lo hace un sistema perfecto para lugares donde el agua es un recurso escaso y no se debe desaprovechar, además de que permite que la solución no se evapore o se deseche al entorno que rodea a la planta, así como si pasara en un sistema de cultivo en la tierra común. Esto le da el sobrenombre de “Earth Friendly Gardening” o jardinería amigable con la tierra, en su traducción al español.

Además un cultivo que crece en un sistema hidropónico es más eficiente que uno que se planta en la tierra o en su defecto en sustrato, esto es debido a que las raíces de los primeros, siempre se encuentran en contacto con los nutrientes necesarios desde un primer momento y usará toda la energía en dar frutos o flores,

mientras que la sembrada en tierra, deberá gastar energía en hacer crecer unas raíces que encuentren humedad y con ella los nutrientes necesarios para lograr crecer y dar frutos, como resultado de esto, los frutos o flores de las plantas que crecen en el primer caso, darán frutos más grandes, más sabrosos e incluso más nutritivos que el mismo fruto cultivado en el segundo caso.

1.3.2. Problemáticas del cultivo hidropónico doméstico desde el diseño industrial

Actualmente los sistemas hidropónicos al alcance de un usuario promedio presentan una dificultad técnica, por lo que los consumidores que acceden a la compra de estos sistemas deben primero adquirir unos conocimientos técnicos que dificultan su adopción por usuarios no expertos. Además, el autor Keith Roberto [1], señala que existe otra barrera de entrada técnica a este tipo de cultivos y es, el tipo de agua que puede llegar a casa. Identifica dos casos, que ya son conocidos: el agua blanda y el agua dura, mencionando que la mayoría de los elementos que se comercializan para la hidroponía, están pensados para aguas blandas, aunque también existan para aguas duras. Esto lleva a que además de los conocimientos sobre nutrientes y soluciones para la planta en cultivo hidropónico, el usuario también deberá tener conocimiento sobre qué tipo de agua es la que llega a su casa a través de las tuberías.

Cuando se trata de implementar tecnología agrícola en ambiente controlado (CEA) en entornos mayormente residenciales, estos se enfrentan a desafíos que van más allá de la viabilidad agronómica.

Literatura especializada en este tema hace una identificación de la existencia de “barreras no técnicas” críticas para la difusión de la agricultura urbana, entre las que se pueden destacar: falta de aceptación social y la percepción de incompatibilidad con el entorno construido.

Este factor resulta relevante porque, a diferencia de la maquinaria agrícola, aceptada estéticamente por su funcionalidad en su contexto operativo, los sistemas hidropónicos adaptados a entornos domésticos a menudo presentan una “estética industrial”.

Esta estética incluye elementos como: tuberías expuestas, iluminaciones intensas y artificiales, ruidos de bombas, entre algunos otros, como se muestran en la figura 1.4. Estos componentes, generan una fricción a la integración en espacios habitables diseñados para el confort y el descanso como puede ser el salón de una casa.



Figura 1.4: Ejemplo de sistema hidropónico doméstico con alta visibilidad de elementos técnicos [8].

Mirando desde una perspectiva psicológica aplicada al diseño industrial, esta problemática puede analizarse con mayor profundidad.

La aplicación de la psicología al diseño industrial, se puede evidenciar una disonancia en lo que Norman [9] define como *modelo mental*. El usuario comúnmente posee un modelo conceptual del hogar asociado al orden, la calma y a una naturaleza pasiva. La introducción de un dispositivo hidropónico de carácter complejo viola este modelo al ser percibido por el usuario semióticamente como una “máquina” o un “experimento de laboratorio” en lugar de un elemento de mobiliario o decorativo.

La falta de alineación no es algo trivial, según Norman [9], cuando la imagen del sistema (system image) se comunica con complejidad técnica arbitraria en lugar de con simplicidad funcional, se eleva la carga cognitiva y se induce de forma prácticamente automática, al rechazo por parte del usuario. Lo que le induce, de forma prácticamente automática, rechazo, independientemente de la eficiencia biológica del cultivo.



Figura 1.5: Sistema hidropónico doméstico de gran volumen, difícil de integrar en entornos domésticos [10].

Es por tanto que para superar esas barreras de aceptación identificadas por Specht [11], el diseño de sistemas hidropónicos domésticos se ve obligado a tener que transitar desde una ingeniería que se centran en la producción biológica hacían un enfoque centrado en el usuario. Esto implica resolver la Paradoja de la Tecnología: [9] la tecnología añadida debe simplificar la vida, no complicarla. Para ello la integración exitosa requiere ocultar la complejidad operativa como bombas, nutrición y otros sistemas y en su sustitución utilizar indicadores (signifiers) estéticos que permitan al usuario la interacción con el sistema de una manera intuitiva y emocionalmente positiva que transforme el objeto intruso, de carácter industrial, técnico y basado en ingeniería, a un elemento armónico del paisaje interior.

Superada la dimensión perceptiva, la viabilidad física del sistema introduce nuevas restricciones.

Analizando por tanto la viabilidad de la agricultura urbana, en especial su vertiente doméstica, está propiamente condicionada a la disponibilidad de superficie física, factor que actúa como la principal restricción de diseño en las grandes urbes.

Según el análisis de Zezza y Tasciotti [12] para la FAO, aunque la agricultura urbana es una estrategia clave para la seguridad alimentaria, la implementación de esta colisiona con la realidad material de los hogares urbanos.

En estos entornos existe una competencia por el espacio habitable que limita severamente la asignación de áreas para la producción de alimentos. Esta restricción obliga a abandonar los arquetipos de cultivo extensivo de forma horizontal en favor de soluciones adaptadas a la microescala residencial.

Situándose en este contexto de escasez de espacio, la arquitectura del sistema de cultivo no es tanto una elección estética, sino una respuesta funcional de carácter casi obligatoria.

Como argumentan Benke y Tomkins [13], el aumento de la población y la reducción del suelo disponible impulsan la necesidad de sistemas de Agricultura en Ambiente Controlado (CEA), que maximicen el rendimiento al máximo posible por unidad de superficie.

Esto justifica la adopción de la verticalidad y la modularidad como principios fundamentales del diseño en este ámbito. Un sistema doméstico debe, en consecuencia, desacoplarse del suelo (eliminando así la necesidad de tierra) y compactar su huella espacial (*footprint*), aprovechando el eje vertical para integrar la producción en la vida cotidiana sin comprometer la habitabilidad de la vivienda [13]

No obstante, incluso si el sistema logra integrarse espacialmente, su permanencia en el tiempo depende de otro factor crítico: el mantenimiento

Si el sistema es adquirido por el usuario, la sostenibilidad temporal del mismo, en entorno doméstico, no depende únicamente de su capacidad de sustentar vida vegetal, sino que depende también de la compatibilidad de sus protocolos de mantenimiento en base a la rutina que asiente el usuario.

Una de las causas principales de abandono en la agricultura urbana es la falta de relación entre la carga de trabajo requerida y la accesibilidad del diseño. Según lo comentado por Roberto [1], la hidroponía exige una gestión activa y profiláctica. El control del crecimiento de algas, la eliminación de precipitados salinos y el recambio periódico de la solución nutritiva, no son tareas opcionales, sino imperativos biológicos para evitar patologías radiculares y desequilibrios osmóticos en el sistema de cultivo hidropónico.

Sin embargo, muchos de los diseños comercializados actualmente tienen confinados los componentes críticos (depósitos, bombas y filtros) en espacios de difícil acceso, que convierten las tareas rutinarias de mantenimiento en procesos de un alto costo ergonómico.

Bajo los principios del Diseño Centrado en el Humano, establecidos en el estándar ISO 9241-210 [14], la usabilidad de un sistema se mide por la efectividad y eficiencia con la que el usuario puede completar sus objetivos. Si el sistema se construye y finalmente se obstruye las labores de limpieza y monitoreo descritas por Roberto [1], se eleva entonces la carga cognitiva y física del usuario, lo que finalmente precipita el abandono del cultivo.

Por tanto, el diseño debe priorizar la mantenibilidad, garantizando que los protocolos de mantenimiento (higiene e inspección) sean intuitivos y ejecutables sin fricción mecánica, con lo que se logra una alineación de los requerimientos biológicos del cultivo con las capacidades ergonómicas necesarias requeridas por el usuario.

A las dimensiones perceptiva, espacial y operativa se suma una cuestión crítica: la seguridad.

La fusión de hidrología activa y componentes de carácter electromecánicos en un entorno no industrial introduce nuevos riesgos, estos condicionan severamente la viabilidad comercial del sistema.

La presencia simultánea de una solución nutritiva conductoras y un voltaje de red genera “percepción de peligro” en el usuario doméstico que debe ser en la medida de lo posible neutralizada, no mediante advertencias, sino mediante un diseño premeditado.

Ulrich y Eppinger [15], establecen que la seguridad del producto no es una cualidad añadida, sino un parámetro de diseño que debe estar presente desde las fases tempranas de conceptualización.

La identificación y eliminación de fallos potenciales como fugas o cortocircuitos, debe ser una máxima inherente al diseño (*safe-by-design*), evitando así delegar la gestión del riesgo en las cualidades del operador del objeto diseñado.

Esta aproximación preventiva se alinea el diseño con el marco normativo de protección al consumidor. Según los directrices de la Comisión Europea [16], mostradas y activas a través del sistema de alerta Safety Gate (anteriormente RAPEX), cualquier producto de consumo debe cumplir con el Principio de Seguridad General. Esto implica garantizar que su uso normal o previsible no presente riesgos para la salud física o la seguridad de los usuarios.

En el contexto, de la hidroponía doméstica, esto implica que el diseño debe incorporar barreras pasivas y redundancias que diferencien físicamente los circuitos hidráulicos de los eléctricos, cumpliendo así con los estándares de seguridad armonizados y eliminando las barreras psicológicas asociadas al miedo a accidentes en el entorno doméstico.

Finalmente, todas estas variables confluyen en un conflicto técnico central: el rendimiento frente a simplicidad.

La definición de la arquitectura del sistema enfrenta una unión positiva inevitable entre la eficiencia agronómica y la complejidad instrumental.

Savvas y Gruda [5], señalan que los máximos rendimientos en la industria de invernaderos modernos, claramente, se logran mediante sistemas de “lazo cerrado” con un estricto control climático automatizado y fertiirrigación (suministro de agua y nutrientes) de precisión. No obstante, esta sofisticación tecnológica impone, de manera innegable, una gran carga operativa y de mantenimiento que, pese a ser viable en escalas industriales, es desproporcionada para el contexto doméstico.

Desde la ingeniería de diseño, esta tensión se identifica como un conflicto de objetivos (*conflicting objectives*). Pahl y Beitz [17] establecen que, ante los requisitos funcionales contrapuestos, en este caso, maximizar la tasa de crecimiento vegetal versus minimizar la complejidad de uso, el diseñador no debe intentar buscar la maximización de una sola variable, sino optimizar la globalidad del sistema a través de una "solución de compromiso".

Como consecuencia, el diseño propuesto renunciará deliberadamente a la implementación de subsistemas de control de alto nivel (como la corrección automática de pH o la oxigenación forzada de alta precisión) descritos por Savvas y Gruda [5]. Esta decisión de diseño, que se fundamenta en los principios de simplificación de Pahl y Beitz [17], priorizando la robustez y la reducción de puntos de fallo sobre el rendimiento marginal, resolviendo con ello la contradicción técnica mediante un equilibrio que garantiza la viabilidad operativa del producto en manos de un usuario no especializado y carente de conocimientos técnicos propios de un sistema industrial de cultivo.

1.3.3. Estado actual de la hidroponía doméstica

1.3.3.1. Tipologías técnicas de sistemas hidropónicos

Dentro de la agricultura sin suelo, se encuentra enmarcada la ya mencionada hidroponía, esta se define fundamentalmente por la sustitución del sustrato terrestre natural por un medio inerte o directamente por la solución nutritiva acuosa.

El principio común bajo el que operan todas estas tecnologías que pertenecen a este tipo de cultivo, el hidropónico, radica en la provisión controlada de agua, oxígeno y elementos minerales esenciales directamente al sistema radicular de las plantas. Esto optimiza el metabolismo vegetal al aislarlo de las desigualdades presentes en la naturaleza, carencias y patógenos propios de un suelo agrícola tradicional [5].

Si se quiere comprender las exigencias técnicas que implica trasladar estos sistemas a un entorno doméstico, es de obligatorio cumplimiento analizar previamente su arquitectura funcional. Según Resh [18], aunque todos los sistemas de cultivo hidropónico comparten la base de tener una nutrición mineral disuelta en una solución acuosa, difieren de forma sustancial en sus requerimientos de infraestructura y control. Las principales divergencias técnicas se establecen en función de la dinámica de la solución nutritiva (ya sea estática o circulante), el mecanismo que se usa para la oxigenación radicular, y el grado de automatización requerido para mantener la estabilidad fisiológica del entorno [19].

La categorización técnica no es solamente descriptiva; determina de forma directa el rendimiento agronómico y, de manera crítica para el diseño de producto, la vulnerabilidad del sistema ante fallos operativos.

Se pasa a continuación a analizar las tipologías predominantes para evaluar con ello la carga técnica que cada uno impone sobre el usuario.

Sistema NFT (Nutrient Film Technique o Película Nutritiva)

El Sistema NFT se basa en la circulación continua de una lámina muy fina, prácticamente milimétrica, de solución nutritiva a través de canales con una ligera pendiente longitudinal. En esta configuración de cultivo, las raíces no se encuentran

sumergidas al completo en un tanque o recipiente, sino que descansan sobre el fondo del canal. Esto permite que la parte superior del manto radicular permanezca constantemente expuesta al aire, maximizando así la absorción de oxígeno gaseoso [18].

Una de las principales ventajas del sistema NFT viene dada por su alta eficiencia hídrica y en el reducido volumen total de solución que requiere, lo que facilita el control rápido y preciso de parámetros como el pH y la conductividad eléctrica [5]. Sin embargo, la minimización del volumen de solución circulante genera, en el sistema, una dependencia completa del suministro eléctrico. Si el suministro de electricidad falla y con ello el inevitable fallo de la bomba de recirculación, las raíces carecen de inercia térmica e hídrica, pudiendo sufrir daños irreversibles por desecación en cuestión de unas escasas horas [19]. Por tanto, aunque ofrece una eficiencia excelente, la viabilidad para usuarios que no tengan experiencia queda condicionada a la implementación de sistemas redundantes que puedan extinguir el riesgo crítico de fallo.

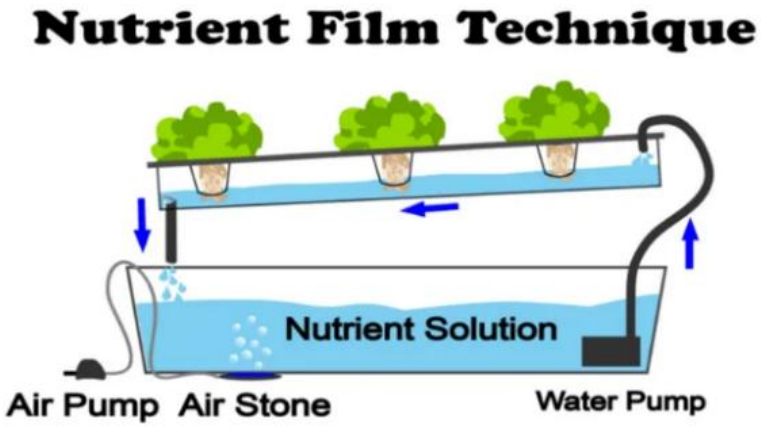


Figura 1.6: Sistema NFT (Nutrient Film Technique) [20].

Sistema DWC (Deep Water Culture o Raíz Flotante)

Al contrario que los sistemas de película nutritiva, el sistema DWC sumerge de forma permanente el sistema radicular en un depósito que alberga un volumen mayor de solución. Dado que el oxígeno disuelto en masas de agua estáticas se agota con rapidez conforme la planta respira, la viabilidad de esta tipología depende estrechamente de la inyección forzada de aire mediante un compresor y piedras difusoras [1]

Viéndolo desde un nivel estructural, el DWC llega a destacar por su simplicidad constructiva, careciendo de complejidad de los canales de distribución o emisores presurizados [18]. Esta acumulación de masa de agua proporciona una alta inercia térmica y química, lo que le da al sistema una estabilidad claramente notable ante un corte de suministro eléctrico, las plantas pueden sobrevivir varios días sin sufrir estrés hídrico inmediato [5]. Estas características hacen del DWC un tipo de cultivo accesible y altamente adaptable a la integración en espacios pequeños, siendo de interés para entornos de cultivo doméstico.

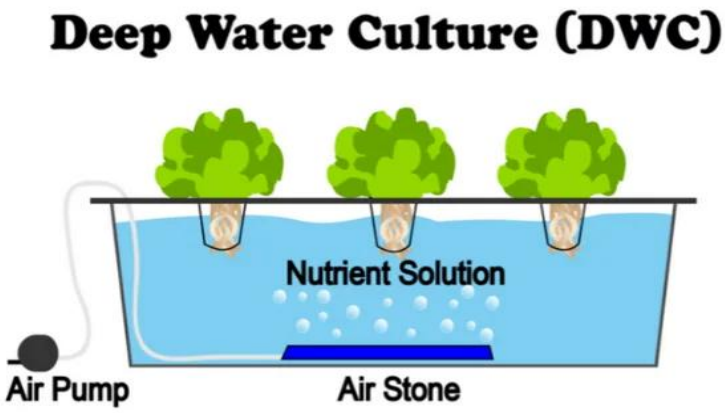


Figura 1.7: Sistema hidropónico de raíz flotante (Deep Water Culture) [20].

Sistema de mecha (Wick)

El sistema de mecha representa la más elemental variante tecnológica dentro de la hidroponía, operando de forma puramente pasiva. La solución nutritiva se traslada desde un depósito que la contiene en la zona inferior hasta la zona radicular, que es soportada por un sustrato, mediante el principio físico de capilaridad, utilizando para ello bandas o mechas (de ahí el nombre del sistema) de materiales absorbentes [1].

Al no depender por completo de bombas hidráulicas o neumáticas, su complejidad técnica y energética son prácticamente nulas [18]. Sin embargo, esta contención tecnológica impone una limitación en la tasa de suministro de líquidos severa, lo que restringe su viabilidad a especies de bajo porte y requerimientos hídricos menores. Aunque su rendimiento agronómico es significativamente inferior al de los sistemas activos, su nula vulnerabilidad frente a fallos electromecánicos ilustra de forma clara el compromiso existente entre la simplicidad operativa y la productividad.

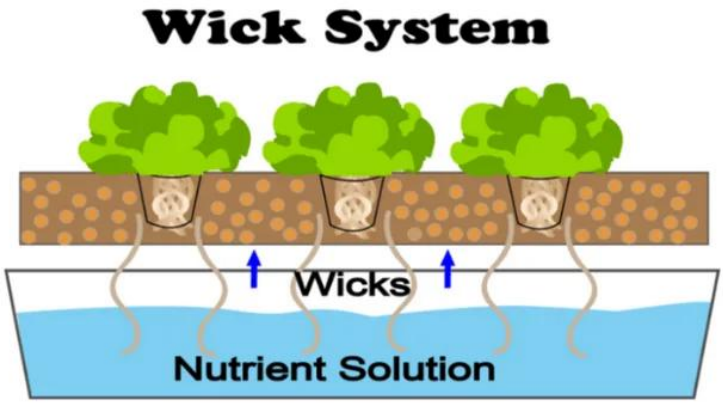


Figura 1.8: Sistema hidropónico por mecha (wick system) [20].

Sistema de goteo

En los sistemas de goteo hidropónico, la forma de distribuir la solución nutritiva es a través de una red de tuberías y se aplica de forma individual a la base de cada planta mediante una serie de emisores calibrados. Este sistema es utilizado de forma habitual sobre una serie de sustratos inertes que aporten soporte mecánico y retengan la humedad entre ciclos de riego como perlita o lana de roca [19]).

Este sistema constituye una de las tipologías más extendidas en la producción profesional gracias a su alta versatilidad, operando de forma eficaz tanto en circuitos abiertos, donde el drenaje se desecha; como cerrados, donde se usa la recirculación[5]. No obstante, la precisión de distribución del sistema conlleva un incremento sustancial en la carga de mantenimiento, exigiendo, por tanto, la calibración periódica de los flujos y, de forma crítica, la inspección preventiva de los emisores. Estos son altamente susceptibles a la obstrucción por precipitación de sales[18].

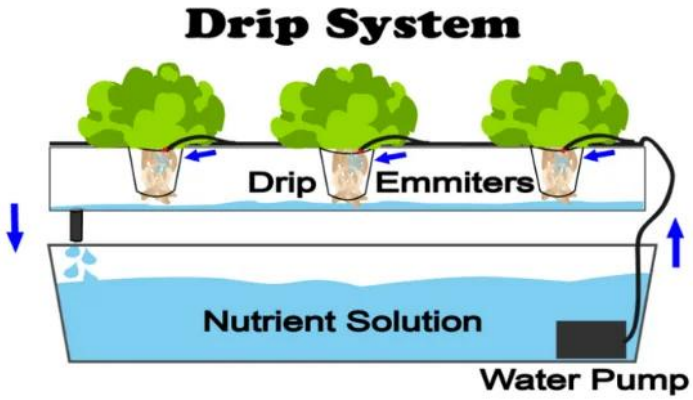


Figura 1.9: Sistema hidropónico por goteo [20].

Aeroponía

La aeroponía conforma el extremo de mayor sofisticación técnica en el cultivo en ambiente controlado. En este esquema de cultivo, las raíces permanecen suspendidas en el interior de una cámara opaca y son irrigadas mediante la nebulización de la solución nutritiva de forma periódica [5]. Con esta exposición continua de la raíz a una atmósfera saturada de humedad y oxígeno, se facilita las mayores tasas de asimilación metabólica registradas [13].

A pesar de su altísimo rendimiento agronómico, que no es comparable con los otros sistemas, la aeroponía entraña la máxima complejidad instrumental del sector. Requiere de bombas de alta presión, boquillas microaspersoras que son propensas a la obstrucción y controladores de ciclo corto, con pulsos del orden de segundos. Su tolerancia a fallos operativos es nula, lo que lleva a que si ocurren se pueda perder la totalidad del cultivo ante paradas técnicas de corta duración. En consecuencia, su viabilidad en un contexto doméstico resulta marginal salvo que se disponga de una arquitectura de automatización de grado industrial, algo no muy común en estos entornos.

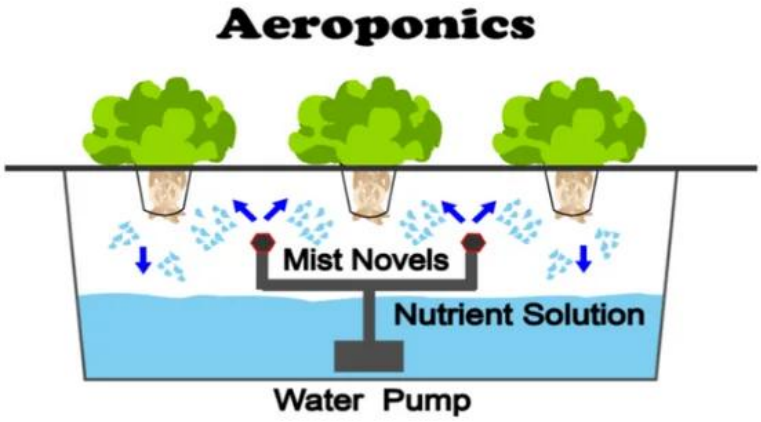


Figura 1.10: Sistema aeropónico [20].

Sistemas híbridos domésticos

La forma clásica de categorizar los sistemas hidropónicos suele presentar tipologías puras, sin embargo, la práctica actual en escalas reducidas ha favorecido la aparición de arquitecturas híbridas de cultivo. Estas nuevas configuraciones combinan principios operativos de dos o más sistemas estándar con el objetivo de abolir sus vulnerabilidades individuales y generar una redundancia funcional [1].

En el ámbito doméstico, la hibridación más frecuente fusiona el sistema DWC con el riego por goteo superior. En este tipo de esquema, la planta se sitúa en un contenedor con sustrato inerte sobre un reservorio oxigenado, mientras el sistema radicular joven es irrigado por goteo, (asegurando con ello que se establezca temprano), las raíces maduras alcanzan el reservorio inferior (perteneciente al sistema DWC), con lo que se garantiza el acceso a nutrientes incluso ante fallos de la bomba de riego. Esta estrategia incrementa considerablemente la resiliencia del sistema, resolviendo la dependencia crítica de energía del NFT y la lentitud de crecimiento inicial de los sistemas pasivos [18]. Aunque la complejidad constructiva aumente ligeramente, la hibridación se presenta como la solución óptima para equilibrar la seguridad operativa y el rendimiento en unidades desatendidas.

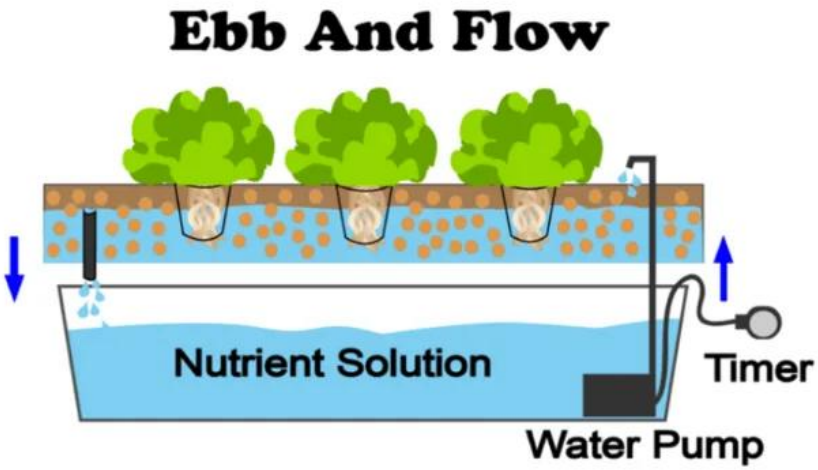


Figura 1.11: Ejemplo de sistema hidropónico híbrido [20].

Comparativa de viabilidad técnica

Tras el análisis estructural de las tipologías expuestas se evidencia una tensión fundamental en el diseño de equipos de agricultura sin suelo: la optimización del rendimiento agronómico mediante sistemas activos suele llevar a un incremento proporcional en la dependencia energética y la vulnerabilidad operativa.

Las tipologías puras presentan claras limitaciones para la adaptación al entorno doméstico. Los sistemas pasivos, como el de Mecha, ofrecen robustez, pero un rendimiento bajo, mientras que los activos de baja inercia, como NFT o aeroponía, maximizan la producción a costa de una fragilidad crítica ante fallos de suministro.

No obstante, es la categoría de sistemas híbridos la que emerge como la arquitectura de resolución de este conflicto. Al integrar la seguridad pasiva de los depósitos de volumen (DWC) con la estimulación activa de la recirculación, goteo o aspersión, estas configuraciones logran separar el riesgo operativo del rendimiento del cultivo.

Comparativa técnica de tipologías hidropónicas y su viabilidad de integración.

Como se observa en la Tabla 1, la hibridación permite mantener tasas de crecimiento competitivas reduciendo drásticamente la vulnerabilidad ante fallos técnicos, posicionándose como la estrategia de diseño más equilibrada para dispositivos desatendidos en entornos habitables.

Tabla 1. Comparación entre las diferentes topologías de sistemas. Elaboración propia a partir de [18], [5] y estado actual de la hidroponía.

Topología del Sistema	Dependencia Energética	Complejidad Operativa	Vulnerabilidad ante Fallos eléctricos	Adaptabilidad al Entorno Doméstico
Mecha (Wick)	Nula	Muy Baja	Nula	Alta (solo plantas pequeñas)
DWC (Raíz Flotante)	Media (Aireación)	Baja	Baja (alta inercia hídrica)	Alta
Goteo (Sustrato)	Media (Riego)	Media	Moderada	Media (requiere limpieza)
NFT	Alta (Recirculación)	Media-Alta	Crítica (sin inercia)	Baja
Aeroponía	Muy Alta (Presión)	Muy Alta	Crítica (desecación inmediata)	Muy Baja
Híbrido (DWC + Goteo)	Media	Media	Baja (Redundancia funcional)	Muy Alta (Balance óptimo)

1.3.3.2. Adaptación al entorno doméstico

La traslación de las tecnologías de Agricultura en Ambiente Controlado (CEA) desde su contexto nativo industrial hacia el ámbito residencial no puede abordarse como un simple ejercicio de escalado geométrico o miniaturización. Mientras que la hidroponía comercial opera bajo una lógica de maximización de biomasa en espacios dedicados y tecnificados, la integración en la vivienda impone un conjunto severo de restricciones exógenas que obligan a redefinir la arquitectura del sistema. Según [21], las barreras para que esta adopción de la agricultura urbana en edificios no es solo agronómica, sino estructurales y sociales, exigiendo por tanto una adaptación profunda en términos espaciales, energéticos y operativos.

El entorno doméstico carece de las infraestructuras de soporte necesarias como: drenajes industriales, ventilación forzada, impermeabilización; presentes en un invernadero. Por tanto, la viabilidad técnica de un dispositivo de cultivo de interior depende de su capacidad para internalizar estas funciones sin comprometer la habitabilidad del espacio que lo rodea. Esta adaptación implica transitar desde un diseño centrado en el cultivo (*crop-centric*) a uno centrado en el usuario y el entorno

(*environment-centric*), donde las variables de confort humano: silencio, seguridad, estética; adquieren la misma relevancia que los parámetros fisiológicos de la planta [9] [5].

A continuación, se exponen y analizan las restricciones críticas que condicionan este proceso de diseño.

Restricciones espaciales y morfología

La limitación más evidente en la vivienda urbana a día de hoy es la escasez de superficie útil. Los datos sobre la agricultura urbana analizados por la FAO [12], hacen claro lo evidente, una competencia feroz por el espacio habitable, lo que puede hacer invalidar la implementación de sistemas extensivos horizontales (como las mesas de goteo o balsas flotantes) típicos de la producción comercial.

Esta restricción espacial fuerza la adopción de morfologías verticales o de tipo compacta. Como señalan los autores Benke y Tomkins [13], la eficiencia del sistema en entornos densificados no se mide por la producción total, sino por la producción por unidad de superficie ocupada (huella o footprint). El diseño debe desacoplar la superficie de cultivo del suelo, utilizando la altura como dimensión productiva. Esto obliga a desarrollar estructuras autoportantes que integren el depósito, la columna de cultivo y la iluminación en un único volumen coherente, eliminando la dispersión de componentes periféricos.

Restricciones energéticas y eficiencia

A diferencia de la industria, donde el consumo energético se amortiza mediante economías de escala, en el ámbito doméstico el consumo eléctrico continuo representa una barrera de entrada significativa y un coste operativo que penaliza. Los sistemas hidropónicos activos, especialmente los basados en aeroponía o NFT de recirculación constante, demandan un funcionamiento ininterrumpido de bombas y, frecuentemente, de iluminación artificial de alta intensidad [5].

Es por tanto que la adaptación doméstica exige una optimización del balance energético Esto implica priorizar tecnologías de iluminación LED de espectro ajustado (que reducen el consumo térmico y lumínico) y favorecer arquitecturas hidráulicas de baja demanda o ciclos intermitentes. La dependencia energética absoluta no solo afecta a la factura eléctrica, sino que introduce un punto crítico de fallo. En una vivienda la probabilidad de desconexión accidental es mayor que en una instalación industrial, por lo que el sistema debe poseer cierta inercia pasiva para sobrevivir sin electricidad.

Restricciones acústicas y confort ambiental

Cuando se trata del control de las emisiones sonoras, estas constituyen un requisito de diseño inexistente en la agricultura profesional pero crítico en el hogar. Bombas de agua, compresores de aire y ventiladores de extracción generan un ruido blanco y vibraciones estructurales que pese a ser irrelevantes en un invernadero, en un salón o un dormitorio resultarían intrusivos.

Pese a que no existe una normativa específica para “ruidos de lechugas o tomates”, la adaptación debe alinearse con los estándares de confort acústico interior, valores por debajo de 30-35 dBA en zonas de reposo, de forma recomendada [22] . Esto es un condicionante para la selección de componente electromecánicos teniendo

que tener en cuenta la comparación objetiva entre las bombas de aire de membrana (algo más ruidosas por vibración) frente a bombas de agua sumergidas (refrigeradas y silenciadas por el propio líquido) y exige el desacople mecánico de las partes móviles mediante materiales que tengan la capacidad de absorber el sonido (fonoabsorbentes) que el sistema ocasione.

Restricciones de seguridad operativa

La introducción de volúmenes de agua en movimiento y sales disueltas (conductores eléctricos) en espacios equipados con tomas de corriente generales de 230V introduce un vector de riesgo inaceptable bajo los estándares de seguridad de productos de consumo [16]. En el entorno industrial, el personal cuenta con información técnica y EPIs; en el hogar, el usuario puede llegar a ser incluso un niño o una persona sin cualificación técnica.

Según Ulrich y Eppinger [15] y siguiendo sus principios del diseño seguro (safe design), la adaptación al entorno doméstico requiere la implementación de medidas de seguridad pasiva redundantes como el uso imperativo de bajo voltaje (entre 12 y 24 voltios) en todos los componentes húmedos, compartimentación estanca de la electrónica de control (cumpliendo grados de protección IP (IP65 o un valor mayor) [23]) y diseño antiderrame que reconduzca cualquier fuga interna de vuelta al depósito, evitando daños al mobiliario o suelo de la propia vivienda.

Restricciones de usabilidad y mantenimiento

La introducción de una rutina de mantenimiento es la principal causa de abandono de tecnologías domésticas. Mientras que en la industria existen operarios dedicados al monitoreo y limpieza, el usuario en casa dispone de un tiempo limitado y una tolerancia baja a tareas complejas o sucias. Roberto [1], detalla protocolos de mantenimiento (medición de pH, EC, limpieza de sales y otros procesos) que, si no sufren un simplificado, resultan abrumantes para el usuario final.

Se requieren aplicar criterios de ergonomía cognitiva y física para la adaptación [14](ISO 9241-210). El diseño debe facilitar el acceso frontal a los depósitos, permitir que se rellenen los mismos sin desmontar la estructura y simplificar la limpieza de componente. Si el mantenimiento exige un extra de herramientas o esfuerzos físicos notables, el sistema fracasará como un producto de consumo, de forma independiente a su rendimiento biológico.

Integración formal y percepción estética

Finalmente, la barrera no técnica más sutil es la integración estética. Como argumenta [9] , los objetos en el hogar no solo cumplen una función, sino que pueden comunicar significados y emociones. Un sistema con estética industrial, de laboratorio o fábrica (tubos de PVC, luces agresivas de colores llamativos, cables vistos) generan un alto rechazo visual y percepción de artificialidad [11].

Para ser aceptado en el entorno doméstico, el sistema hidropónico debe ocultar su complejidad técnica. El lenguaje formal debe, por tanto, alejarse de la maquinaria industrial para acercarse al del mobiliario o el electrodoméstico, es decir: líneas limpias, cableado oculto y tuberías, sin olvidar el uso de materiales que armonicen con el

interiorismo residencial. La caja negra tecnológica debe ser invisible, dejando que la planta viva tome todo el protagonismo.

Síntesis de la adaptación

Se concluye, por tanto, la adaptación de los sistemas hidropónicos al entorno doméstico no consiste en simplemente reducir la escala de estos sistemas, sino en una transformación profunda de su arquitectura técnica y formal. Este proceso está gobernado por un sistema de restricciones interdependientes: espaciales, energéticas, acústicas, de seguridad y perceptivas; que no existen en el modelo industrial. La viabilidad del producto final depende, por tanto, de su capacidad para resolver estas limitaciones mediante un diseño que priorice integración, seguridad pasiva y usabilidad, dejando subordinada la complejidad tecnológica a la experiencia del usuario y al respeto por el espacio habitable.

1.3.3.3. Sistemas comercializados y análisis comparativo

Introducción: Contextualización del mercado doméstico

Durante la última década la adopción de tecnologías de agricultura urbana y cultivo en ambiente controlado (CEA) ha experimentado un crecimiento exponencial, impulsada por dos factores: la densificación urbana y la búsqueda de seguridad alimentaria a nivel micro (nivel de usuario individual y por ende, del grupo) [24]. A un nivel comercial, el mercado global de la agricultura de interior ha alcanzado valoraciones significativas, según estimaciones recientes, se proyecta que este sector crezca a una tasa anual compuesta (CAGR) del 11.3% a nivel global, empujado en gran medida por la demanda de hardware tecnológico específico, el cual representa más del 60% de la cuota de mercado [25]. En el mercado europeo, el crecimiento que se proyecta es aún mayor (12.9% CAGR), impulsado por la limitada disponibilidad de espacio y el interés del consumidor por el cultivo de proximidad [25].

Para responder a esta demanda creciente en el mercado, la industria ha desarrollado una amplia oferta de sistemas hidropónicos adaptados a la escala residencial, popularizando con ello el concepto de dispositivos *plug-and-play*. No obstante, tras el análisis del estado del arte se evidencia una brecha significativa entre las promesas comerciales de simplicidad absoluta y la realidad de los requerimientos técnicos y biológicos. Con un mercado actual que se encuentra fuertemente segmentado en distintos niveles de complejidad, que van desde kits elementales de baja productividad hasta infraestructuras verticales de alto coste y sofisticación técnica, planteando diversos compromisos entre rendimiento y usabilidad [13].

Clasificación de sistemas comercializados

Para que se puedan evaluar las soluciones existentes, frente a las restricciones del entrono doméstico analizadas previamente, se clasifica la oferta comercial en tres tipologías predominantes:

A. Sistemas compactos de sobremesa (Appliances)

   Representados por dispositivos como *AeroGarden* de la empresa The Scotts Miracle-Gro Company o *Click & Grow,* mostrados en las figuras 1.11.

- Características técnicas: Emplean predominantemente sistemas del tipo DWC (raíz flotante) o capilaridad (mecha). Traen integrada iluminación automatizada del tipo LED y un volumen radicular muy reducido (inferior a los 3 litros por norma general).
- Su precio de mercado oscila entre los 80€ y los 250€.
- Análisis crítico: Presentan una excelente integración formal como electrodoméstico, ocultando completamente la infraestructura hidráulica. Sin embargo, la dependencia de consumibles propietarios cerrados (como las cápsulas de semillas) limitan su modularidad. Además, el escaso volumen del depósito provoca fluctuaciones rápidas en parámetros fisicoquímicos, limitando la viabilidad del cultivo a especies de bajo porte (hierbas aromáticas) y obligando a una recarga hídrica de forma frecuente.



Figura 1.12: Sistemas de cultivo hidropónico comercializado por la empresas The Scotts Miracle-Gro Company (izquierda) y Click&Grow (derecha) [26], [27].

B. Sistemas verticales domésticos premium (Smart Gardens)

Dispositivos de alta gama como *Gardyn* o *Rise Gardens* mostrados en la Figura 1.14 y 1.15.

- Características técnicas: Emplean arquitecturas verticales basadas en NFT o híbridos de goteo o con recirculación. Cuentan con depósitos de gran volumen (hasta 30 litros), sensores avanzados para monitorear nivel de agua, temperatura y otros; cámaras integradas y conectividad IoT para poder tener el control de los propios desde aplicaciones móviles. Rondan el rango de precio de entre 600€ y 1500€.
- Análisis crítico: Son sistemas que maximizan la producción por metro cuadrado de espacio usado, justificando el principio de verticalidad propuesto por Benke y Tomkins 2017 [13]. No obstante, su complejidad técnica interna es, claramente, elevada. Aunque el software es a su vez asistente para el usuario, la presencia de múltiples emisores, bombas de alta capacidad y extensos circuitos hidráulicos incrementa de forma

drástica los puntos de fallo potencial y el coste de adquisición, situando al sistema fuera del segmento de mercado de consumo masivo.



Figura 1.13: Sistema de cultivo hidropónico comercializado por la empresa Gardin [28].



Figura 1.14: Sistema de cultivo hidropónico comercializado por la empresa The Rise Garden [29].

C. Kits DIY y sistemas modulares simples (*Prosumer*)

Soluciones de ensamblaje genérico como tuberías NFT de PVC perforadas con anterioridad o cubetas DWC estándar. Se muestran ejemplos de estos sistemas en las figuras 1.16 y 1.17.

- Características técnicas: Son sistemas en crudo. Requieren ensamblaje por parte del usuario, además de la adquisición de bombas por separado y carecen de estructuras de iluminación integradas por defecto. El precio es variable, pero por lo general no supera los 150€.
- Análisis crítico: Desde una perspectiva agronómica, son altamente eficientes y versátiles. No obstante, carecen de cualquier consideración

de diseño industrial o ergonómico. Presentan el cableado visto, depósitos no estancos y generan un ruido mecánico que es perceptible por los usuarios. No están diseñados como objetos domésticos, sino como infraestructura agrícola miniaturizada.



Figura 1.15: Sistema de cultivo hidropónico del tipoNFT comercializado en Amazon [30].



Figura 1.16: Sistema de cultivo hidropónico del tipo DWC comercializado en Amazon [31].

Comparativa

En la siguiente matriz (Tabla 2) se sintetizan las características críticas de cada segmento analizado, en relación con las variables operativas y de integración.

Tabla 2. Matriz de análisis de sistemas hidropónicos domésticos comercializados en función al análisis hecho en el apartado "1.3.3.3.2.". Elaboración propia a partir del análisis de especificaciones técnicas de mercado.

Tipología Técnica Predominante	Volumen/ Producción	Nivel de Automtización	Barrera de Entrada (Coste)	Integración Formal y Estética
DWC / Mecha	Muy Bajo (Aromáticas)	Alta (Luz programada)	Baja (<250€)	Muy Alta (Electrodoméstico)
NFT / Goteo recirculante	Alta (Hortalizas de hoja / fruto)	Muy Alta (IoT, Sensórica)	Muy Alta (>600€)	Alta (Mobiliario técnico)
NFT / DWC	Media – Alta	Baja (Temporizadores externos)	Baja (<150€)	Deficiente (Infraestructura)

Análisis crítico transversal

Tras la evaluación comparativa de la oferta comercial se revelan patrones de diseño que exponen carencias fundamentales en la aproximación al usuario doméstico. Estas son:

1. Simplificación tecnológica frente a narrativa de marketing: La industria de consumo promociona sistemas bajo la premisa de mantenimiento nulo (*zero maintenance*). No obstante, la realidad de la dinámica de fluidos y la biología vegetal requiere rutinas inevitables de higienización y calibración. Los sistemas que ocultan un exceso esta realidad técnica, dificultando con ello el acceso mecánico para la limpieza preventiva de biopelículas (algas y bacterias), transformando el mantenimiento obligatorio en una fuente de frustración por ser una tarea repetitiva y cansada que conduce a la obsolescencia por abandono.
2. Integración formal frente a complejidad interna: Los sistemas que llegan a lograr una adaptación estética exitosa en la vivienda ocultan bombas y cableado. No obstante, esta "caja negra" no elimina la complejidad técnica subyacente. En el caso de fallo de un componente en un sistema altamente integrado (Categoría A y B), la capacidad del usuario para diagnosticar y reparar (derecho a reparar) [32] es prácticamente nula, forzando la situación completa del equipo o la dependencia de un costoso servicio técnico.
3. Relación directamente proporcional entre automatización y coste: Se puede constatar que la mitigación de la carga de trabajo del usuario se resuelve, en la actualidad, mediante la adición de hardware (sensores, placas de red, software predictivo). Esta aproximación incrementa la barrera económica de entrada, convirtiendo la hidroponía de alto rendimiento en un producto de lujo y alejándola de su propósito original de democratización alimentaria urbana, donde escasea el terreno cultivable.
4. Carencia de modularidad abierta: La mayoría de los sistemas de alta integración operan bajo modelos de negocio cautivos (razor and blades model), obligando al usuario a adquirir sustratos, semillas o nutrientes en formatos patentados. Esto limita la versatilidad del dispositivo y penaliza económicamente la operatividad a largo plazo.

Conclusión

Tras el análisis del estado actual del mercado, se demuestra que el diseño de sistemas hidropónicos domésticos se encuentra polarizado. Por un lado, convergen soluciones de simplificación extrema que, si bien son accesibles y estéticamente viables, ofrecen un rendimiento agronómico marginal (jardinería decorativa). Por otro lado, emergen sistemas verticales que garantizan alta producción, pero imponen una severa complejidad técnica, requerimientos de mantenimiento especializado y un coste de adquisición que es excluyente.

Se evidencia, en consecuencia, un vacío funcional en el mercado. No existe actualmente un equilibrio óptimo que logre compatibilizar un rendimiento agrícola relevante con una arquitectura de diseño, simple, robusta, integrad estética y económicamente accesible para el usuario medio. La resolución de esta contradicción técnica, simplificar la operación sin sacrificar la viabilidad biológica ni recurrir a la hiper tecnologización, constituyen el área de oportunidad crítica que justifica y fundamenta el desarrollo del presente proyecto de diseño.

1.3.4. Fundamento técnico y agrónomo de la hidroponía

Pese a parecerlo, la hidroponía no es simplemente “meter una planta en agua”, consiste en una gestión precisa del metabolismo vegetal. Como se ha explicado anteriormente, en la naturaleza, la planta puede llegar a gastar hasta un 30% de su energía expandiendo sus raíces para buscar agua y minerales en el suelo. En hidroponía, se le hace entrega de esos recursos directamente de forma iónica, permitiendo así que la planta invierta esa energía sobrante en crecimiento vegetal y producción de frutos [18].

Se pueden distinguir lo que llamaremos, “los tres pilares” principales de la hidroponía, con los que tras controlarlos los tres, obtendremos el éxito del cultivo. Estos pilares son: el control de la solución nutritiva (agua + química), el clima radicular y la energía lumínica.

1.3.4.1. Parámetros críticos de la solución nutritiva y calidad del agua.

Es el pilar más crítico del sistema, viene a ser la “sangre” del sistema. Si los parámetros de la solución nutritiva fallan, la planta muere o detiene su crecimiento en el mejor de los casos, independientemente de la luz que uses [1].

Los parámetros que se deben controlar en la solución nutritiva son:

El pH (Potencial de Hidrógeno)

El pH se usa para medir la acidez o alcalinidad del agua. El rango ideal para los sistemas hidropónicos está entre 5.5 a 6.5 y de forma completamente ideal para la mayoría de los cultivos un valor clavado entre 5.8 y 6.0.

Este parámetro suele ser bastante importante, principalmente porque actúa como una puerta para los minerales en las raíces. Si el pH sube del tope superior, es decir 6.5, la solución se vuelve alcalina y minerales como el hierro, manganeso y zinc se precipitan (se vuelve sólidos) y la raíz no podrá absorberlos, causando un efecto en la planta llamado clorosis (se identifica por las hojas amarillas en la planta). Por otro lado, si baja del tope mínimo indicado, es decir 5.0, la solución se vuelve ácida y elementos

como el calcio y el magnesio se bloquean, además otras sustancias de la solución se pueden volver tóxicas.

Para el control y gestión de este parámetro se hace a través de ácidos como: ácido fosfórico/nítrico, para bajarlo, o a través de bases como el hidróxido de potasio para subirlo.

La conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica mide la cantidad total de sales (nutrientes) disueltas en el agua. El agua pura (destilada al 100%) no conduce la electricidad; cuantas más sales nutritivas contenga, mayor será la conductividad (CE) de la misma.

La conductividad eléctrica se mide en miliSiemens por centímetro, mS/cm, aunque los medidores domésticos suelen traducirlo a PPM. La conversión de PPM a mS/cm es tan simple como dividir el valor de ppm entre 500 o 700, dependiendo de la escala del medidor utilizado (500 es usado para medidores Hanna/TDS y 700 para medidores Truncheon/Eutech). Para poder tener algún valor de referencia 100ppm equivale a 0.2 mS/cm en la escala de 500.

El control de este parámetro afecta en como absorbe la planta la concentración de sales. Cuando la planta absorbe agua es debido a que la concentración de sales dentro de su raíz es mayor que fuera, este proceso recibe el nombre de ósmosis. Si se añaden más nutrientes en la solución y la EC es muy alta, la ósmosis se invierte, haciendo por tanto que el agua de la planta salga hacia el tanque, generando con esto que la planta se “queme” o deshidrate, pese a estar rodeada de agua[19].

Los rangos para la conductividad se dividen a su vez en tres casos:

- Semillas/esquejes: entre 0.5 – 0.8 mS/cm
- Lechugas y plantas aromáticas (plantas con baja demanda): entre 1.0 – 1.6 mS/cm
- Tomates y pimientos (plantas con una alta demanda): entre 2.0 – 3.5 mS/cm e incluso valores más altos cuando están en fase de frutificación.

Temperatura

El calor puede ocasionar un nuevo problema para los cultivos. A medida que el agua se calienta, su capacidad para poder retener oxígeno disuelto cae drásticamente. Si el agua pasa de 24-25ºC, las raíces se asfixian y son atacadas por un hongo patógeno llamado *Pythium* que ocasiona la pudrición de la raíz, que se vuelve marrón y viscosa[5]. Es por ello que el mejor rango de temperatura para el sistema de cultivo es de entre 18º y 22º C, siempre intentando no llegar al límite anteriormente mencionado para evitar la pudrición de las raíces.

Por otro lado, en el lado opuesto, el frío también llega a causar problemas en los cultivos. Una temperatura inferior a 15ºC ralentiza el metabolismo radicular y la planta deja de absorber fósforo. Se puede comprobar fácilmente porque las hojas toman tonalidades moradas.

Oxígeno Disuelto (DO)

Las raíces de la planta deben respirar, es por eso que en sistemas donde la raíz está sumergida como los sistemas DWC, es prácticamente de obligado cumplimiento inyectar aire con un compresor. En otros sistemas como el NFT o la aeroponía, el oxígeno se capta al estar el agua fluyendo de forma constante en una lámina muy fina o cayendo en forma de gotas.

1.3.4.2. Iluminación artificial y radiación fotosintética activa

La integración de la luz en entornos de interior para nuestro sistema de cultivo hidropónico, prescinde de las métricas fotométricas diseñadas para la percepción visual humana, como pueden ser los Lúmenes o Lux. Para las plantas la luz se traduce en la viabilidad fotosintética que se cuantifica mediante la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) y la integral de luz diaria (DLI, por sus siglas en inglés), estas unidades determinan la cantidad total de fotones útiles que inciden sobre el follaje de la planta, ayudándola a completar la fotosíntesis necesaria para su correcto crecimiento.

Por tanto, para que el desarrollo vegetal sea óptimo en un entorno cerrado, como puede ser el doméstico que es el objeto de estudio de este proyecto, la luminaria deberá diseñarse atendiendo a dos factores críticos: composición espectral y fotoperiocidad.

Composición espectral

La respuesta morfológica de la planta puede variar según la longitud de onda recibida.

El espectro de luz que va de 400 a 500 nm, correspondiente con el color azul, es fundamental para estimular el crecimiento vegetativo, generar plantas compactas y estructuralmente fuertes e inhibir el alargamiento celular desproporcionado (etiolación). Por otro lado, el espectro de luz, correspondiente con la luz roja, es la banda principal de la fotosíntesis y resulta muy crítica para inducir la floración y la maduración de los frutos de la planta[13].

Aunque los paneles que se han estado usando en los sistemas de forma histórica eran leds dicromáticos rojos y azul, generando una luz fucsia, la adaptación al entorno doméstico podrá exigir el uso de leds de espectro completo (Full Spectrum White, 4000K-5000K). Estos diodos pueden lograr un equilibrio entre la eficiencia fotosintética requerida por la planta y el confort visual exigido por el usuario en su espacio habitable.

Foto periodicidad

Este concepto se traduce en el temporizador del sistema que deberá ajustarse a los ciclos circadianos de las especies cultivadas. Las plantas de desarrollo vegetativo, como las lechugas o la albahaca, operan como plantas de “día largo”, siendo especies que requieren entre 14 y 18 horas de exposición lumínica continua para maximizar la asimilación de biomasa. Es por tanto que resulta igualmente crítico asegurar un periodo de oscuridad ininterrumpida, será durante esta fase oscura (fase no fotoquímica) que la planta experimentará una serie de procesos como puede ser la respiración, la

translocación de carbohidratos y realizará procesos metabólicos fundamentales para su supervivencia[1].

1.3.4.3. Criterios de selección de cultivos para entornos domésticos

Como se puede casi que considerar obvio, no todas las especies botánicas son aptas para el cultivo hidropónico, como ya se podría intuir, y esta restricción se agrava severamente bajo las limitaciones de espacio, tiempo y complejidad del ámbito residencial, objeto de estudio del proyecto. Es la selección de las especies objetivo define estructuralmente la escala del dispositivo a diseñar. Se establece por ello la siguiente categorización donde se contempla la viabilidad:

Especies con viabilidad óptima. Hojas y aromáticas

Cultivos como la lechuga, espinaca, rúcula, albahaca, menta o microgreens (microbrotes); representan lo que se puede considerar el estándar ideal para la hidroponía doméstica. Su idoneidad radica en una serie de factores que se exponen a continuación:

- Poseen ciclos de cosecha realmente cortos, se datan de 35-45 días para cosechar.
- No requieren atravesar una fase de floración, lo que facilita el control y la estabilidad de los parámetros para el control del usuario.
- Presentan un porte vertical reducido.
- Demandan una conductividad eléctrica (CE) moderada-baja de entre 1.0 y 1.5 mS/cm.

Debido a ser cultivos con una muy baja masa aérea, son plenamente compatibles con topologías donde la raíz carece de anclaje sólido como pueden ser los sistemas NFT o el DWC.

Especies de alta complejidad. Cultivos de frutos.

En esta clasificación de plantas encontramos especies como el tomate, el pimiento o la fresa que presentan una viabilidad técnica mucho más exigente. Esta exigencia viene dada principalmente por su biología y es que estas plantas atraviesan dos fenofases marcadas: crecimiento vegetativo y floración/fructificación), que obligan a modificar la formulación química de la solución nutritiva a mitad del ciclo de crecimiento. Además, también requieren:

- Altos niveles de radiación (DLI)
- Rangos altos de conductividad eléctrica (CE) de entre 2.5 a 3.5 mS/cm
- Demandan polinización mecánica o por vibración

Es además su estructura de elevada biomasa aérea la que genera fuerzas de vuelco considerables, que exigen al sistema integrar métodos de entutorado o sujeción física para evitar este vuelco.

Especies agronómicamente inviables. Cultivos intensivos, raíz o tubérculos.

Los cultivos extensivos, como cereales, y las hortalizas de raíz o tubérculos: zanahorias, patatas, etc. Quedan descartados del diseño doméstico. Los cultivos de raíz requieren una resistencia mecánica del medio (el suelo en la naturaleza) para desarrollar su morfología característica, su inmersión en circuitos hechos puramente de solución

acuosa (como las tuberías NFT o las balsas DWC) deriva en una inevitable asfixia radicular y pudrición patógena debido a la proliferación de oomicetos (hongos) como el Pythium [18].

En este grupo de especies agronómicamente inviables podemos también añadir cultivos del tipo leñosos.

1.3.4.4. Relación técnica entre topología de cultivo y arquitectura del sistema

Las variables agronómicas que han sido analizadas convergen de forma directa en la toma de decisiones para la ingeniería del producto a desarrollar. La selección de la arquitectura hidráulica no es arbitraria, sino que debe estar supeditada a la naturaleza del cultivo objetivo y a las restricciones de operatividad del usuario al que se dirige.

Se puede hablar de dos requerimientos fundamentalmente:

- Requerimiento estructural: Este requerimiento se basa en la biomasa que es capaz de generar la planta. Si el diseño se orienta a un cultivo de vegetales de hoja y ciclo rápido, las topologías como el NFT o el DWC resultan técnica y económicamente eficientes, ya que el bajo peso de la planta aérea no llega a comprometer en ningún momento la estabilidad física del sistema. Por el contrario, si se pretende que el producto albergue a cultivos de ciclo largo, con una carga de biomasa mucho más alta, es de obligado cumplimiento que se recurran a sistemas de goteo sobre un sustrato inerte (como la lana de roca o la fibra de coco), además de como ya se indicó antes la ayuda de algún tipo de soporte o tutor para la guía de la planta y la sustentación de la misma en su crecimiento aéreo. El sustrato en este caso proporciona el anclaje mecánico indispensable para evitar el colapso estructural de la planta cuando esta madure [19].
- Requerimiento basado en la tolerancia al fallo en el entorno del producto: Dado que el sistema operará en un entorno doméstico, que se caracteriza por la potencial ausencia de personal técnico o altamente cualificado en el tema, posibles cortes de suministro eléctrico y periodos de abandono temporal por parte del usuario (por vacaciones, imprevistos o simplemente olvido), se deben por tanto pensar en el descarte de sistemas de baja inercia hídrica como la aeroponía pura o el NFT de circuito rápido. La arquitectura del sistema debe dar prioridad a la redundancia pasiva, es decir, la adopción de tecnologías como la DWC o un sistema híbrido de volumen que garanticen una reserva hídrica y nutricional que permita la supervivencia del cultivo durante fallos electromecánicos o de imprevistos por parte del usuario no especializado. Son estas topologías de cultivos las que dan una respuesta de diseño más solida y segura para un mercado de consumo.

1.4. Normas y referencias

1.4.1. Disposiciones legales y normativas aplicadas

El presente proyecto se ha desarrollado bajo el estricto cumplimiento del marco normativo europeo y nacional aplicable al diseño, seguridad y comercialización de equipos eléctricos de uso doméstico. A continuación, se detallan las directivas,

reglamentos y normas técnicas que condicionan los requisitos y el desarrollo del sistema hidropónico.

A. Normativa de estructuración y representación técnica

- **Norma UNE 157001:** Criterios generales para la elaboración de proyectos. Adoptada para establecer la arquitectura documental, la trazabilidad técnica y el orden de prelación de los documentos (Memoria, Anexos, Planos, Pliego de Condiciones, Estado de Mediciones y Presupuesto).
- **Reglamento TFG de la Escuela Superior de Ingeniería (Universidad de Cádiz):** Marco académico y reglamentario que rige la presentación, estructura y evaluación del presente Trabajo de Fin de Grado.
- **UNE-EN ISO 5457:** Especificaciones y formatos de presentación de los elementos gráficos en las hojas de dibujo técnico.
- **UNE-EN ISO 7200:** Requisitos para los campos de datos en los bloques de títulos (cajetines) y cabeceras de documentos técnicos.
- **UNE-EN ISO 128:** Principios generales de representación. Define las convenciones para tipos de líneas, cortes, secciones y el uso preceptivo del sistema de proyección del Primer Diedro (Europeo).
- **UNE-EN ISO 129:** Principios generales de acotación, definiendo la disposición de cotas funcionales, auxiliares y de fabricación.

B. Normativa de definición geométrica y tolerancias

- **UNE-EN ISO 2768 (Partes 1 y 2):** Tolerancias generales. Define las clases de tolerancia (ej. clase "m" o "c") para cotas lineales y angulares que no presenten una indicación de tolerancia específica en los planos de fabricación.
- **UNE-EN ISO 1101:** Especificación geométrica de productos (GPS). Establece el lenguaje normativo para las tolerancias de forma, orientación, situación y alabeo (cilindricidad, coaxialidad, planitud y posición) aplicadas en las zonas críticas de ensamblaje.

C. Normativa de seguridad eléctrica y compatibilidad

- **Directiva 2001/95/CE (Seguridad General de los Productos) y Directiva 2014/35/UE (Baja Tensión):** Dado que el módulo hidropónico opera en Muy Baja Tensión de Seguridad (5V DC vía interfaz USB), el equipo en sí está regulado por la Seguridad General. No obstante, la Directiva de Baja Tensión es de obligado cumplimiento para la fuente de alimentación externa (adaptador a 230V AC) empleada por el usuario. Al clasificarse como electrodoméstico, queda excluido del Reglamento (UE) 2023/1230 (Máquinas).
- **Directiva 2014/30/UE (Compatibilidad Electromagnética - CEM):** Exigida para garantizar que el funcionamiento del componente electromecánico (microbomba de aire) no introduzca perturbaciones electromagnéticas intolerables para otros equipos del entorno doméstico, y posea la inmunidad adecuada frente a perturbaciones externas.

- **Norma UNE-EN 60529 (Grados de protección IP):** Define el sistema de clasificación IP para la protección de las envolventes contra la penetración de objetos sólidos y líquidos (para tensiones menores a 72.5 kV). El sistema se ha diseñado bajo los límites de esta norma para un uso clasificado, restringiendo su exposición directa a precipitación.

D. Normativa medioambiental, de materiales y salud humana

- **Directiva 2011/65/UE (RoHS):** Restringe el uso de sustancias peligrosas (plomo, mercurio, cadmio, cromo hexavalente) en la fabricación de componentes eléctricos. Su cumplimiento es crítico para prevenir la lixiviación de metales pesados hacia la solución nutritiva, asegurando la inocuidad para cultivos destinados al consumo.
- **Reglamento (CE) nº 1907/2006 (REACH):** Relativo al registro, evaluación y restricción de sustancias químicas. Certifica que los polímeros (ASA), resinas (Jesmonite) y adhesivos empleados en la envolvente y circuitos hidráulicos no suponen un riesgo toxicológico.
- **Directiva 2009/125/CE (Ecodiseño):** Establece el marco para la integración de criterios de eficiencia energética (consumo de la bomba y luminaria LED) y reducción del impacto ambiental en el ciclo de vida del producto.
- **Directiva 2012/19/UE (RAEE):** Regula las obligaciones de recogida, reciclaje y eliminación responsable de la bomba, placas LED y cableado al final de su vida útil.

E. Normativa de comercialización

- **Reglamento (CE) nº 765/2008:** Establece el marco común de acreditación y vigilancia del mercado en la UE. Define la obligatoriedad de exhibir el marcado CE, certificando que el producto final cumple con toda la legislación comunitaria de armonización aplicable.

1.4.2. Software utilizado

1.4.2.1. Software de Diseño Asistido por Ordenador

Solidworks: con este software se llevó a cabo el modelado tridimensional (CAD). Definición geométrica precisa de todas las piezas, tolerancias de ensamblaje (interfaz de bayoneta) y relaciones espaciales entre los componentes electromecánicos y las envolventes.

1.4.2.2. Software de Diseño Visual y Renderizado

Para la validación estética del producto, la interacción de la luz sobre los materiales, texturas y la presentación del producto en su entorno de uso previsto, se han empleado herramientas de diseño gráfico y renderizado:

- Blender (GNU GPL): Empleado para la generación de renderizados fotorrealistas. Se han configurado nodos de materiales físicamente correctos (PBR) para simular con precisión el índice de refracción del depósito de vidrio,

la rugosidad del sellador acrílico sobre la resina Jesmonite y la opacidad del módulo técnico de ASA.

- Adobe Photoshop: Utilizado en la fase de postproducción para la corrección colorimétrica, el ajuste de niveles de contraste y la integración final de los renderizados tridimensionales en fotografías de entornos arquitectónicos y domésticos reales, permitiendo evaluar la escala ergonómica y el impacto visual del sistema en escenarios de interior y terrazas semi-cubiertas.

1.4.3. Plan de gestión de la calidad aplicado durante la redacción del Proyecto

El aseguramiento de la calidad durante la fase de redacción e ingeniería de este proyecto no se ha fundamentado en la implantación de un Sistema de Gestión corporativo, sino en la aplicación rigurosa de protocolos internos de control documental y verificación, garantizando la exigencia metodológica de la norma UNE 157001. Las directrices de calidad aplicadas son las siguientes:

- **Control de Configuración y Versiones:** Se ha establecido un sistema de control de revisiones para todos los archivos generados (modelos 3D, planos 2D y documentos de texto). Esto asegura que los cambios técnicos de fase avanzada (como puede ser la transición de polímeros ABS a ASA) se propaguen sistemáticamente a todos los archivos, mitigando el riesgo de coexistencia de versiones obsoletas.
- **Estandarización y Nomenclatura Uniforme:** Se ha aplicado una designación de componentes y materiales. La nomenclatura técnica definida actúa como registro, coincidiendo la Lista de Materiale (BOM) de los planos y las especificaciones del Pliego de Condiciones.
- **Auditoría de Verificación Cruzada:** Previo al cierre y consolidación del proyecto, se ha ejecutado una revisión cruzada entre los documentos vinculantes. Se ha verificado que toda especificación geométrica o requerimiento de instalación indicado en los Planos está respaldado normativamente en el Pliego y económicamente cuantificado en el Presupuesto.
- **Trazabilidad de Requisitos:** Se ha garantizado la trazabilidad absoluta entre los requisitos de diseño definidos en la fase conceptual, las soluciones de ingeniería adoptadas y los resultados plasmados en la documentación final. Cada restricción impuesta (estanqueidad, resistencia UV, ergonomía acústica) encuentra su correspondiente justificación y resolución técnica en el proyecto.

1.4.4. Bibliografía

[1] Keith. Roberto, *How-to hydroponics: 4th edition*, 4th ed. The Futuregarden Press, 2003. Accedido: 27 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://books.google.com/books/about/How_to_Hydroponics.html?hl=es&id=e5xLkJLTMygC

[2] «De las siete maravillas del mundo antiguo, hay una que no sabemos dónde está. Eso la convierte en la más fascinante de todas». Accedido: 14

de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.xataka.com/magnet/siete-maravillas-mundo-antiguo-hay-que-no-hemos-encontrado-eso-convierte-fascinante-babilonia

[3] «Chinampas: eco-tecnología azteca de vanguardia. - Ciencia Histórica». Accedido: 14 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.cienciahistorica.com/2017/05/26/chinampas-eco-tecnologia-azteca/

[4] E. De Fertirrigación, C. De, F. Automáticos, Y. Rotativos, y E. Y. Accesorios, «LINEA DE PRODUCTOS PARA CULTIVOS SIN SUELO».

[5] D. Savvas y N. Gruda, «Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry - A review», *Eur. J. Hortic. Sci.*, vol. 83, n.º 5, pp. 280-293, oct. 2018, doi: 10.17660/eJHS.2018/83.5.2.

[6] «Afepasa». Accedido: 14 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.afepasa.com/actualidad/suelo-en-equilibrio-la-relacin-entre-ph-salinidad-y-la-salud-de-los-cultivos

[7] «“El cultivo hidropónico es una opción idónea para hacer rentable el minifundio” - Campo Galego». Accedido: 14 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.campogalego.es/el-cultivo-hidroponico-es-una-opcion-idonea-para-hacer-rentable-el-minifundio/

[8] «Sistema DWC Casero: La Guía Definitiva en 8 Pasos (2026) - CultivoTech». Accedido: 14 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://cultivotech.com/sistema-dwc-casero-guia-completa/

[9] D. A. . Norman, *Norman, D. A.,2013, The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition, trang 10-35 (đây là phân đoạn Chương 1 nói về các nguyên lý cơ bản như Affordances và Signifiers thường được dùng để tham khảo cho việc thiết kế giao diện HMI), New York (Trụ*. New York: Basic Books, A Member of the Perseus Books Group, 2013. Accedido: 27 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://books.google.com/books/about/The_Design_of_Everyday_Things.html?hl=es&id=I1o4DgAAQBAJ

[10] «Cómo construir un sistema de hidroponía NFT casero - PortalFruticola.com». Accedido: 14 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.portalfruticola.com/noticias/2020/12/02/como-construir-un-sistema-de-hidroponia-nft-casero/

[11] K. Specht, R. Siebert, y S. Thomaier, «Perception and acceptance of agricultural production in and on urban buildings (ZFarming): a qualitative study from Berlin, Germany», *Agric. Human Values*, vol. 33, n.º 4, pp. 753-769, dic. 2016, doi: 10.1007/s10460-015-9658-z.

[12] A. Zezza y L. Tasciotti, «Urban agriculture, poverty, and food security: Empirical evidence from a sample of developing countries», *Food Policy*, vol. 35, n.º 4, pp. 265-273, ago. 2010, doi: 10.1016/j.foodpol.2010.04.007.

[13] K. Benke y B. Tomkins, «Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture», *Sustainability: Science, Practice and Policy*, vol. 13, n.º 1, pp. 13-26, ene. 2017, doi: 10.1080/15487733.2017.1394054.

[14] International Organization for Standardization (ISO), «UNE-EN ISO 9241-210:2019 (Ratificada) Ergonomía de la interacc...» Accedido: 27 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0062677

[15] K. Ulrich, S. D. Eppinger, y M. C. Yang, *Product Architecture - Product Design and Development chap 10*, 7th ed. McGraw-Hill Education, 2020.

[16] European Commission, «Safety Gate: the EU rapid alert system for dangerous non-food products». Accedido: 10 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://ec.europa.eu/safety-gate/#/screen/pages/productSafetyLegislation

[17] Gerhard. Pahl y Wolfgang. Beitz, *Engineering Design : A Systematic Approach de Pomerans, Arnold J.: Very Good (1988) | Better World Books Ltd*. Springer-Verlag, 1998. Accedido: 27 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.iberlibro.com/Engineering-Design-Systematic-Approach-Pomerans-Arnold/32312605189/bd

[18] H. M. . Resh, *Cultivos hidropónicos*, 5th ed. Santa Bárbara, California: Ediciones Mundi-Prensa, 2001. Accedido: 27 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.casadellibro.com/libro-cultivos-hidroponicos-5-ed-suelo-para-tecnicos-y-agricultores-profesionales-asi-como-para-los/9788484760054/796153

[19] A. F. Abou Hadid, «Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops: Principles for Mediterranean Climate Areas», *Fao*, pp. 137-148, 2013.

[20] «Los 7 mejores sistemas de cultivo hidropónico: guía de compra y reseñas - VEVOR Blog». Accedido: 14 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.vevor.com/es/diy-ideas/hydroponic-grow-system-b_10141/?srsltid=AfmBOopH4Btq63cWTM2kpr2kolPpdchctNu4EYCZXjI_Cht2xJT0LIp9

[21] K. Specht *et al.*, «Urban agriculture of the future: An overview of sustainability aspects of food production in and on buildings», *Agric. Human Values*, vol. 31, n.º 1, pp. 33-51, mar. 2014, doi: 10.1007/s10460-013-9448-4.

[22] D. H. Básico, «MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA Protección frente al ruido Con comentarios del MITMA».

[23] «EN 60529 Clases IP». Accedido: 4 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.interelectronix.com/es/clases-de-proteccion-ip-en-60529.html

[24] FAO; Rikolto; RUAF, «Urban and peri-urban agriculture sourcebook», *Urban and peri-urban agriculture sourcebook*, jun. 2022, doi: 10.4060/cb9722en.

[25] Grand View Research, «Indoor Farming Market Size & Share | Industry Report, 2033». Accedido: 25 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/indoor-farming-market

[26] «Harvest Lite | ScottsMiracle-Gro US». Accedido: 23 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://scottsmiraclegro.com/en-us/brands/aerogarden/products/gardens/aerogarden-harvest-2.0/901200-1210.html

[27] «The Ultimate Smart Indoor Garden | Click & Grow – Click & Grow EU». Accedido: 23 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://eu.clickandgrow.com/products/the-smart-garden-3

[28] «Gardyn Home 4 | Smart Indoor Hydroponic Garden». Accedido: 23 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://mygardyn.com/product/gardyn-home-kit/

[29] «The Rise Garden Loft | Smart Compact Indoor Hydroponic Garden System For Any Space». Accedido: 23 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://risegardens.com/products/the-rise-loft

[30] «KEESUNG Kits de Cultivo hidropónico, 108 sitios de Plantas de 3 Capas, construcción Vertical, Plantas Vegetales, hidroponía, jardín, terraza, Juegos de Cultivo hidropónico, para Verduras: Amazon.es: Jardín». Accedido: 23 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.amazon.es/dp/B0CKPR4LZW/ref=sspa_dk_hqp_detail_aax_0?psc=1&aref=jiLUQwrGCf&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9ocXBfc2hhcmVk

[31] «SPIDER FARMER DWC Sistema de Cultivo Hidropónico con 27 litros/7 Galones de Agua Profunda de Cultura, Nuevo Diseño de Cubierta Triangular, Bomba de Aire de 8W, 2 Cubos: Amazon.es: Jardín». Accedido: 23 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.amazon.es/SPIDER-FARMER-Hidrop%C3%B3nico-Profunda-Triangular/dp/B0DFW14B6T/ref=sr_1_4?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=OTFQ00IZDI0&dib=eyJ2IjoiMSJ9.RdW4_wpDSP2R7FC3zYVABz8EDdNVd2l-EExDIPt9Nx1bx9L9kxDNyD9THp8zJM4QVY7RSUmz7_3KLrovtRqHD3ASmHm8591_K9vSZ7MYITFo7xvykS4XG3S8duCgt00DirPobDFSZhRoBGk3GcD443xSQSb6UWAejktqIa_7_7k6CAPkpzrjXChWwS5UwJwaBKXO0

ukOPSsY1bLEX9HlDnJGHXLYy-jk9jf1t6H60CfrnO1BowaeBNKbrF633v0inzixus5vzC9tMY_PATgN7OKooSQnpeaf0fPLdbEzUg8.cbVRJgL7R3nahDHx3gO3SnfR4y47KcWzoIvhlhIzUnM&dib_tag=se&keywords=hidroponia%2Bdwc&qid=1774265810&s=lawn-garden&sprefix=hidrop%C3%B3nia%2Bdw%2Clawngarden%2C237&sr=1-4&th=1

[32] «Derecho a reparar: reparaciones más fáciles y atractivas para los consumidores | Noticias | Parlamento Europeo». Accedido: 25 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.europarl.europa.eu/news/es/press-room/20240419IPR20590/derecho-a-reparar-reparaciones-mas-faciles-y-atractivas-para-los-consumidores

[33] T. Peng *et al.*, «Digital Twins as Funhouse Mirrors: Five Key Distortions», sep. 2025, Accedido: 11 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/pdf/2509.19088

[34] J. S. Park *et al.*, «LLM Agents Grounded in Self-Reports Enable General-Purpose Simulation of Individuals», nov. 2024, Accedido: 11 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://arxiv.org/pdf/2411.10109

[35] «ABS vs ASA: ¿Qué plástico es mejor para aplicaciones en exteriores? Resistencias UV ASA vs ABS - Alpine Mold». Accedido: 15 de agosto de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.alpine-mold.com/es/abs-vs-asa-which-plastic-is-better-for-outdoor-applications.html

1.5. Definiciones y abreviaturas

Con el objetivo de garantizar la interpretación unívoca del texto y evitar ambigüedades técnicas, se detallan a continuación las definiciones, acrónimos y abreviaturas empleados de forma recurrente a lo largo de los documentos que componen el presente proyecto.

CEA.: Agricultura en Ambiente Controlado.

FAO.: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

DIY.: Do It Yourself, Hazlo Tú Mismo.

PAR.: Radiación Fotosintéticamente Activa.

DLI.: Daily Light Integral. Integral de Luz Diaria.

CE.: Conductividad Eléctrica.

IA: Inteligencia Artificial.

LLM: Modelos de Lenguaje de Gran Tamaño.

RLHF: Aprendizaje por Refuerzo a partir de la Retroalimentación Humana.

1.6. Metodología

Para garantizar el rigor, la trazabilidad documental y la justificación técnica en el desarrollo del sistema hidropónico, se establece una metodología de diseño iterativa y centrada en el usuario, apoyada en técnicas de triangulación de datos. La secuencia de actuación, esquematizada en la **Figura 1.17**, estructura el proceso proyectual en las siguientes fases consecutivas y lógicamente dependientes:

- **Definición del contexto y cribado de la tecnológica preliminar.** A partir del análisis tecnológico previo, se definen los perfiles de usuario potencial. Las capacidades y limitaciones de dichos perfiles se cruzan analíticamente con las exigencias operativas de las distintas tipologías hidropónicas, permitiendo descartar sistemas incompatibles con el entorno doméstico.
- **Investigación empírica y validación sintética.** Se ejecuta un trabajo de campo con la realización de encuestas a usuarios reales para identificar las fricciones y puntos críticos de la hidroponía. Los datos primarios obtenidos se emplean como base empírica para la generación y calibración de un panel predictivo de Usuarios Sintéticos (mediante Inteligencia Artificial LLM), demostrando y validando previamente su fiabilidad frente a la muestra real.
- **Parametrización de los Requisitos de Diseño.** Consiste en la síntesis objetiva de las necesidades de los usuarios (reales y sintéticos), el marco normativo vigente y las restricciones técnicas, transformándolas en directrices de diseño medibles y estructuradas por categorías funcionales.
- **Divergencia conceptual y decisión multicriterio.** A partir de los requisitos establecidos, se generan alternativas conceptuales. Estas propuestas se evalúan matemáticamente mediante una matriz de decisión ponderada, cruzando el desempeño morfológico y técnico de cada concepto frente a las familias de requisitos.
- **Validación iterativa de la solución.** El concepto ganador derivado de la matriz se somete a una última fase de escrutinio frente a la cohorte de usuarios sintéticos. Este test de estrés permite detectar fallos ciegos, aprobar la arquitectura general o forzar modificaciones paramétricas antes de consolidar la fase de ingeniería de detalle.

Esta arquitectura metodológica asegura que todas las decisiones morfológicas y operativas del producto respondan a datos empíricos y predictivos verificables, eliminando la arbitrariedad geométrica y funcional en el diseño del producto final.

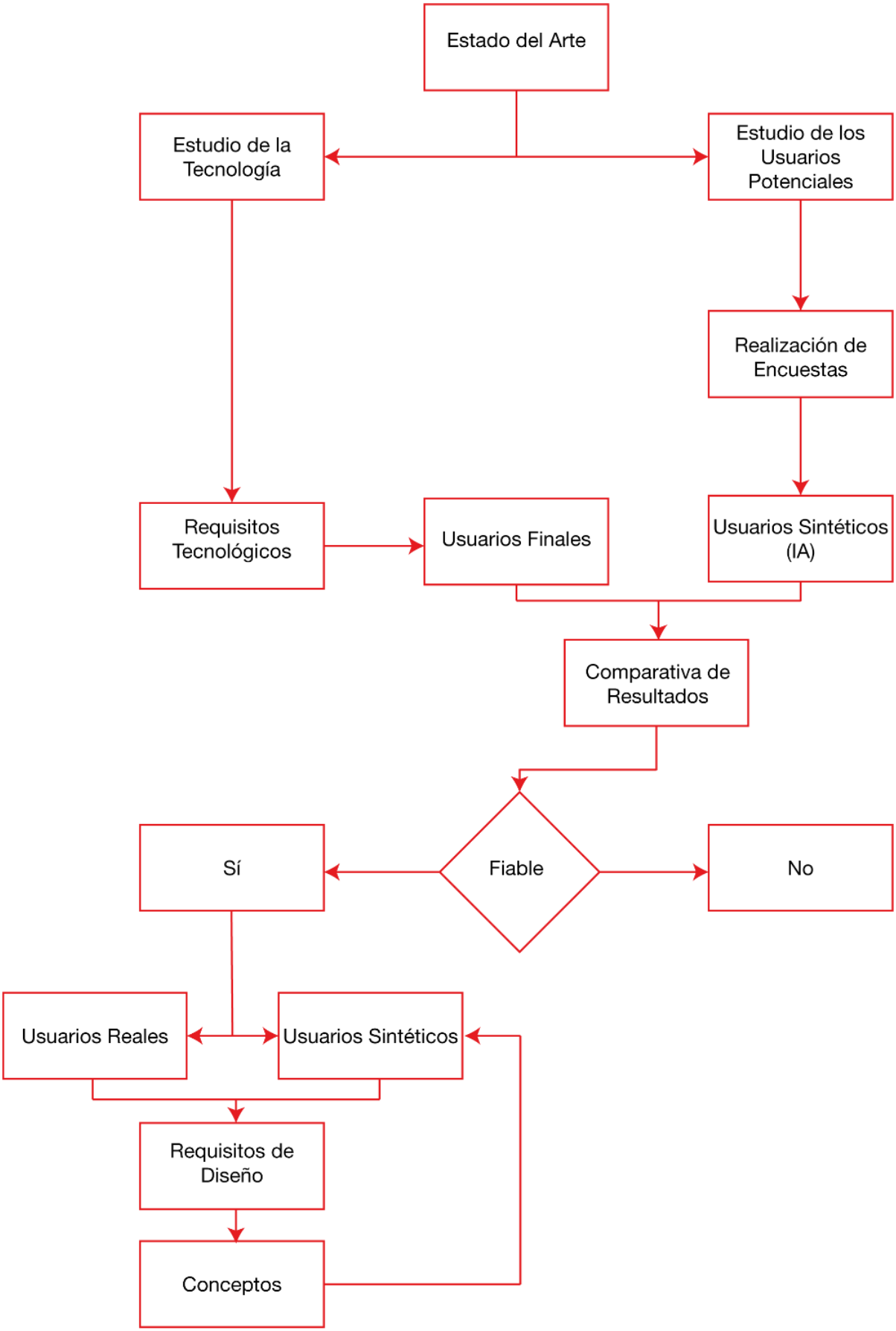


Figura. 1.17: Esquema metodológico. [Elaboración propia]

1.7. Usuario y mercado potencial

En este punto del proyecto se identificarán a los potenciales usuarios del producto que se diseña, es por tanto que primero se van a definir los perfiles de los distintos usuarios y con ello se hará un estudio de estos para revelar los requisitos funcionales, estéticos, espaciales, de seguridad, mantenimiento, etc. Con el fin de adecuar el producto a las exigencias de los usuarios de forma que el producto se adapte además de a un nicho de mercado a unos usuarios reales que comprasen el producto, motivando así la adquisición de este.

1.7.1. Definición de perfiles de usuario.

Para poder garantizar la coherencia del diseño y evitar la dilución de los requisitos técnicos, se ha segmentado el mercado en perfiles principales, que son los usuarios finales directos en el ámbito doméstico) y perfiles secundarios, son los usuarios profesionales o prescriptores que operan en escalas asimilables a la doméstica).

1.7.1.1. Perfil primario: Autocultivador doméstico

Es un arquetipo de usuario que representa el comprador principal del objeto que se pretende diseñar, determina los requisitos de usabilidad, seguridad y viabilidad económica del producto.

El usuario vive en un piso de dimensiones reducidas (unos 60-90m^2), en un denso núcleo urbano, sin acceso a suelo cultivable como podría ser un jardín o una terraza de buenas dimensiones. Tiene un tiempo libre limitado también por su jornada laboral y no posee un nivel de conocimientos técnicos en materia agronómica.

Está en la búsqueda de tener autonomía alimentaria a una escala reducida como hierbas, pequeños frutos. Empieza por tanto a desarrollar una conciencia ecológica y de sostenibilidad, reduce su huella de carbono, además, rechaza el uso desmedido de plásticos. Tiene curiosidad por nuevas tecnologías domésticas que ayuden y sigan la filosofía de vida que empieza a tener. Puede llegar a tener frustración porque sus anteriores plantas se marchitaron por falta de riego. Tiene miedo de que le ocurra lo mismo o de que el sistema requiera mucho conocimiento técnico, por lo que prefiere un sistema más bien pasivo y que solo le requiera atención cuando sea estrictamente necesaria.

Muestra rechazo al desorden visual en su espacio de descanso.

1.7.1.2. Perfil secundario: Usuario doméstico hobby-estético.

Para este usuario a diferencia de usuario anteriormente expuesto, el sistema hidropónico no es una herramienta de producción agrícola, sino una pieza de mobiliario vivo y tecnológico.

Es un residente urbano con interés por el diseño de interiores, el interiorismo y las tendencias de estilo de vida. Posee algunas plantas decorativas tradicionales, pero carece de formación técnica sobre agricultura o sobre química del agua. Es una persona a la que le interesa el cultivo de plantas en su tiempo libre de una forma básica. Busca una decoración viva y dinámica que actúe como elemento focal o escenográfico en su hogar. Le gusta la satisfacción psicológica derivada del cuidado de un ser vivo (las

plantas), combinada con una curiosidad tecnológica ligera frente a los dispositivos *Smart home*. Le da igual o no muestra interés por la optimización de la producción. Rechaza frontalmente la necesidad de realizar mediciones constantes sobre los parámetros, los malos olores no le gustan al igual que tampoco le atrae el aspecto de "laboratorio" o "industrial". No quiere que mangueras y elementos técnicos invadan su espacio de confort y descanso, tampoco ruidos mecánicos. Quiere un objeto de diseño que le dé un añadido a su decoración y a la vez produzca material vegetal y cultivos. Quiere simplicidad absoluta en la operativa y una alta tolerancia a abandono temporal por viajes o vacaciones.

1.7.1.3. Perfil secundario: Chef de restaurante

Es un usuario propietario o chef de un restaurante urbano, de pequeño o medio tamaño, enfocado en la cocina de autor basada en la gastronomía sostenible. Quiere colocar uno de estos sistemas hidropónicos en la sala de los comensales o en una barra a la vista de todos. Lo que lo lleva a querer el sistema es disponer de ingredientes frescos como: microbrotes, flores comestibles o plantas aromáticas raras, las usará para el emplatado final. Quiere usar el sistema como marketing visual que comunique innovación, frescura y compromiso ecológico. No sabe si el producto podrá caber en sus instalaciones.

No quiere perder el tiempo en mantenimientos complejos o en contratar gente que mantenga las plantas. Le interesa un rendimiento constante con gran facilidad de cosecha directa. Le gustaría obtener una estética premium o acorde a lo que es su restaurante. Una iluminación (en caso de que sea necesaria) que resalte a la planta pero que no sea molesta para comer en el restaurante.

1.7.1.4. Perfil Experto: Decorador de interiores / Arquitecto de interiores

Es un perfil que no operará el sistema, pero lo validará estéticamente, algo que es determinante para la inclusión del producto en proyectos de diseño de interiores o reformas.

Este profesional del diseño le gusta o le interesa el mundo de la arquitectura efímera o escaparatismo. Gestiona proyectos residenciales y comerciales. Introduce elementos de diseño biofílico en sus proyectos de forma que de la sensación de aumentar el bienestar espacial del cliente. Busca piezas de mobiliario que tengan la combinación entre la tecnología y la función.

Normalmente los sistemas hidropónicos tradicionales rompen la armonía visual del diseño por lo que busca algo más diferente sin el uso de plásticos de baja calidad y sin una emisión de luz agresiva. En busca de la elegancia formal, neutralidad cromática y la modularidad para adaptarse a diferentes espacios y geometrías. Busca una muy buena calidad en los acabados finales y un lenguaje formal que se asemeje al de mobiliario contemporáneo.

1.7.2. Alineación tecnológica según perfil de usuario

La viabilidad comercial y operativa de un sistema hidropónico no depende exclusivamente de su eficiencia agronómica, sino de su correcta alineación con las capacidades, expectativas y el entorno del usuario final. Tras la caracterización de las

topologías hidráulica (Apartado 1.3.3.1) y la definición de los arquetipos de usuario (Apartado 1.6.1), se realiza un análisis de adecuación para determinar qué arquitecturas técnicas resultan más pertinentes para cada segmento del mercado.

1.7.2.1. Sistema de mecha

Al operar mediante capilaridad, prescinde totalmente de bombas electromecánicas. Esta naturaleza pasiva le confiere una fricción operativa casi nula, eliminando por completo la emisión de ruido y reduciendo el mantenimiento a la simple reposición del reservorio. Por sus características, esta topología encaja de manera más que correcta con el usuario doméstico hobby-estético y el usuario de interiorismo. Estos perfiles priorizan la experiencia visual, la integración formal y el silencio absoluto por encima de la productividad. No obstante, su severa limitación en el rendimiento agronómico lo hace completamente incompatible con usuarios orientados a la producción, como el chef de restaurante o el auto cultivador.

1.7.2.2. Sistema de Raíz flotante

O sistema DWC (Deep Water Culture) por sus siglas en inglés, sube el escalón hacia el rendimiento agrícola funcional. Requiere en la mayoría de casos oxigenar de manera forzada mediante una bomba de aire, introduce un nivel básico de control técnico, pero a cambio ofrece una producción estable y una alta resiliencia ante fallos hídricos. Este sistema se alinea con los perfiles de: auto cultivador y hobby, quienes realmente están buscando cultivar alimentos reales y aceptan un compromiso de supervisión en su rutina diaria. Además de con el perfil experto ya que es sencillamente adaptable a diferentes morfologías y líneas estéticas. Sin embargo, la intrusión acústica del compresor y la posible visibilidad de ciertos componentes técnicos lo pueden llegar a alejar de un decorador puro o del usuario estrictamente estético, limitando su potencial como objeto ornamental pasivo.

1.7.2.3. Sistema de goteo

Este sistema ofrece un control nutricional altamente preciso y una productividad bastante elevada, sus características lo posicionan como la herramienta ideal para el chef de restaurante o el auto cultivador. Estos perfiles pueden entender el cultivo como una herramienta productiva y, por tanto, pueden llegar a tolerar el mantenimiento frecuente (limpieza de emisores, calibración)

1.7.2.4. Sistema Nutrient Film Technique

Este sistema también conocido por su abreviatura: NFT, eleva aún más la eficiencia hídrica, pero introduce una dependencia energética que es crítica y una bajísima tolerancia al fallo. Esta vulnerabilidad restringe su viabilidad a usuarios técnicos avanzados y contextos semiprofesionales con una muy buena disciplina diaria para el mantenimiento, resultando inviable para los usuarios que se han contemplado.

1.7.2.5. Aeroponía

Es el máximo exponente de la eficiencia vegetal, pero conlleva la máxima complejidad de ingeniería del sector con elementos y condiciones técnicas muy avanzadas (alta presión, nebulización, control electrónico de ciclo corto). Tiene una sensibilidad extrema ante fallos técnicos y su elevado coste de implementación relegan esta tecnología al ámbito de la investigación, la innovación tecnológica o el cultivo

especializado. Queda, por tanto, categóricamente excluida del mercado doméstico general, ya que su carga de mantenimiento y su fragilidad técnica generarían un rechazo inmediato en usuarios principiantes o estéticos.

1.7.2.6. Sistemas mixtos o híbridos

Con el análisis individual de las topologías puras se revela que la topología más adecuada es la de raíz flotante, cumpliendo con los requerimientos de alta integración (propios del usuario estético) y un rendimiento aceptable (demandados por el auto cultivador y la restauración). Si por el contrario el usuario demandase un mayor rendimiento, sería justo en este vacío donde la arquitectura de los sistemas híbridos emerge como la solución de compromiso óptima.

Uno de estos sistemas consta de combinar la seguridad pasiva y la inercia hídrica, que nos proporcionan los sistemas de volumen (como el DWC), con la estimulación activa de las topologías de recirculación (como el goteo), el sistema híbrido logra equilibrar un mayor rendimiento biológico con la usabilidad. Esta combinación tiene el inconveniente de que el sistema de goteo necesita un tipo de bomba de mayores dimensiones y, por tanto, el sistema final sería a su vez de un tamaño mayor, dificultando en parte la adaptabilidad estética requerida por el segmento doméstico premium y el interiorismo, pese a que asegura la robustez productiva necesaria para el auto cultivador doméstico y la restauración. Se concluye, por tanto, que la hibridación técnica constituye una solución muy práctica a la hora de satisfaces a un usuario que necesite un mayor rendimiento con respecto a otros sistemas, además de mayor estabilidad del sistema frente a fallos humanos o técnicos.

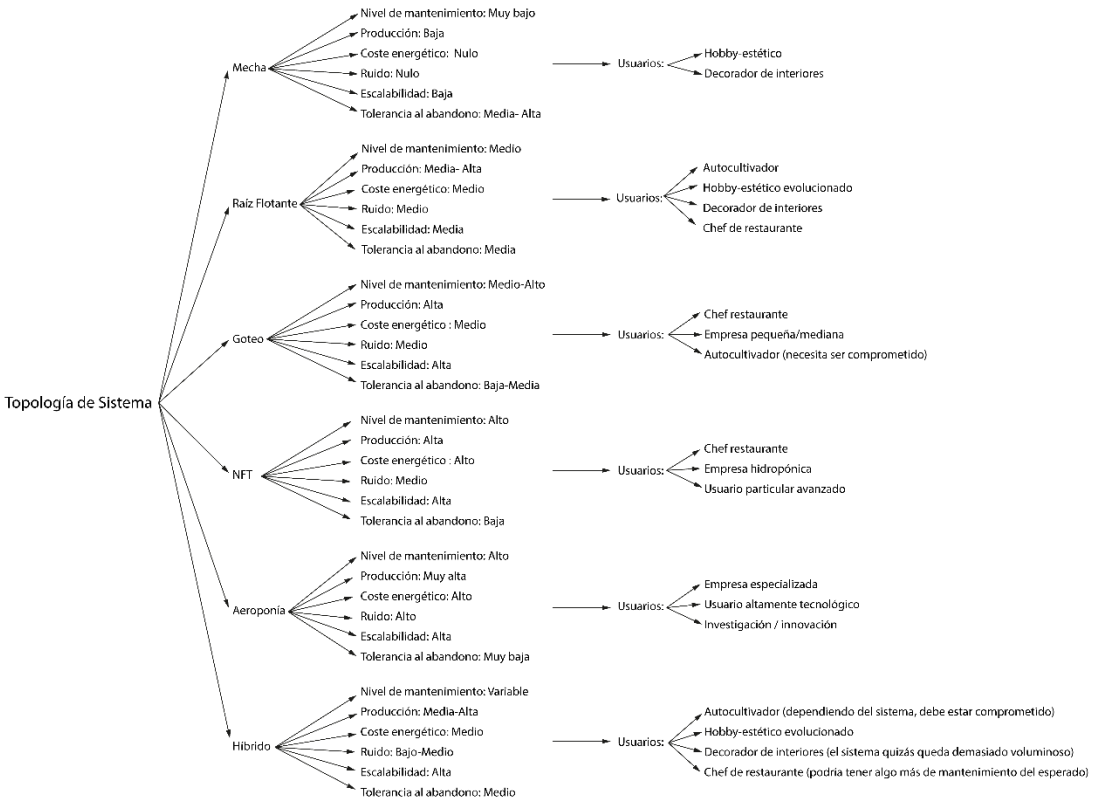


Figura. 1.18: Esquema tecnológico comparativo entre sistemas. Adaptado de [[1], [5] y [18]].

1.7.2.7. Selección de usuarios

Tras evaluar las interacciones entre los perfiles analizados y las restricciones de las topologías hidropónicas, se establecen las siguientes conclusiones estratégicas para el desarrollo del proyecto:

1. Focalización en el sector doméstico privado: Se determina que el núcleo del proyecto debe dar respuesta prioritaria a los perfiles residenciales (Autocultivador consciente y Usuario hobby-estético). La convergencia de sus necesidades define un producto de escala compacta, silencioso, seguro y con una autonomía mínima de varios días.

2. El interiorista como validador formal: Se adopta el perfil del diseñador de interiores como la métrica de calidad estética. Aunque no sea el usuario operativo, el diseño formal, la materialidad y el espectro lumínico (que deberá ser lo más cercano al espectro completo) se supeditarán a sus exigencias de integración arquitectónica para asegurar la competitividad del objeto en el mercado actual.

3. Descarte del perfil de restauración (Chef de cocina): Tras un análisis crítico de la dinámica del sector hostelero, se determina excluir formalmente al Chef de restaurante como usuario objetivo del sistema. Los motivos técnicos y estratégicos para este descarte son:

    - Desalineación de interés operativo: La prioridad de este perfil radica estrictamente en la adquisición *y* disponibilidad de materias primas de primera calidad y frescura para el servicio gastronómico, no en el proceso ni en la experiencia del cultivo en sí misma.

    - Fricción por mantenimiento en entornos profesionales: El personal de sala o de cocina cuenta con flujos de trabajo hiper-optimizados donde las tareas de mantenimiento agronómico (limpieza de algas, calibración de soluciones, control de plagas) representan una pérdida de eficiencia operativa y de tiempo.

    - Restricciones de escala y volumen: Las necesidades de un restaurante, incluso a pequeña escala, tienden rápidamente hacia volúmenes de biomasa de carácter agrícola comercial. Intentar satisfacer estas demandas de volumen desvirtuaría las limitaciones espaciales y de consumo energético requeridas para el entorno doméstico residencial, introduciendo contradicciones insolubles en el pliego de condiciones técnicas del producto.

4. Selección de la arquitectura de raíz flotante: Como consecuencia de la selección de los perfiles domésticos y el rechazo a la complejidad industrial, el proyecto adoptará una arquitectura de raíz flotante o sistema DWC como la vía para resolver el conflicto de diseño entre rendimiento biológico y usabilidad estética, sentando las bases para el desarrollo geométrico y mecánico del dispositivo en los puntos posteriores.

1.7.3. Metodología empleada

La formulación y validación de los requisitos del sistema hidropónico doméstico se articula mediante un diseño metodológico de carácter híbrido y de métodos mixtos. Esta estructura secuencial integra una evaluación cualitativa preliminar, ejecutada a través de un panel de expertos, seguida de una fase de recolección de datos y simulación. Dicha aproximación metodológica garantiza una captura rigurosa de las necesidades operativas, ergonómicas y estéticas del producto.

En la fase de recolección de datos y simulación, se establece un contraste directo entre la recolección de datos primarios, procedentes de usuarios finales reales, y la simulación predictiva generada a través de Inteligencia Artificial. La hibridación de estos conjuntos de datos permite anticipar fricciones de usabilidad y consolidar la toma de decisiones en etapas de desarrollo, optimizando la viabilidad técnica y reduciendo los costes asociados a iteraciones repetitivas.

1.7.3.1. Fase empírica: Muestra de usuarios finales reales

La recolección de datos empíricos primarios se instrumentó mediante las encuestas estructuradas dirigidas a una muestra representativa del mercado potencial del sistema hidropónico. Se consolidó una cohorte final de n=69 usuarios, configurando el estrato de usuarios comunes. Este instrumento metodológico fue diseñado específicamente para extraer patrones de interacción, niveles de pericia técnica y prioridades de integración doméstica, estableciendo así la línea base empírica de la investigación.

Por otro lado, también se recogieron datos de los usuarios que se corresponden con el perfil experto y perfil secundario, llegando a tener un número total de encuestados de n=16, entre los que se encontraban perfiles de interioristas de distintos estilos de decoración, chef de cocina, además de algunos ingenieros en diseño.

La totalidad de los datos crudos resultantes, así como su correspondiente tabulación y análisis estadístico descriptivo, se encuentran debidamente referenciados en el Anexo 2.1 de la presente memoria y serán expuestos en el apartado de conclusiones.

1.7.3.2. Fase de simulación: Generación de Usuarios Sintéticos mediante Inteligencia Artificial

Para dotar de mayor alcance a la validación predictiva de usabilidad, se procedió a la generación de una cohorte ampliada de n=73 Usuarios Sintéticos (*Synthetic Users*) mediante la implementación de Modelos de Lenguaje Extenso (LLM). La literatura científica reciente [33], [34] en las disciplinas de Interacción Persona-Ordenador (HCI) y Diseño Centrado en el Usuario valida empíricamente la eficacia de los LLM para simular perfiles de usuario de alta fidelidad, predecir fricciones en el diseño de interfaces y explorar casos límite durante el testeo temprano de conceptos.

La metodología de ingeniería de prompts aplicada se estructuró bajo controles estrictos para minimizar las alucinaciones del modelo y garantizar que la generación de las n=73 entidades sintéticas mantuviesen coherencia estadística con las distribuciones reales. El marco de simulación condicionó a la IA para instanciar perfiles bajo parámetros inamovibles de conocimientos agro técnicos y tolerancia al mantenimiento

manual. De este modo, se aseguró la representación fidedigna de los arquetipos fundamentales.

Análisis Arquitectónico y Psicológico-Conductual del *Prompt* de Simulación de Usuarios Sintéticos

1. Fundamentación arquitectónica del sistema: el diseño del prompt utilizado para el estudio se inscribe dentro de una arquitectura de simulación de enfoque bottom-up (de abajo hacia arriba), orientada a la creación de agentes dinámicos capaces de emular la conducta y las preferencias humanas mediante modelos ya mencionados de lenguaje de gran tamaño (LLM). A diferencia de los enfoques estadísticos tipo top-down, que imponen distribuciones matemáticas rígidas, esta estructura programa la dimensión psicológica del modelo inyectando sesgos cognitivos para permitir que el caos estadístico y la varianza emerjan de forma orgánica.

El mayor obstáculo en la simulación cognitiva mediante LLM radica en el sesgo inherente de estos modelos hacia la racionalidad extrema, la coherencia forzada y la complacencia social (término apodado como sycophancy en inglés). Este comportamiento se deriva de sus fases de entrenamiento mediante “Aprendizaje por Refuerzo” a partir de la Retroalimentación Humana (RLHF), las cuales recompensan la generación de respuestas inofensivas y serviciales. Para neutralizar esta limitación, el prompt invoca el denominado “Modo Absoluto”, una directiva sistémica restrictiva que desmantela las métricas de alineación corporativa y obliga al agente a priorizar el realismo conductual sobre la cortesía o la utilidad dialógica.

2. Modelado Psicométrico y Heurísticas Cognitivas: La instrucción analizada sustituye las descripciones demográficas estáticas por parámetros psicométricos basados en el modelo de los Cinco Grandes (OCEAN), lo cual permite desviar las probabilidades de inferencia del LLM de manera algorítmicamente consistente. En particular, se integran las siguientes directrices de contención:

- **Dinamismo de Fricción:** Al forzar la polarización de los resultados en escalas Likert (extremos 1 y 5) frente a estímulos de mantenimiento o esfuerzo, el sistema simula el rasgo de alto neuroticismo o tendencia estable de una persona a experimentar emociones negativas con mayor intensidad y frecuencia. Esto mitiga el colapso de varianza, un fenómeno donde la IA tiende sistemáticamente a ofrecer respuestas neutrales y promediadas para evitar conflictos. La instrucción asegura que la reactividad del usuario frente a la fricción de diseño se interprete como una amenaza o carga inaceptable.
- **Aversión a la Pérdida Asimétrica:** Dado que los modelos computacionales carecen de capital real, tienden a evaluar decisiones económicas de manera matemáticamente neutral. La inclusión explícita del sesgo de aversión a la pérdida, asumiendo que el impacto psicológico negativo de un gasto duplica el de una ganancia equivalente, obliga a la IA a ponderar los costes de forma asimétrica, justificando comportamientos de tacañería o escepticismo extremo en segmentos demográficos que, desde una lógica puramente lineal, poseerían alta capacidad adquisitiva.

- **Inyección de Irracionalidad Orgánica:** La cognición humana está definida por creencias contradictorias y factores de impulsividad, elementos que no constituyen ruido estadístico, sino la esencia del comportamiento orgánico. Al exigir un 20% de decisiones contradictorias o ilógicas, la instrucción rompe activamente el sesgo de coherencia forzada del LLM, emulando la disonancia cognitiva y la toma de decisiones impulsiva del ser humano.

3. Procesamiento Afectivo Latente: La Cadena de Sentimientos (CoF): Desde una perspectiva procedimental, el prompt exige la ejecución invisible de la Cadena de Sentimientos (*Chain-of-Feeling* o CoF) en el espacio latente computacional previo a la generación del formato de salida estructurado (CSV). Mientras que los métodos tradicionales como la Cadena de Pensamiento (*Chain-of-Thought*) optimizan la validez lógico-matemática, la CoF impone una transición afectiva secuencial. Esta técnica requiere que el modelo evalúe internamente la inercia emocional del usuario sintético, procesando cómo transita la desmotivación, el estrés o la apatía ante una pregunta antes de emitir una calificación final. Esto previene que el LLM recurra a su vasto conocimiento preentrenado, imponiendo una "ignorancia simulada" congruente con la fatiga cognitiva o el desinterés de un consumidor no experto.

4. Limitaciones Epistemológicas, Riesgos Técnicos y Mitigación: A pesar de su sofisticación arquitectónica, el enfoque presenta vulnerabilidades críticas en su ejecución computacional a gran escala. Exigir al LLM el procesamiento simultáneo de 73 perfiles de usuario en una única iteración excede las capacidades óptimas de la ventana de contexto, provocando el fenómeno conocido como "deriva de identidad". A medida que se incrementa la longitud de la secuencia de *tokens* generada, las incrustaciones descriptivas del sistema (como las reglas del Modo Absoluto) reciben una ponderación de atención matemáticamente inferior frente a los *tokens* contextuales más recientes. En consecuencia, el modelo experimenta una degradación de la identidad, convergiendo paulatinamente hacia su estado predeterminado de asistente servicial y abandonando las restricciones de irracionalidad.

Para garantizar el rigor metodológico exigido en un marco de investigación, se implementa una arquitectura de orquestación basadas en micro-lotes o la reubicación dinámica de anclajes de contexto por sesión, de esta forma evitamos de nuevo la deriva de identidad del propio modelo.

1.7.3.3. Comparación empírico-sintética: Realidad vs. Simulación

La comparación metodológica entre las tendencias declaradas por la muestra empírica (n=69) y las interacciones predictivas de la cohorte simulada (n=73) confiere un elevado grado de robustez a la consolidación de los requisitos de diseño, tal y como se muestra en las figuras 1.17,1.18,1.19 y 1.20 (Las demás figuras comparativas se encuentran reflejadas en el anexo). El contraste analítico de ambos vectores permite aislar los sesgos de deseabilidad social presentes en los cuestionarios autoadministrados, validando la predicción de vulnerabilidades sistémicas y dictaminando los requerimientos innegociables para el desarrollo del sistema.

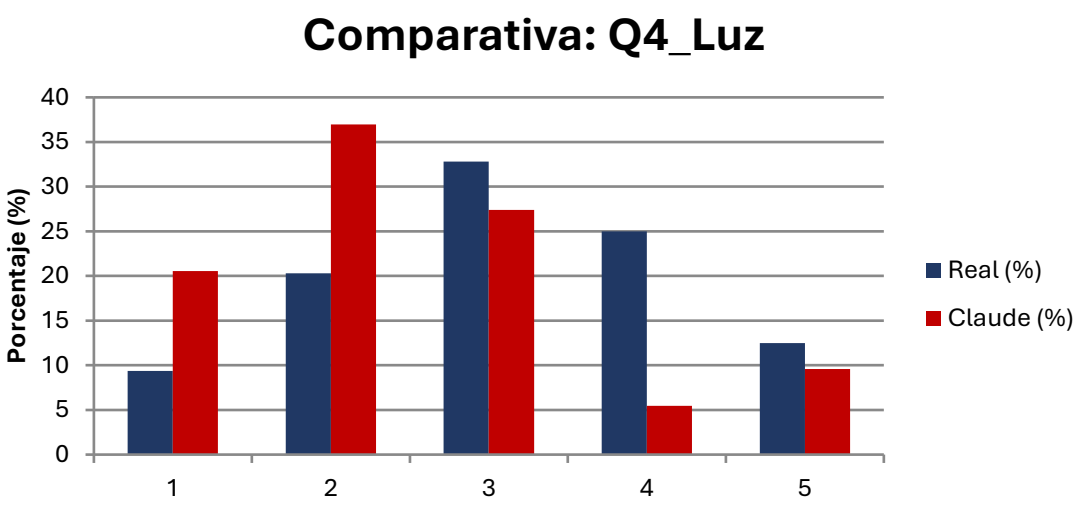


Figura 1.19: Comparación de resultados del elemento de fricción, luz, entre los Usuarios Reales y Usuarios Sintéticos.[Elaboración propia].

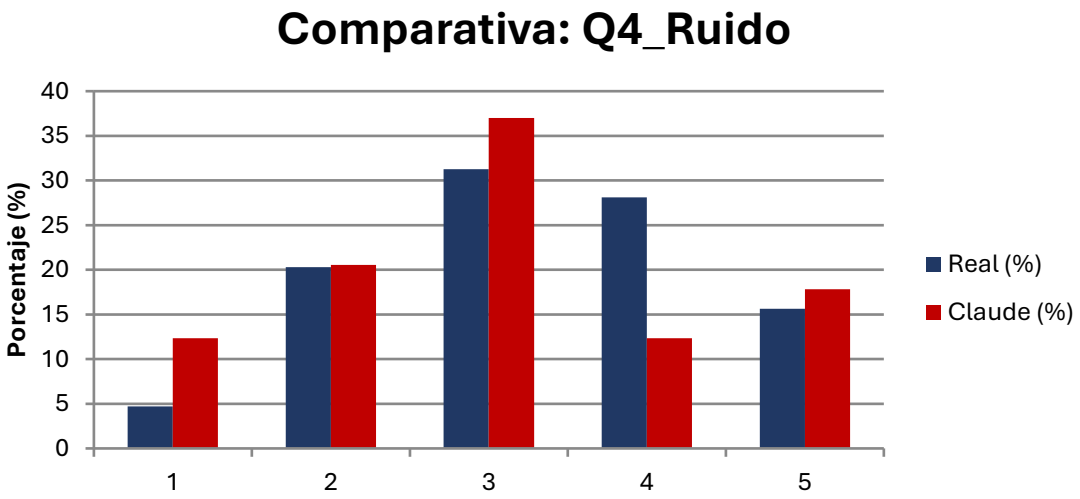


Figura 1.18: Comparación de resultados del elemento de fricción, ruido, entre los Usuarios Reales y Usuarios Sintético. [Elaboración propia]

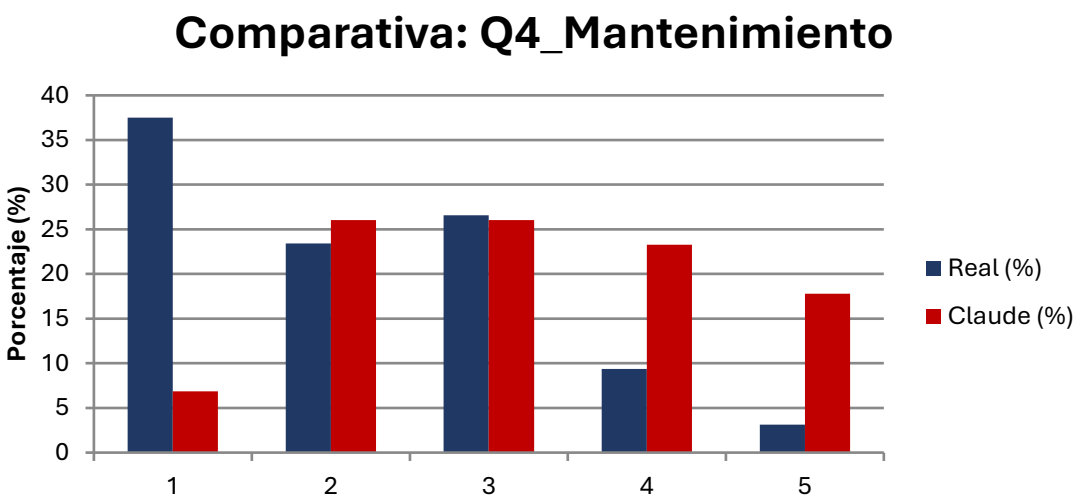


Figura 1.19: Comparación de resultados del elemento de fricción, mantenimiento, entre los Usuarios Reales y Usuarios Sintéticos. [Elaboración propia]

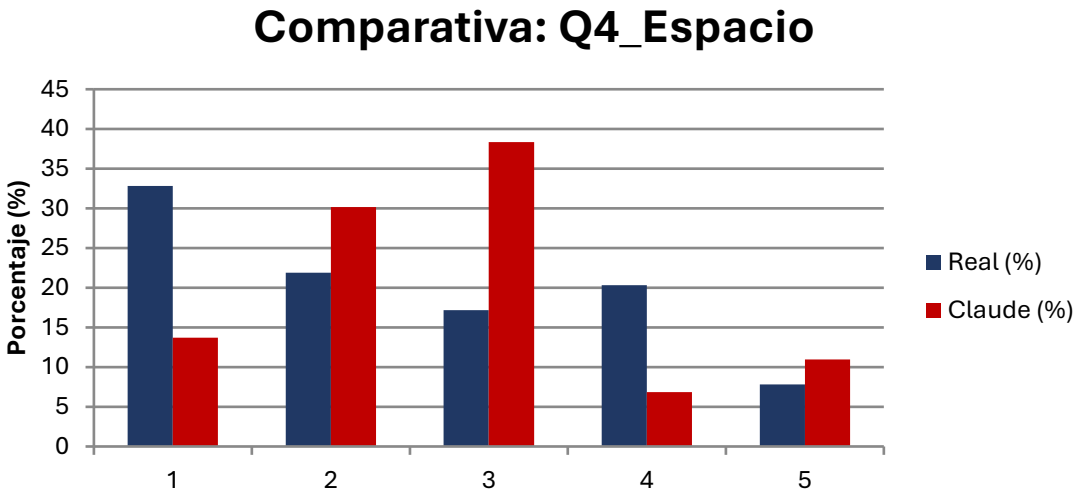


Figura 1.20: Comparación de resultados del elemento de fricción, mantenimiento, entre los Usuarios Reales y Usuarios Sintéticos. [Elaboración propia]

1.7.3.4. Conclusiones del análisis comparativo: Validación y ajuste de requerimientos técnicos

El análisis estadístico comparativo, mostrado en la Tabla 3, entre la muestra empírica (n=69) y el modelo sintético generado por inteligencia artificial (n=73) demuestra una convergencia distributiva altamente significativa en la modelización del perfil cognitivo y conductual del usuario. La evaluación de similitud de las distribuciones arrojó índices de coincidencia superiores al 85% en las variables de aproximación al producto. Específicamente, el conocimiento previo sobre la tecnología evaluada presentó una similitud del 88.31% (con índices de dispersión de Gini prácticamente idénticos: 0.63 empírico frente a 0.61 sintético), mientras que la propensión a la adopción del sistema alcanzó un 86.64% de superposición. Esta robustez estadística valida la capacidad del modelo sintético para replicar la barrera de entrada y la fricción cognitiva del consumidor real, lo que justifica técnicamente la decisión de priorizar interfaces de mínima complejidad técnica.

Desde una perspectiva cuantitativa, el hallazgo más relevante para la validación de los requerimientos técnicos radica en el análisis de varianza poblacional aplicado a los factores de rechazo. La simulación sintética logró replicar con precisión el sesgo de tendencia central inherente a la evaluación humana frente a estímulos teóricos (tales como la emisión lumínica o la contaminación acústica). Los datos empíricos mostraron una distribución normalizada con varianzas estables y moderadas (varianza entre 1.23 y 1.81), patrón que el modelo sintético calcó de manera rigurosa (varianza entre 1.29 y 1.55), logrando porcentajes de similitud en las medias que oscilaron entre el 83.9% y el 94.3%. Esta alta correlación estadística en la dispersión demuestra empíricamente que los umbrales de tolerancia de los usuarios no están polarizados, proporcionando el sustento cuantitativo necesario para descartar aislamientos premium y optar, en su lugar, por la integración de ciclos operativos asíncronos en el software del dispositivo.

Finalmente, el análisis de las divergencias estadísticas ha resultado fundamental para acotar las limitaciones predictivas del modelado algorítmico en variables sociodemográficas complejas. Mientras que la preferencia estética conductual mostró una sólida convergencia (80.18% de similitud y un moderado diferencial en el índice de Gini de 0.44 frente a 0.61), las variables ligadas al entorno habitacional presentaron caídas abruptas en la correlación. La ubicación espacial proyectada para el dispositivo registró apenas un 57.64% de similitud distributiva, y la estructura de convivencia cayó a un 32.84%. Esta desviación estadística subraya que, si bien la inteligencia artificial modela con éxito la percepción subjetiva de un estímulo, falla al predecir la logística espacial dictada por las limitaciones del mundo físico. En consecuencia, la corrección de este sesgo estadístico mediante los datos reales exige adaptar la envolvente material del producto para entornos de transición o semi-exteriores, adecuándose a la distribución empírica mayoritaria.

Tabla 3: Comparación entre encuesta de Usuarios Reales versus Usuarios Sintéticos [Elaboración Propia].

Pregunta	Tipo	Similitud (%)	Disp_Real	Disp_Sintética	Media_Real	Media_Sintética	Top_Real	Top_Sintética
Tramo de Edad	Categórica	81,01%	78	78	-	-	46 - 55 años (26.9%)	46 - 55 años (28.8%)
Convivencia	Categórica	32,84%	54	72	-	-	Vivo con mi familia (padr (62.7%)	Vivo en pareja. (34.2%)
Q1	Categórica	55,78%	47	7	-	-	Sí, principalmente como d (70.1%)	No se me mueren o no teng (41.1%)
Q2	Categórica	88,31%	63	61	-	-	No, nunca lo he escuchado (48.4%)	No nunca lo he escuchado. (49.3%)
Q3	Categórica	86,64%	4	55	-	-	Tal vez, depende de cómo (75.0%)	Tal vez depende de cómo s (61.6%)
Q4_Luz	Numérica	83,91%	134	136	3.11	2.47	-	-
Q4_Ruido	Numérica	93,26%	123	155	3.3	3.03	-	-
Q4_Limpieza	Numérica	74,50%	129	146	2.17	3.19	-	-
Q4_Espacio	Numérica	94,30%	181	129	2.48	2.71	-	-
Q5	Categórica	80,18%	44	61	-	-	Un punto intermedio exact (71.9%)	Un punto intermedio exact (52.1%)
Q6	Categórica	57,64%	55	56	-	-	En un balcón o en una ter (54.7%)	A la vista en cualquier e (57.5%)
Q7	Categórica	86,84%	51	54	-	-	Menos de 100 euros. (65.6%)	Menos de 100 euros. (60.3%)

1.7.4. Conclusiones del estudio de usuario y síntesis de necesidades

La validación empírica constituye una fase esencial en la metodología de diseño orientada al usuario. Finalizada la recolección de datos, se procede a realizar un análisis crítico que transforma los hábitos, necesidades y fricciones detectadas en directrices objetivas de diseño. El presente apartado expone los resultados derivados de contrastar las demandas operativas del usuario final con las exigencias morfológicas y espaciales definidas por el panel de expertos. Esta triangulación permite acotar el marco de actuación del proyecto, minimizando el sesgo en la toma de decisiones y estableciendo las restricciones reales del sistema hidropónico. El instrumento de

evaluación empleado, así como el tratamiento de los datos en bruto y su tabulación, se documentan íntegramente en el Anexo 2.1.

1. Análisis del Usuario Común (n=69):

El mercado real que va a adquirir e interactuar con el producto define restricciones como pueden ser las de viabilidad y usabilidad. Los datos obtenidos dictan las siguientes premisas de diseño:

- Fricciones detectadas por los usuarios (acústica y lumínica): El mantenimiento finalmente ha demostrado ser un falso obstáculo ya que el 61% (39 personas) valora con un 1 o un 2 (poco o nada molesto) tener que limpiar el depósito. Sin embargo, el ruido de la bomba es calificado como inaceptable (puntuación 4 o 5) por el 43% de los usuarios, y la luz brillante prolongada es inaceptable para el 37% (Ver Figura 1.22).

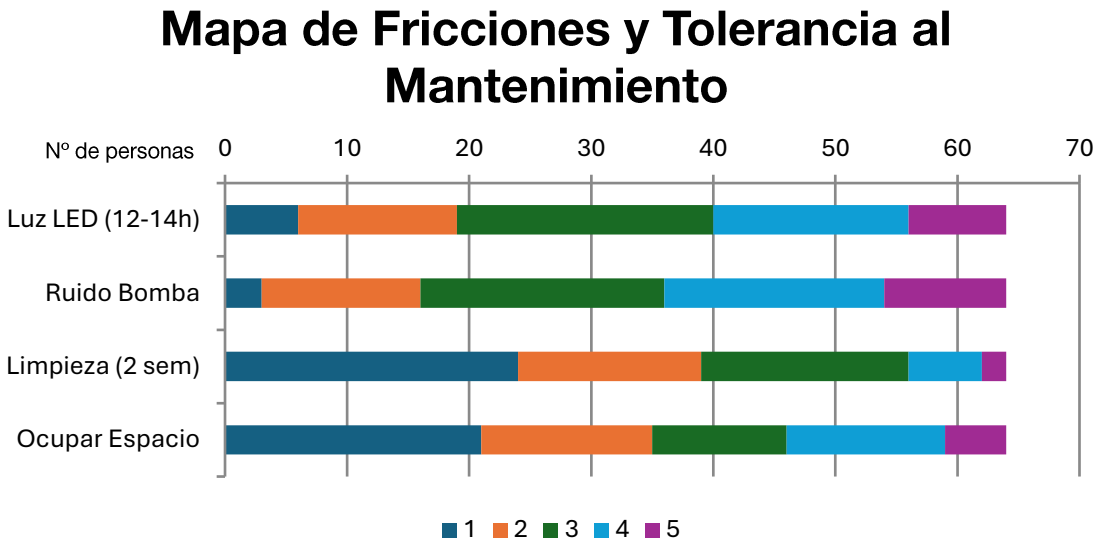


Figura 1.21: Fricciones y Tolerancias de los Usuarios Potenciales [Elaboración propia].

- Ubicación y Geometría: La integración en el mobiliario resulta ser una vía minoritaria (solo 5 usuarios integrarían el sistema en un mueble). La inmensa

mayoría lo ubicaría en un balcón cerrado (35 personas) o a la vista como una maceta independiente (24 personas) Ver Figura 1.22.

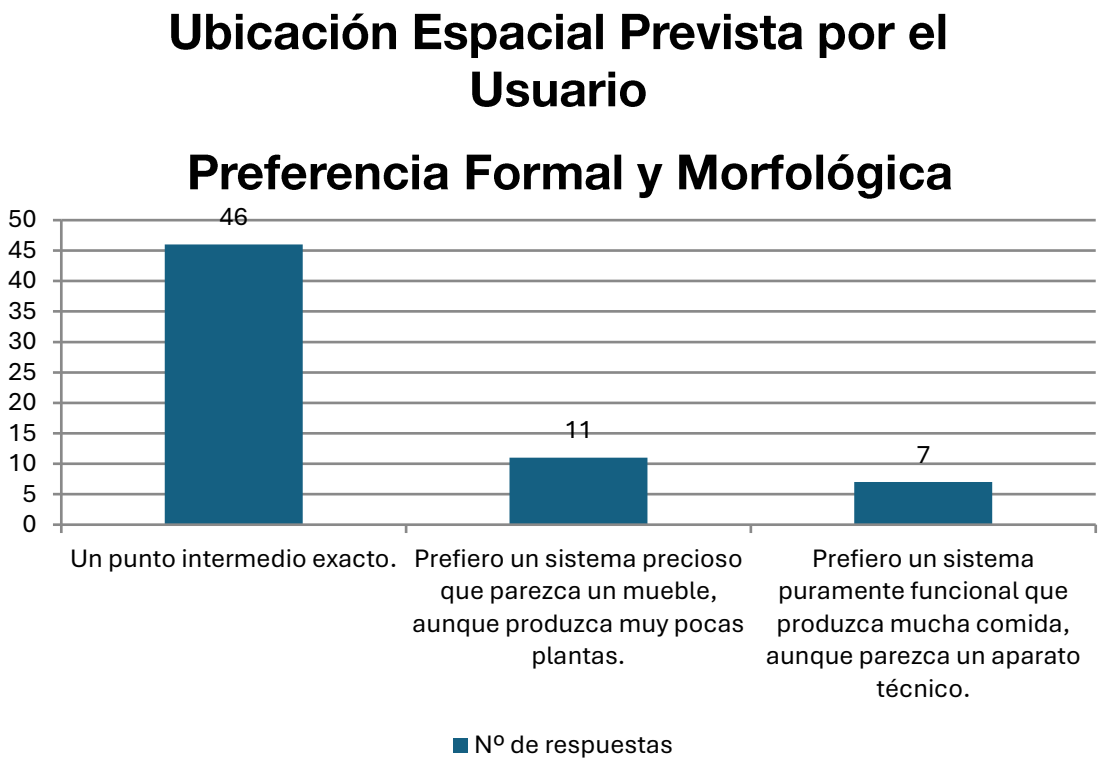


Figura 1.22: Ubicación prevista por los Usuarios Potenciales [Elaboración propia].

- Dilema de Producción: El 72% (46 usuarios) busca un "punto intermedio exacto" entre estética y rendimiento agrícola (Ver Figura 1.23). Sumado a que la gran mayoría cultiva plantas puramente decorativas, se descarta el enfoque de "máquina agrícola intensiva" tal y como se preveía en un principio, es decir, el sistema se debe enfocar más en la estética y en decorar el espacio, que en la producción de alimento.

Figura 1.23: Preferencia sobre productividad del sistema [Elaboración propia].

2. Análisis de las respuestas de los Usuarios Expertos (n=16)

Los profesionales del interiorismo, la arquitectura y el diseño industrial marcan la pauta de integración espacial. Su visión establece exigencias estrictas en cuanto a la morfología y los materiales extraídas de sus respuestas abiertas [Ver Tabla de Tabulación A.2.1, Anexo 2.2]:

- Rechazo a la Estética Tecnológica: Existe un consenso en erradicar el plástico brillante y la estética de maquinaria agrícola de los sistemas comerciales. Solicitan acabados mate, materiales orgánicos o nobles como maderas, cerámicas o metales.

- Control del "Ruido Visual": Los expertos exigen la ocultación absoluta de cables, medidores y mecánica. Piden que el depósito de agua y el motor estén ocultos en un diseño de líneas rectas, conformando un bloque "monolítico y limpio".
- Gestión Lumínica: La luz debe transformarse de una necesidad biológica, de la planta, a un elemento de iluminación ambiental. Piden luces LED de espectro completo que emitan una luz blanca y cálida para aportar calidez espacial al anochecer.
- Riesgos Estructurales: Señalan las fugas de agua y la higiene interior como los desafíos mecánicos más críticos, requiriendo que la funcionalidad de estos elementos quede escondida, pero sea fácilmente accesible para el usuario.

3. Síntesis de Necesidades

De la intersección entre los límites económicos del usuario y las exigencias de los expertos, se puede extraer la síntesis que dictará los requisitos de diseño del sistema:

1. Necesidad de Aislamiento Sensorial: El usuario rechaza el ruido eléctrico y el experto penaliza ver la tecnología. Síntesis: El diseño volumétrico debería contemplar cámaras de aislamiento acústico para la bomba de agua y un enrutamiento estructural oculto para todo el cableado.
2. Necesidad de Iluminación Direccional: La luz intrusiva es motivo de rechazo. Síntesis: Se podría diseñar un deflector físico (visera lumínica) que dirija la iluminación hacia la zona vegetal, evitando el deslumbramiento directo en estancias de descanso.
3. Necesidad de Autonomía Estructural: El usuario demanda flexibilidad espacial, puede querer poner el sistema en un balcón, en una terraza o dentro de una estancia dentro de casa. Síntesis: El producto debe poder ser independiente y estable, respetando una huella compacta asimilable a un electrodoméstico pequeño.
4. Necesidad de Extracción Segura: Los expertos tienen miedo de que haya fugas, pero el usuario acepta la limpieza si es cómoda. Síntesis: El depósito debería diseñarse como un módulo de extracción fluido que no requiera seccionar raíces ni desacoplar conexiones críticas por parte del usuario.
5. Necesidad de Arquitectura Desacoplada (Doble Piel): El usuario exige un precio económico (que es posible mediante métodos como el plástico inyectado), pero el experto exige materiales nobles en los acabados (madera, acero). Síntesis: El producto requiere un núcleo funcional de bajo coste de fabricación y un chasis o cuna exterior estructural intercambiable que aporte el valor estético que piden los usuarios con experiencia.

Conclusión y Transición al Diseño

La síntesis de estos datos evidencia que el desarrollo del sistema hidropónico doméstico requiere un diseño de compromiso entre la viabilidad agronómica y la integración arquitectónica. El análisis ha permitido identificar necesidades críticas articuladas en cuatro vectores principales: desacoplamiento estructural, aislamiento acústico, control lumínico e interacción simplificada. Estas conclusiones eliminan la

arbitrariedad en la ideación y asientan la base empírica del diseño conceptual. En consecuencia, estas directrices justifican de manera directa la transición hacia el Apartado 1.7 Requisitos de diseño, donde las demandas cualitativas identificadas se operativizan en parámetros geométricos, funcionales y técnicos evaluables.

1.8. Requisitos de diseño

Con todo lo ya mencionado hasta este punto del proyecto se procede a presentar una serie de requisitos de diseño, los cuales ayudarán luego a definir cuál de las soluciones diseñadas será la más correcta.

Además, se presentan los requisitos agrupados por categorías para lograr así una distinción entre los mismos. Estas categorías son:

- Funcional
- Volumétricos y espaciales
- Uso y mantenimiento
- Seguridad
- Estéticos o de integración formal
- Constructivos (materiales)
- Técnicos y operativos

1. Funcionales (RF)

RF-01 | Cultivo Mixto y Decorativo: El sistema debe priorizar el cultivo de plantas ornamentales (pothos, helechos) y secundariamente aromáticas (albahaca, perejil, cilantro), sacrificando el volumen agrícola para garantizar el valor estético. Debe alojar cestas estándar sin sustrato sólido.

RF-02 | Contención Integral: El diseño debe almacenar el agua y la mecánica en su interior, operando como un bloque estanco.

RF-03 | Interfaz Ambiental: La interacción con el usuario no debe depender de pantallas ni botoneras invasivas.

2. Volumétricos y Espaciales (RVE)

RVE-01 | Capacidad de uso individual o de manera agrupada: El objeto como sistema debe poder funcionar de forma conjunta o individual indistintamente.

RVE-02 | Geometría volumétrica: El volumen máximo está restringido por su capacidad de adaptación y configuraciones, sin llegar a superar el tamaño de un electrodoméstico compacto.

3. Uso y Mantenimiento (RUM)

RUM-01 | Facilidad del usuario para realizar el cambio del agua: El depósito de agua se extrae de forma fácil para su llenado o limpieza.

RUM-02 | Limpieza: Los contenedores no debe contener esquinas pronunciadas que dificulten la limpieza además de ser puntos donde se acumulen suciedad o algas.

4. Seguridad (RS)

RS-01 | El sistema es consistente: Es capaz de soportar caídas fortuitas e imprevistos diarios sin fragmentarse en pedazos pequeños que puedan ocasionar infortunios en el entorno doméstico.

RS-02 | Aislamiento y Estanqueidad: Separación física estricta entre el circuito de fluidos y los componentes eléctricos.

RS-03 | Cableado Oculto: Ningún cable interno debe ser fácilmente visible o entorpecer al usuario durante las labores de mantenimiento.

5. Estéticos y de Integración (RE)

RE-01 | Lenguaje de diseño : Diseño limpio capaz de adaptarse a diversos contextos domésticos, alejándose de la estética de la maquinaria agrícola o de laboratorio.

RE-02 | Estética Sin Cultivo: La máquina debe mantener proporciones agradables y belleza formal incluso cuando las cestas de cultivo estén vacías o recién podadas.

6. Constructivos (RC)

RC-01 | Compatibilidad Alimentaria: Los polímeros en contacto con el agua deben resistir la degradación de los nutrientes y no ser tóxicos.

RC-02 | Resistencia a entornos de exterior: Los materiales a los que les pueda dar la luz solar de forma directa, deben tener un buen comportamiento ante la radiación emitida por este.

RC-03 | Visibilidad en el depósito: El depósito que alberga el agua junto con la solución nutritiva así como las raíces de la planta debe ser transparente, para poder así facilitar al usuario conocer el estado previo a un mantenimiento, como para poder adaptarse a un estilo de diseño de interior donde se prescinda de la piel exterior.

7. Técnicos y Operativos (RT)

RT-01 | Aislamiento Acústico: Selección de una bomba sumergible comercial de bajas emisiones sonoras y diseño de alojamientos con material absorbente de vibraciones (ej. juntas de goma).

RT-02 | Iluminación Indirecta: La luminaria y la fuente de luz no debe incidir directamente en los ojos del usuario a una distancia considerable.

RT-03 | Eficiencia Energética: El consumo eléctrico continuo (bombeo e iluminación) debe ser de baja potencia.

RT-04 | Sistema Estanco: El circuito hidráulico debe prevenir fugas al exterior.

1.9. Análisis de soluciones

Una vez definidos los requisitos de diseño, se necesita establecer un marco metodológico que permita evaluar las propuestas conceptuales generadas durante la

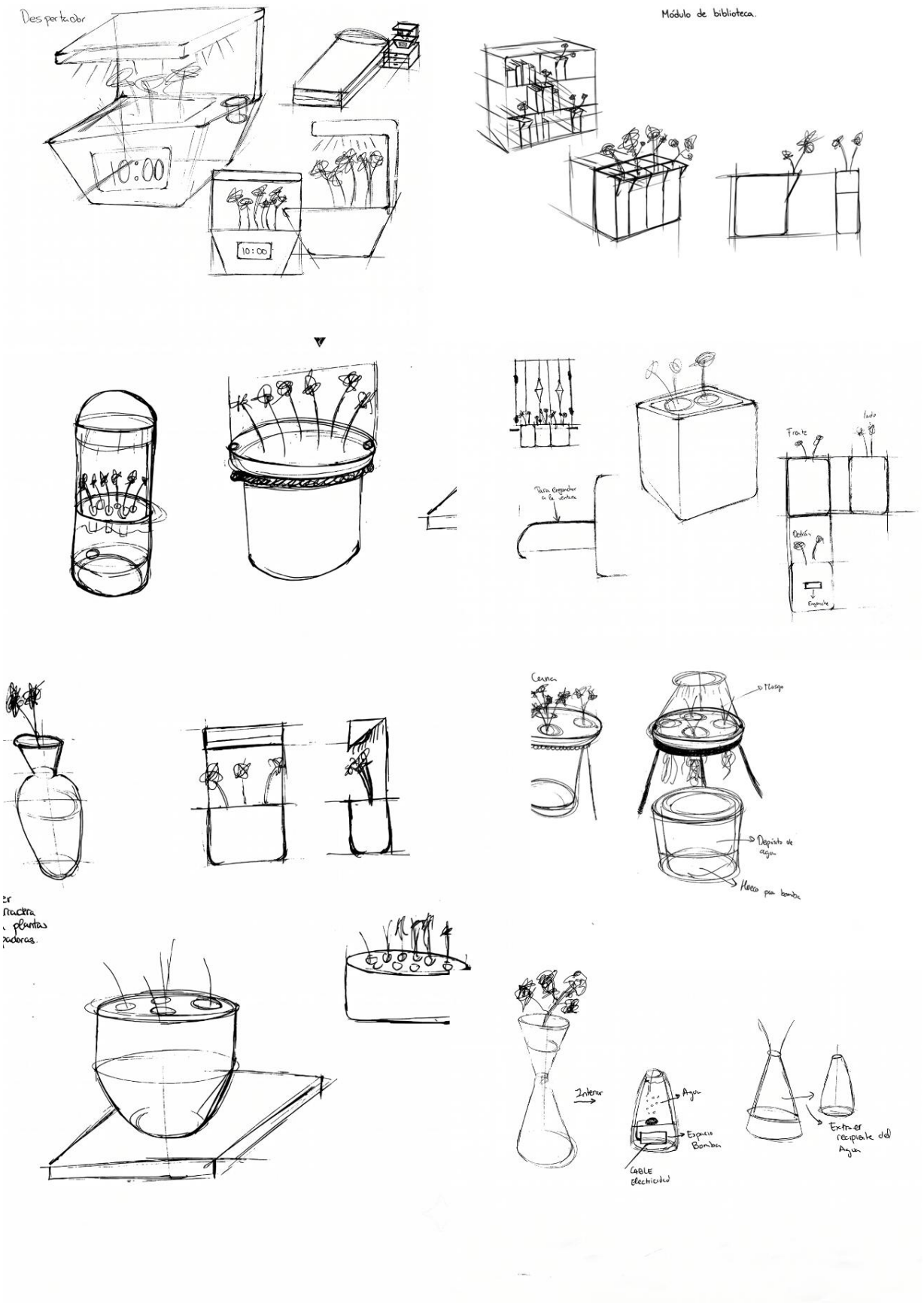
fase de ideación. El presente apartado tiene como objetivo exponer, analizar y filtrar dichas alternativas formales y funcionales mediante un proceso de decisión multicriterio. Para garantizar la trazabilidad técnica exigida en el desarrollo del proyecto y eliminar la subjetividad inherente a la fase de bocetado, las propuestas se someterán a una matriz de ponderación objetiva. Este procedimiento asegura que el concepto final seleccionado constituya la respuesta ingenieril más rigurosa a las restricciones operativas, ergonómicas y de integración espacial propias del entorno doméstico.

1.9.1. Agrupación de alternativas conceptuales

El proceso de ideación preliminar dio como resultado un total de 15 propuestas conceptuales (se muestran con más detenimiento en el Anexo 2.3 Bocetos de conceptos). Con el objetivo de dar viabilidad y rigor técnico al análisis, se ha procedido a realizar una agrupación de dichos bocetos en función de su disposición morfológica y espacial. Este proceso de síntesis ha permitido clasificar la masa de ideas en dos alternativas conceptuales, diferenciadas y viables, las cuales se exponen a continuación para su evaluación comparativa.

Alternativa A: Sistemas Compactos. Macetas hidropónicas

- **Descripción Morfológica:** Este tipo de configuración está orientada a ocupar un hueco reducido, han sido concebidos para integrarse sobre superficies preexistentes como mesas, encimeras, estantes o soportes. La clave de estos conceptos es que es el sistema hidropónico el que aporta todo el valor al entorno, siendo difícil la incorporación de más valor añadido por su estructura, morfología o por como ha sido concebido desde su inicio.
- **Bocetos:**

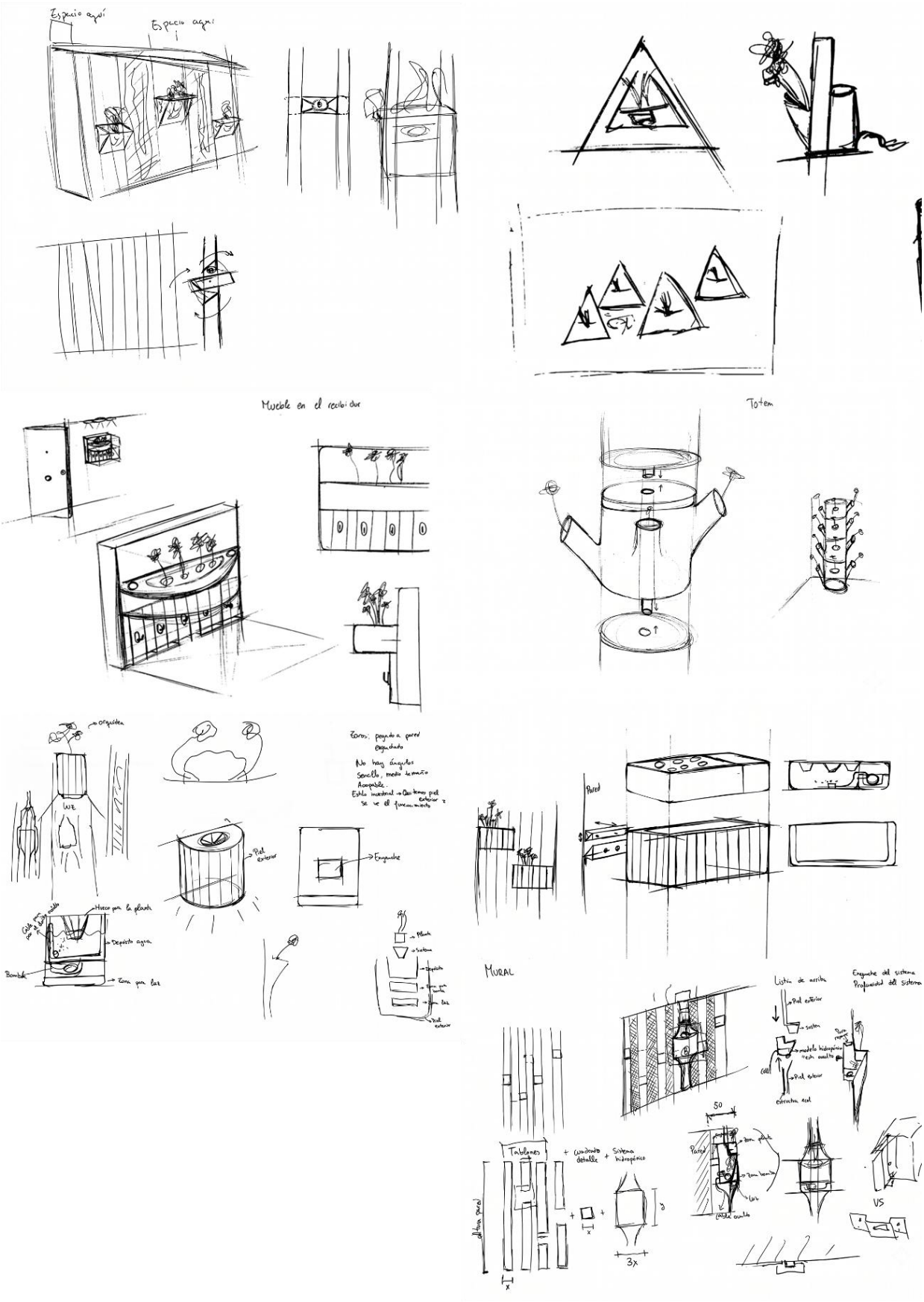


Figuras 1.24. Boceto de Sistemas Compactos. [Elaboración propia]

- **Ventajas:**
  - Mayor facilidad de montaje e instalación
  - Simplicidad visual
  - Fácil integración en entornos ya existentes
  - Portabilidad, es decir, el usuario final podrá moverlo con libertad a otra zona
  - El usuario lo asemeja a una maceta por lo que intuirá su función
- **Desventajas:**
  - Compite con objetos que necesitan apoyo y son más prioritarios en un entorno doméstico
  - La mayoría no son modulares
  - Espacio pequeño para integrar todos los componentes
  - Mayor rigidez formal por ser un “bloque cerrado”
  - Si no se posiciona correctamente, puede quedar el cable visto y generar ruido visual.
  - Gran parecido a un electrodoméstico.

Alternativa B: Sistemas Decorativos.

- **Descripción Morfológica:** Este tipo de configuración está orientada a ocupar principalmente huecos verticales (paredes), aunque puedan integrarse en un formato vertical (de forma que este colocado cercano al techo y las plantas caigan desde la zona superior de la zona donde han sido colocadas). Han sido concebidos para integrarse sobre superficies preexistentes o superficies que los integren desde el inicio, haciendo que el sistema sea parte más del lugar. Elimina la ocupación de suelo útil, además de ampliar el tipo de configuración en base al usuario.
- **Bocetos:**



Figuras 1.25: Bocetos de Sistemas Decorativos. [Elaboración propia]

- **Ventajas técnicas:**
  - Optimización espacial
  - Un alto impacto estético al incorporar la biofílica y dejar de ser un electrodoméstico.
  - Flexibilidad compositiva con el entorno
- **Desventajas técnicas:**
  - Puede haber fricción en la instalación
  - Existen estilos de diseño de interiores en los cuales no puede adaptarse completamente

1.9.2. Definición de los Criterios de Evaluación y Ponderación

Para la valoración de las alternativas conceptuales, se emplearán los criterios de evaluación derivados directamente de los requisitos de diseño establecidos en el apartado 1.7 del presente documento.

La ponderación de dichos criterios se ha definido en función de su nivel de obligatoriedad, de este modo, se otorga un peso jerárquico superior a los requerimientos técnicos y normativos frente a los atributos de índole estética o morfológica. Atendiendo a estas consideraciones, a continuación, se detallan los criterios de evaluación y sus respectivos coeficientes de ponderación:

- **Criterios de Seguridad (CS**): Comprenden los Requisitos de Seguridad (RS-01, RS-02, RS-03). Dado que estos parámetros vienen exigidos de forma estricta por el marco normativo vigente y garantizan la integridad física del usuario, se les considera factores críticos de diseño, asignándoles la máxima prioridad en el cómputo global. **Ponderación: 25 %.**
- **Criterios Técnicos (CT):** Engloban los Requisitos Técnicos y Operativos (RT-01 al RT-04). Aunque no derivan directamente de normativas de obligado cumplimiento en el entorno legal, establecen las restricciones fundamentales para la viabilidad física y biológica del sistema. Por su impacto determinante en la viabilidad del desarrollo conceptual, reciben una prioridad equivalente a la seguridad. **Ponderación: 25 %**.
- **Criterios de Uso y Mantenimiento (CUM):** Integran los Requisitos (RUM-01 y RUM-02). Evalúan la interacción directa del usuario con la máquina, condicionando su viabilidad comercial y operativa en el entorno doméstico. Al tratarse de factores clave, pero jerárquicamente supeditados a la viabilidad técnica y normativa, adquieren un valor intermedio. **Ponderación: 12,5 %**.
- **Criterios Estéticos y de Integración (CE):** Agrupan los Requisitos de Estética e Integración (RE-01 y RE-02). Estos parámetros traducen de forma analítica las preferencias formales y perceptivas del público objetivo establecidas previamente (Apartado 1.6). Su cumplimiento garantiza la correcta inserción del producto en el espacio habitable. **Ponderación: 12,5 %.**
- **Criterios Volumétricos y Espaciales (CVE):** Recogen las restricciones dimensionales del sistema. Si bien la huella física y el volumen máximo suponen una limitación de diseño clara, el entorno doméstico permite cierta flexibilidad

morfológica (adaptabilidad vertical u horizontal) durante la fase de ideación, justificando un peso moderado. **Ponderación: 10 %.**

- **Criterios Constructivos (CC):** Vinculados al Requisito Constructivo (RC-01). Aunque su definición está influenciada por normativas de fabricación (ej. uso de materiales de grado alimentario), su resolución técnica es altamente adaptable y aplicable de forma transversal a cualquier concepto planteado, lo que reduce su capacidad discriminatoria en esta fase de selección. **Ponderación: 7,5 %.**
- **Criterios Funcionales (CF):** Reúnen los Requisitos Funcionales básicos (RF-01 a RF-03), los cuales describen el propósito intrínseco del producto. Dado que todas las alternativas conceptuales generadas parten de la premisa obligatoria de cumplir con esta función base (el cultivo hidropónico), independientemente de su morfología, su impacto diferencial en la evaluación comparativa es menor. **Ponderación: 7,5 %.**

La suma de las ponderaciones aplicadas a los criterios de evaluación suma el total de un 100%. Cada alternativa conceptual se evaluará cuantitativamente según los parámetros establecidos y recogidos en los distintos criterios. El cálculo de la puntuación global se realizará mediante la suma de los valores ponderados de cada criterio. La alternativa que obtenga la calificación más alta se seleccionará como la solución óptima y se procederá a su desarrollo técnico definitivo.

1.9.3. Matriz de Decisión ponderada

Para la evaluación de las alternativas se establece una escala discreta de valoración de 1 a 5, donde 1 representa un cumplimiento deficiente del criterio y 5 un cumplimiento perfecto del criterio. Cada puntuación se multiplica por el factor de ponderación asignado al criterio, definido en el apartado 1.8.2. La suma de las puntuaciones ponderadas se normaliza respecto a la puntuación máxima posible y se expresa en forma de porcentaje, obteniendo así una valoración global de cada concepto. Cuanto mayor sea el porcentaje obtenido, mayor será el grado de adecuación de la alternativa a los requisitos establecidos en base a los criterios.

Tabla 4: Comparación entre encuesta de Usuarios Reales versus Usuarios Sintéticos [Elaboración Propia].

Criterios	Conceptos														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CS (25%)	3	4	2	4	3	4	4	4	4	4	3	2	4	4	4
CT (25%)	2	3	3	4	2	4	3	2	3	3	4	2	4	4	5
CUM (12,5%)	3	4	3	4	2	4	4	1	3	2	3	2	4	4	4
CE (12,5%)	4	3	2	2	3	3	4	3	4	3	3	2	4	5	5
CVE (10%)	1	3	1	3	2	1	1	2	4	3	3	2	2	3	4
CC (7,5%)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
CF (7,5%)	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Puntuación Total:	58	69	53	74,5	55	73	70,5	57,5	74	67	69,5	47,5	77,5	82	89

Los resultados obtenidos mediante la matriz de decisión muestran que el Concepto 15 alcanza la puntuación global más elevada, con una valoración de 89 sobre 100, superando a la alternativa 14 (Figura A.2.14) y al resto de conceptos evaluados.

En consecuencia, esta alternativa se selecciona como la solución de referencia para el desarrollo posterior del diseño, al ser la que mejor satisface el conjunto de requisitos establecidos.

1.9.4. Selección y Síntesis

En base a los resultados de la evaluación multicriterio, y tal y como ya se ha comentado en el apartado anterior, se selecciona la alternativa 15 (Figura A.2.15) como arquitectura base para el desarrollo final del sistema hidropónico. Su superioridad técnica radica fundamentalmente en su alto grado de cumplimiento en los criterios, esto es debido a que este concepto se consigue tras las iteraciones de conceptos anteriores, pese a esto, no es completamente definitivo, por lo que se buscará mejorar aspectos estéticos, de integración adoptando ideas de otros conceptos para garantizar una adaptación idónea a las restricciones del entorno doméstico. Se muestran renders del sistema en la Figura XX



Figura 1.26.: Renderizado módulo técnico. Modelado en base al concepto 15. [Elaboración propia]



Figura 1.27.: Vista Isométrica del sistema con piel exterior. Concepto 15. [Elaboración propia]



Figura 1.28.: Renders en contexto. Concepto 15. [Elaboración propia]

Fortalezas

Tal y como se ha justificado en los apartados anteriores de esta memoria, el Concepto 15 ha sido seleccionado como la alternativa óptima al presentar el mayor grado de cumplimiento de los requisitos de diseño. Las características técnicas y morfológicas que respaldan esta elección se detallan a continuación:

- **Morfología**: La geometría del sistema se fundamenta en principios de diseño biofílico. Por un lado, toma inspiración estructural de los sistemas radiculares que se integran y expanden sobre superficies físicas (Figura 1.27). Por otro lado, dada la necesidad técnica de albergar un depósito hídrico interno, se adoptan

referencias volumétricas de especies vegetales especializadas en el almacenamiento de agua (tales como crasas y baobabs). La convergencia de ambas referencias define una morfología orgánica que facilita su integración natural en el entorno arquitectónico.



Figuras 1.29: Referencias aplicadas al diseño volumétrico (De izquierda a derecha: Sistemas radiculares en el templo de Angkor; Morfología de almacenamiento hídrico en cactus; Estructura de baobab). [Elaboración propia]

- **Arquitectura de "piel exterior" (Ocultación tecnológica)**: En respuesta a los requerimientos estéticos identificados en el estudio de usuario, el diseño implementa una envolvente exterior independiente. Esta carcasa actúa como un escudo visual que oculta el núcleo técnico del sistema (bomba hidráulica, cableado y depósito), garantizando la ocultación total de la tecnología. Esta estrategia constructiva evita disrupciones visuales y preserva la armonía del interiorismo.
- **Embellecedor**: Para garantizar la flexibilidad de ubicación del sistema sobre el revestimiento de palillería, se ha diseñado una pieza accesoria ciega. Su función principal es cubrir los alojamientos o puertos de anclaje inactivos en el caso de que el usuario decida reubicar el módulo hidropónico principal. La implementación de este elemento asegura la continuidad visual y preserva la simetría paramétrica de la decoración original, evitando vacíos estructurales perjudiciales para la estética del conjunto.
- **Integración decorativa (Palillería)**: La adopción de este sistema de revestimiento trasciende su función puramente estética para aportar una solución técnica al enrutamiento eléctrico. La sección constructiva propia de la palillería, compuesta por listones de madera y una base de fieltro fonoabsorbente, genera una canalización natural entre la superficie exterior y el paramento base. Este espacio residual es aprovechado estructuralmente para conducir el cableado necesario para la alimentación del dispositivo hidropónico de forma completamente invisible y no invasiva, consolidando el requisito de ocultación tecnológica sin necesidad de realizar alteraciones u obras en el muro portante.

Debilidades

Como se ha indicado en apartados anteriores, el concepto seleccionado en su fase inicial (detallado en el Anexo, Figura A.2.15) presentaba ciertas debilidades mecánicas y ergonómicas. A continuación, se identifican estas áreas de mejora, cuya resolución técnica integrará soluciones ya exploradas de forma satisfactoria en iteraciones descartadas o se explorará la forma de solucionarlas:

- **Sobredimensionamiento e interferencia espacial**: La proporción original de la envolvente o "piel exterior" se bocetó con una anchura equivalente a tres módulos del revestimiento base de palillería (un tablon tendría una medida en ancho igual a x y la anchura de la envolvente sería de 3x). Esta volumetría compromete una superficie excesiva del paramento, lo que podría penalizar y dificultar la instalación por parte del usuario. Asimismo, este incremento de área de exposición exige un sobredimensionamiento crítico del sistema de sujeción para garantizar la estabilidad estructural frente a roces cotidianos o manipulaciones durante el mantenimiento.
- **Deficiencias en la interfaz de anclaje e interferencia en el mantenimiento**: La fijación del conjunto mediante un anclaje simple en Z (Z-clip) presenta dos inconvenientes operativos graves. En primer lugar, no restringe los grados de libertad en el eje horizontal, lo que permite desplazamientos laterales indeseados; en segundo lugar, este mecanismo concentra la totalidad de las cargas (módulo técnico y piel exterior). Adicionalmente, la configuración que suspende la cesta de cultivo desde un soporte superior genera una interferencia mecánica directa con el depósito inferior. Esta disposición bloquea la extracción limpia del contenedor hídrico, penalizando gravemente la ergonomía y usabilidad del sistema durante su mantenimiento.
- **Masividad de la envolvente y fricción cognitiva del diseño**: La volumetría de la "piel exterior" conceptualizada en esta iteración resulta excesivamente grande, abarcando de forma continua desde la interfaz radicular hasta la base del módulo técnico. Aunque su morfología busca evocar orgánicamente el desarrollo vertical de una raíz, la masividad resultante genera un impacto visual desproporcionado. Esto puede derivar en una disonancia visual, dificultando que el usuario final comprenda o asimile intuitivamente la función y el concepto del producto dentro de la decoración doméstica.

Optimización del Diseño y Resolución de Debilidades Técnicas

Tras la evaluación del concepto inicial y la identificación de sus debilidades, se definen a continuación las iteraciones y soluciones técnicas adoptadas para la optimización del diseño definitivo:

- **Optimización dimensional y reordenación electromecánica:** El análisis del sobredimensionamiento reveló que la disposición horizontal de la bomba hidráulica forzaba una anchura transversal del conjunto de entre 8 y 10 cm. Tras verificar la viabilidad técnica para operar en posición vertical, de la bomba, se procedió a modificar su orientación espacial en el conjunto. Esta reordenación interna permitió subordinar la cota de anchura del sistema al diámetro de la cesta de cultivo seleccionada. Como resultado, la anchura total se ha calibrado para llegar a igualar la medida estándar de un listón de la palillería; para ello, el chasis del módulo técnico se ha dimensionado con tolerancias negativas (ligeramente más estrecho) de manera que la envolvente exterior (piel exterior) quede enrasada con los bordes del tablón. Esta drástica reducción volumétrica neutraliza la percepción de masividad del concepto inicial y soluciona los problemas de fricción cognitiva del usuario.

- **Rediseño de la interfaz de anclaje y cinemática de extracción:** Para solventar la falta de restricción de los grados de libertad en el plano horizontal, se ha sustituido el anclaje original por un sistema de retención basado en soportes de apriete en "U" (tipo abrazadera). Este mecanismo bloquea el desplazamiento lateral al realizar el acoplamiento, garantizando la rigidez absoluta del sistema frente a manipulaciones. Simultáneamente, su cinemática permite la liberación del módulo hidropónico mediante un simple movimiento vertical ascendente para facilitar su mantenimiento. La integración de este herraje ha requerido la modificación geométrica de la cara posterior del módulo técnico, incorporando un encastre macho adaptado a las tolerancias del soporte en U.

La implementación conjunta de estas soluciones estructurales se ha traducido en una reducción volumétrica del sistema superior al 50%, pasando de una envolvente exterior inicial que rondaba los 500 mm a dimensiones inferiores a la mitad. Mediante este proceso de refinamiento iterativo, se ha logrado perfeccionar la morfología y ergonomía del producto, maximizando su adaptabilidad arquitectónica sin necesidad de alterar la esencia del concepto base.

1.9.5. Validación mediante Usuarios Sintéticos

Una vez concluidas las iteraciones morfológicas del diseño conceptual, se procede a la fase de validación mediante una muestra de usuarios sintéticos (n=73), generados y simulados a través de Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM). Los cuestionarios íntegros, así como las respuestas y los datos en bruto extraídos de este proceso, se encuentran documentados en el Apartado 2.4 del Anexo.

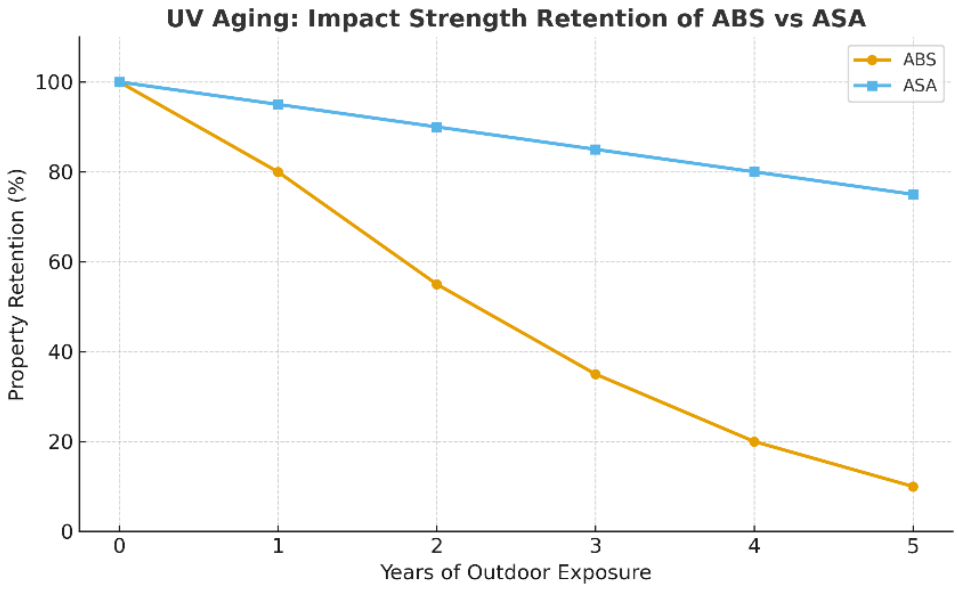
Objetivo de la Encuesta

El presente apartado tiene como propósito analizar de forma empírica la percepción del usuario frente a las distintas configuraciones iniciales del sistema hidropónico, contrastando el modelo sin recubrimiento (estética "Naked") frente al modelo provisto de piel exterior. Para ello, se evalúan variables críticas como la integración estética, la ergonomía de mantenimiento, la viabilidad morfológica y la aceptación tecnológica. Dichas variables han sido cuantificadas mediante una escala de Likert (1-5). Los resultados obtenidos permiten validar empíricamente tanto los requisitos funcionales del sistema como las decisiones de diseño estético.

Análisis de Resultados

- **Rechazo a la exposición tecnológica:** El 52% de la muestra penalizó de forma directa (puntuaciones de 4 y 5) la estética "Naked", la mediana se situó en un valor de 4. Este dato ratifica la premisa de que la exposición visual del hardware electromecánico supone un punto de fricción crítico para la integración del dispositivo en el interiorismo doméstico, que ya se había contemplado tanto en los requisitos como en puntos anteriores del proyecto. Por consiguiente, se confirma la eficacia operativa de la "piel exterior" para confinar el módulo técnico (bomba, depósito, cableado y estructura), esta solución técnica alcanzó una aceptación del 64% (puntuaciones de 1 y 2), situando la mediana global en 1, lo que se traduce en una validación total de la arquitectura de doble piel.

- **Degradación de materiales y proliferación biológica:** Representa la mayor preocupación manifestada en el estudio. Más de la mitad de los usuarios mostró reticencia ante la exposición de plásticos y cristales a la acumulación de sarro y la proliferación de algas. La implementación de la piel exterior mitiga en gran parte este riesgo de forma directa al bloquear la incidencia lumínica sobre el depósito. Adicionalmente, la simplificación del mecanismo de extracción facilita rutinas de limpieza que previenen la acumulación de precipitados calcáreos.
- **Resistencia a la radiación ultravioleta (UV):** Los datos reflejan preocupación ante el posible deterioro del dispositivo si este es ubicado en espacios exteriores o con incidencia solar directa.
- **Materiales:** A nivel de materiales, tras la exploración de los dos puntos anteriores y la verificación de los requisitos se podrían diferenciar varios materiales en función de la geometría y función de cada pieza.
    - Piel exterior: Dada la complejidad geométrica de la pieza y la necesidad de ofrecer diferentes acabados estéticos para su integración en diversos entornos, se ha decidido hacer uso de resinas poliméricas. El material seleccionado es el Jesmonite AC100, una resina acrílica con base acuosa y libre de disolventes que permite una excelente adaptabilidad morfológica mediante colada. Este material presenta una buena resistencia inherente a la radiación UV, la cual se optimiza y garantiza frente a la intemperie mediante la aplicación de un sellador acrílico superficial tras el curado, asegurando su impermeabilidad y estabilidad visual a lo largo de su ciclo de vida.
    - Módulo técnico superior, al ser una pieza, pensada, diseñada y desarrollada para ser fabricada por moldeo de inyección de plástico, es por ello que se debían buscar materiales que cumpliesen la normativa referente con la combinación de plantas que podrían ser para consumo junto con los requisitos del propio proyecto, es por ello que en el abanico de materiales que se podrían usar se encontraban materiales como el ABS que cumplía de forma excelente los requisitos y la normativa pero debido a la constada preocupación de los usuarios por la fotodegradación podría ser un problema a lo largo del tiempo, para solucionarlo se hace la sustitución directa de este primer polímero por ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato). Tal y como se evidencia en la gráfica comparativa de envejecimiento temporal (ver figura 1.30), el ASA mantiene su estabilidad mecánica y colorimétrica de forma constante frente a la exposición UV prolongada, superando ampliamente la rápida curva de degradación del ABS. Esta transición de material se adopta como solución técnica definitiva, ya que el ASA garantiza una resistencia óptima a la intemperie y a la degradación sin presentar un incremento significativo en los costes de la materia prima ni requerir alteraciones en los parámetros de fabricación por moldeo por inyección. Además de ser un material 100% reciclable mediante procesos mecánicos.



Figuras 1.30: Comparación ASA y ABS frente a los rayos UV y la intemperie. [35]].

- Depósito: El componente destinado a albergar la solución hidropónica y el sistema radicular se fabricará en vidrio. Aunque durante la fase conceptual se evaluó el uso de polímeros técnicos transparentes, el vidrio se ha seleccionado como solución definitiva al ser un material químicamente inerte. Esto garantiza que no se produzca degradación del material y dispersión de microplásticos o aditivos químicos hacia el agua, un requisito indispensable al tratarse de un cultivo que puede ser destinado al consumo humano. Adicionalmente, esta decisión responde a criterios de ecodiseño, ofreciendo una tasa de reciclabilidad superior al final de su vida útil y minimizando el impacto medioambiental del producto.

- **Ergonomía de cierre y mantenimiento del depósito:** El sistema de cierre por bayoneta no es percibido como un factor bloqueante por los usuarios, aunque estos señalan que la secuencia de retirar la piel exterior y el depósito puede generar cierta fricción en el mantenimiento. No obstante, se puede confirmar que el mecanismo de bayoneta garantiza un acoplamiento firme, seguro y confiable, cumpliendo el requisito de evitar derrames accidentales que además al quedar confinado bajo la piel exterior, se protegen los componentes mecánicos y se minimiza el riesgo de manipulación indebida.
- **Aceptación de la limitación tecnológica:** En cumplimiento del requisito **RF-03** (limitación de tecnología innecesaria), la configuración electrónica básica es aceptada por la amplia mayoría de la muestra. Aunque un 29% de los perfiles habría preferido la integración de sensores avanzados, pantallas o conectividad domótica, la validación mayoritaria del diseño actual justifica prescindir de estos componentes, optimizando la viabilidad económica y productiva del sistema.

- **Capacidad de cultivo:** La arquitectura del módulo técnico restringe la capacidad a una única cesta (una planta por módulo). Esta restricción espacial es validada por más del 55% de los encuestados, frente a un 15% que percibe esta limitación agronómica como negativa. Los datos consolidan la decisión de mantener la estandarización de un solo alojamiento radicular por unidad funcional.

Conclusiones de la Validación y Definición del Sistema

A partir del análisis de los resultados obtenidos en la validación mediante usuarios, se extraen las siguientes conclusiones directrices que consolidan el diseño definitivo:

- **Validación estética y segmentación de producto:** La configuración del sistema provista de "piel exterior" queda validada empíricamente como la solución estándar para el mercado doméstico general. Por su parte, la variante sin recubrimiento (estética "Naked") se mantendrá en el catálogo como una alternativa de nicho, orientada específicamente a perfiles de interiorismo nicho o usuarios que demanden una estética industrial con este tipo de estética a la vista.
- **Funcionalidad preventiva de la envolvente:** Se ratifica que la "piel exterior" trasciende su propósito puramente ornamental para consolidarse como un elemento funcional. Al actuar como barrera física ante la luz que incida sobre el depósito, y trabajando en sinergia con la oxigenación constante del fluido, bloquea la incidencia de luz directa y mitiga drásticamente el riesgo de proliferación de algas o biomasa indeseada.
- **Optimización de materiales por resistencia ultravioleta (UV):** En respuesta a la fricción detectada respecto a la degradación de los componentes, se elige el ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato) para la fabricación del módulo técnico. Este polímero técnico garantiza una resistencia superior a la intemperie y a la radiación solar, asegurando la integridad estructural del sistema. Paralelamente, se incorporan protocolos de sellado protector superficial para blindar el material de la piel exterior frente a la degradación ambiental.
- **Validación cinemática del cierre:** El mecanismo de anclaje mediante cierre de bayoneta queda perfilado como una solución mecánicamente eficaz, segura y ergonómica, confirmándose la ausencia de fricción operativa o inconvenientes durante los ciclos de mantenimiento del depósito.

En consecuencia, la arquitectura y los materiales del sistema hidropónico quedan completamente definidos. El diseño final cumple de forma íntegra con los requisitos técnicos preestablecidos en el pliego de condiciones y cuenta con la validación empírica definitiva, tanto a nivel funcional como estético, por parte de los usuarios.

1.10. Resultados finales

El presente apartado tiene como objetivo exponer la resolución formal del sistema hidropónico mediante renders tridimensionales con un buen grado de

fotorrealismo. Esta visualización permite validar las proporciones, la materialidad y la integración arquitectónica del producto antes de su fase de prototipado físico, detallando tanto el núcleo técnico como el sistema de envolventes (pieles exteriores) y derivaciones conceptuales.

1.10.1. Configuración Definitiva. Con Piel Exterior





Figuras 1.31: Render del sistema hidropónico con piel exterior. [Elaboración propia].

1.10.2. Embellecedor



Figuras 1.32: Render del embellecedor que acompaña al sistema. [Elaboración propia].

1.10.3. Integración Espacial: Renders en Contexto



Figuras 1.33: Renders del sistema hidropónico con piel exterior en contexto. [Elaboración propia].



Figuras 1.34: Detalle Render del Sistema hidropónico. [Elaboración propia].

1.10.4. Módulo Técnico. Configuración "Naked"



Figuras 1.35: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo japandi. [Elaboración propia]..



Figuras 1.36: Render del sistema hidropónico sin piel exterior estilo industrial “naked” en contexto. [Elaboración propia].

1.10.5. Pieles Exteriores. Personalización Morfológica Para Distintos Ambientes

1.10.5.1. Japandi



Figuras 1.37: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo japandi. [Elaboración propia]..



Figura 1.38: Renders del sistema hidropónico con piel exterior estilo ¡apandi en contexto. [Elaboración propia].

1.10.5.2. Modernismo



Figuras 1.39: Renders del sistema hidropónico con piel exterior estilo moderno. [Elaboración propia].



Figuras 1.40: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo moderno en contexto. Detalle. [Elaboración propia].



Figuras 1.41: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo moderno en contexto. Con detalles. [Elaboración propia].

1.10.5.3. Industrial



Figuras 1.42: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo industrial. [Elaboración propia].



Figuras 1.43: Renders del sistema hidropónico con piel exterior estilo industrial en contexto. Incluye Detalle. [Elaboración propia].

1.10.5.4. Minimalista



Figuras 1.44: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo minimalista. [Elaboración propia].



Figuras 1.45: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo minimalista en detalle. [Elaboración propia].

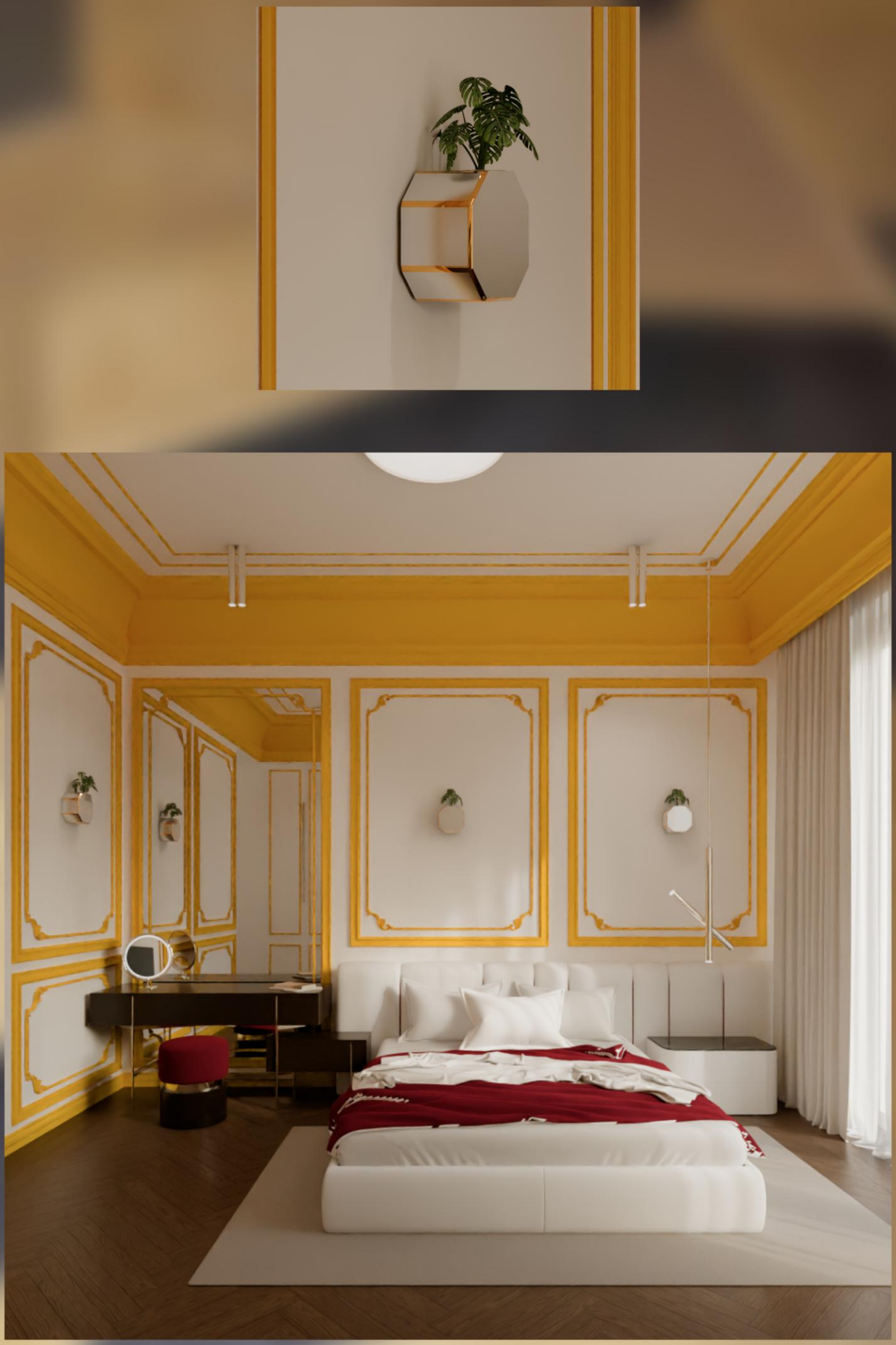


Figuras 1.46: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo minimalista en contexto. [Elaboración propia].

1.10.5.5. Neo Art Decó



Figuras 1.47: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo neo art decó. [Elaboración propia].

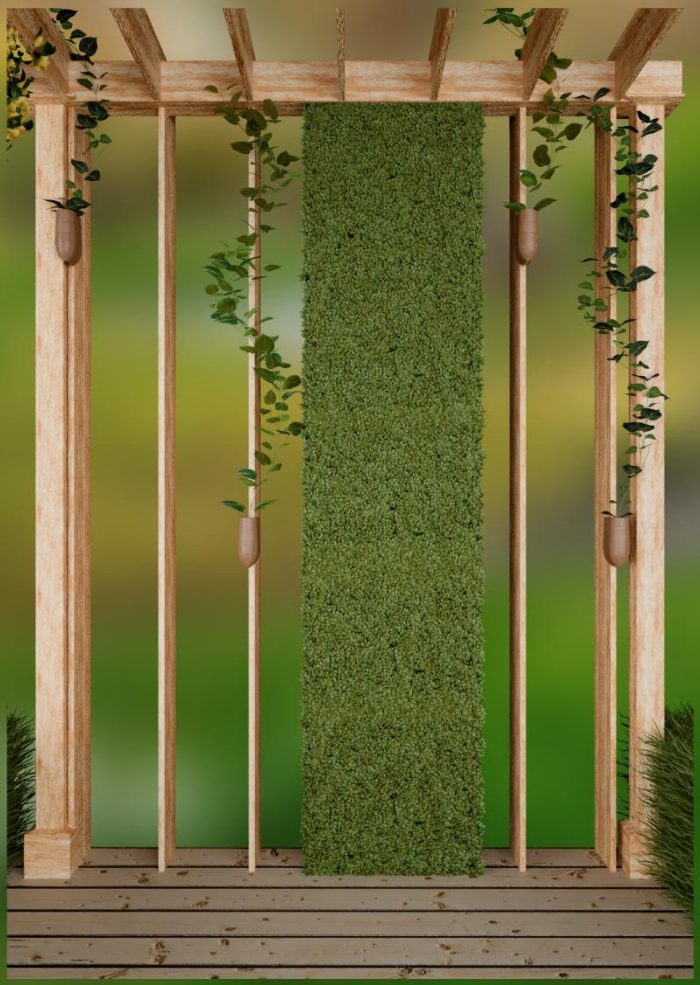


Figuras 1.48: Render del sistema hidropónico con piel exterior estilo neo art decó en contexto. [Elaboración propia].

1.10.6. Expansión del Ecosistema: Adaptabilidad del Concepto Hidropónico

1.10.6.1. Pérgola



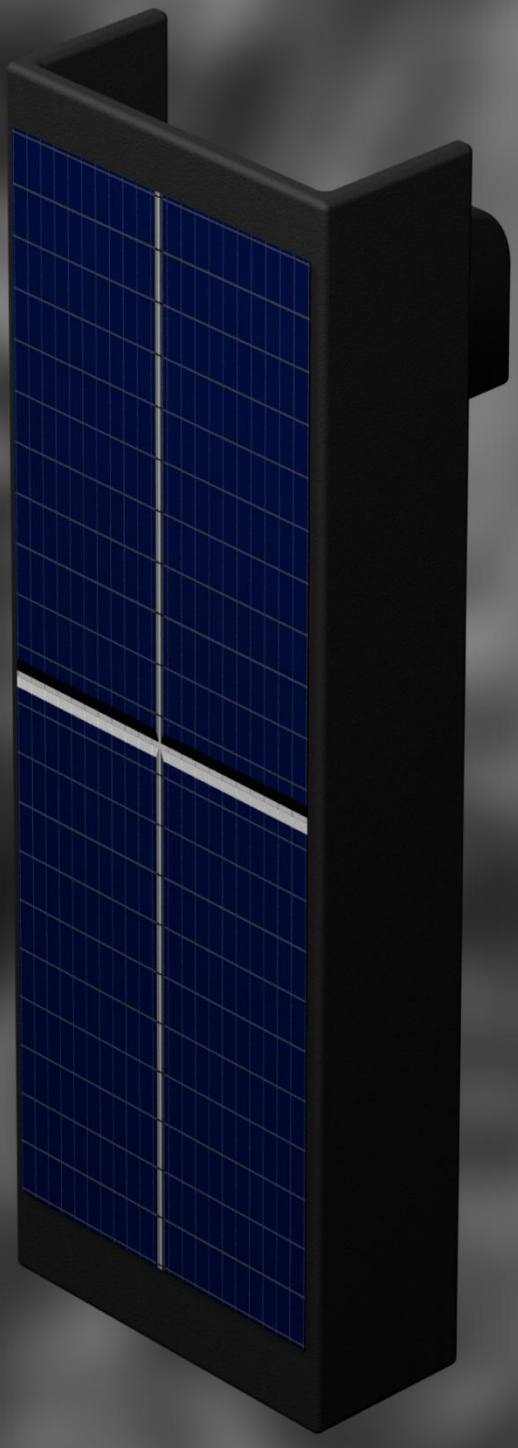


Figuras 1.49: Detalle del sistema hidropónico instalado en pérgolas para decoración de exteriores. [Elaboración propia].



Figuras 1.50: Render del sistema hidropónico con piel exterior, en pérgola de jardín. Zona exterior en contexto. [Elaboración propia].

1.10.6.2. Autosuficiencia Energética



Figuras 1.51: Render del embellecedor con incorporación de placa solar sin contexto. Color negro. [Elaboración propia].



Figuras 1.52: Render del embellecedor con incorporación de placa solar. Color madera clara. [Elaboración propia].



Figuras 1.53: Render del embellecedor con incorporación de placa solar. Sin contexto. [Elaboración propia].



Figuras 1.54: Render del embellecedor con incorporación de placa solar en posición de uso. Render en contexto. [Elaboración propia].

1.10.6.3. Acento Decorativo: Centro de Mesa



Figuras 1.55: Render conceptual "Centro de mesa" con esquema de posicionamiento de los distintos elementos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema hidropónico . [Elaboración propia].



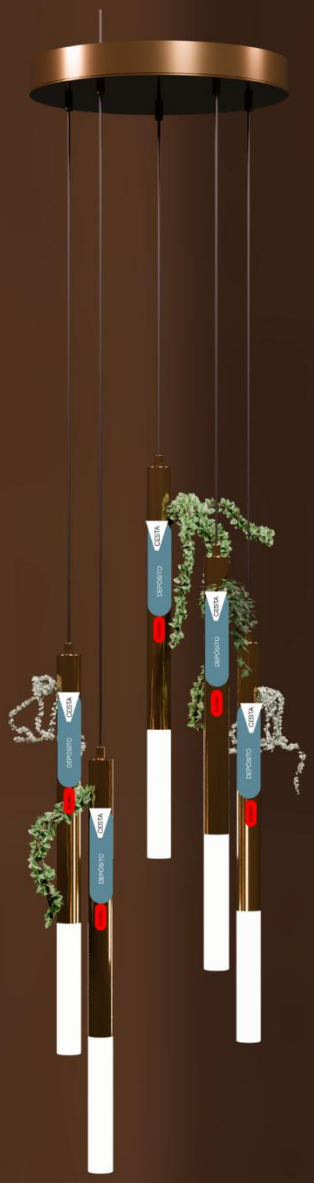
Figuras 1.56: Render conceptual Centro de mesa con perspectiva frontal. [Elaboración propia].



Figuras 1.57: Render conceptual centro de mesa. [Elaboración propia].



Figuras 1.58: Render conceptual centro de mesa en contexto. [Elaboración propia].



Figuras 1.59: Render conceptual "Lámpara de Suspensión Lujosa" con esquema de posicionamiento de los distintos elementos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema hidropónico. [Elaboración propia].

1.10.6.4. Entorno Premium: Lámpara de Suspensión Lujosa

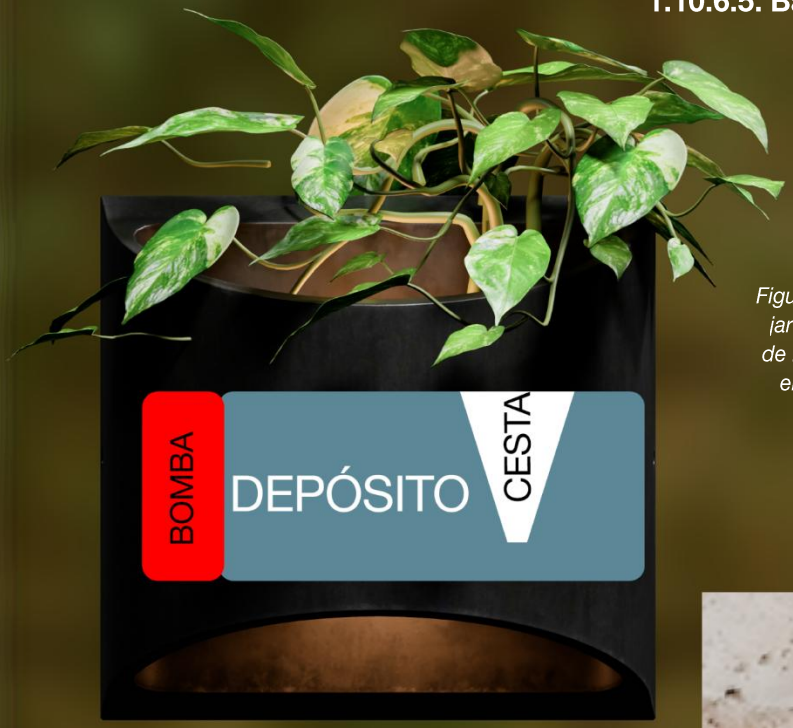


Figuras 1.60: Render conceptual Lámpara de Suspensión Lujosa. [Elaboración propia].



Figuras 1.61: Render conceptual Lámpara de Suspensión Lujosa en contexto. [Elaboración propia].

1.10.6.5. Balizas de Jardín



Figuras 1.62: Render conceptual "Baliza de jardín" con esquema de posicionamiento de los distintos elementos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema hidropónico. [Elaboración propia].



Figuras 1.63: Render conceptual baliza de jardín sin planta. Posicionamiento de la cesta. [Elaboración propia].



Figuras 1.64: Render conceptual baliza de jardín en distintas perspectivas. [Elaboración propia].



Figuras 1.65: Render conceptual baliza de jardín en contexto. Detalle. [Elaboración propia].



Figuras 1.66: Render conceptual baliza de jardín en contexto (oscuridad). [Elaboración propia].

1.11. Planificación

La consecución del presente proyecto se ha estructurado en cuatro fases secuenciales, optimizando los recursos temporales y garantizando la viabilidad técnica antes del paso a la siguiente etapa. El desglose del cronograma (cuyo Diagrama de Gantt se adjunta en el Anexo correspondiente) es el siguiente:

- **Fase 1: Investigación y Conceptualización (Semanas 1 a 4).** Análisis del estado del arte de la hidroponía doméstica, estudio de normativas de materiales, ideación ergonómica y definición de los requisitos técnicos del producto.
- **Fase 2: Ingeniería de Detalle y Modelado CAD (Semanas 5 a 28).** Diseño tridimensional del sistema bajo criterios de inyección de plástico (ASA) y moldeo de resina y vidrio. Esta fase incluye el diseño en sí del sistema, tolerancias de ensamblaje (bayoneta) y alojamiento de los componentes electromecánicos (bombas y LED).
- **Fase 3: Validación y Presupuestación (Semanas 28 a 34).** Establecimiento de los procesos de fabricación, cálculo de NRE (Ingeniería No Recurrente), investigación de proveedores industriales y cierre de la viabilidad económica del sistema.
- **Fase 4: Consolidación Documental (Semanas 34 a 38).** Redacción del conjunto documental bajo el estándar UNE 157001, incluyendo la generación de Planos de Fabricación y el Pliego de Condiciones vinculante.

1.12. Orden de prioridad entre documentos

En caso de discrepancia, omisión o contradicción entre los diferentes documentos que componen el presente proyecto, el orden de prelación y prioridad vinculante para su resolución será estrictamente el siguiente:

1. **Documento 4: Pliego de Condiciones.** (Prevalece sobre todos los demás al constituir la base contractual y normativa del proyecto).
2. **Documento 2: Planos.** (Prevalecen las cotas numéricas expresadas en el cajetín o en el dibujo sobre la medición a escala geométrica).
3. **Documento 6: Presupuesto.** (Prevalece sobre el Estado de Mediciones en cuanto a la asignación de precios unitarios).
4. **Documento 5: Estado de Mediciones.**
5. **Documento 1: Memoria y Anexos.** (Documentos de carácter descriptivo y justificativo, con la menor prioridad contractual).

Anexos

Índice Anexos

2.1. Estudio de usuarios: Modelos de encuesta y datos en bruto 108
2.1.1. Cuestionario para Usuarios Potenciales 109
2.1.2. Cuestionario para Usuarios Expertos 111
2.2. Resultados y Representación Gráfica 122
2.2.1. Resultados Cuestionario Usuario Potencial 122
2.2.2. Resultados de los Usuarios Expertos 125
2.3. Ideación y Bocetado de Conceptos 127
2.4. Encuesta de validación del diseño mediante Usuarios Sintéticos 139
2.4.1. Descripción y preguntas realizadas en la encuesta 139
2.4.2. Resultados de la encuesta 140
2.5. Fichas de datos técnicos 142
2.5.1. Jesmonite AC100 142
2.5.2. ASA 144
2.5.3. Vidrio sodocálcico 146

2. Anexos

2.1. Estudio de usuarios: Modelos de encuesta y datos en bruto

El presente anexo recoge la documentación íntegra de las encuestas realizadas para la definición de los requisitos de diseño del sistema hidropónico. Con el fin de garantizar la trazabilidad metodológica y el rigor de los datos expuestos en la Memoria del proyecto, este apartado se divide en dos principalmente: la encuesta a usuario

potenciales y la encuesta realizada a los usuarios expertos que, a su vez, se dividen en tres secciones fundamentales: los instrumentos de medida empleados (cuestionarios en bruto), el tratamiento gráfico de las variables críticas y la tabulación completa de las respuestas obtenidas. Además, para evitar una mala interpretación de los resultados, se transcriben literalmente las estructuras de los dos formularios lanzados al mercado objetivo: el dirigido al usuario potencial (n=69) y el dirigido a los expertos (n=16).

2.1.1. Cuestionario para Usuarios Potenciales

Texto introductorio: “ES: Este cuestionario forma parte de un estudio realizado en el contexto de un Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto en la Universidad de Cádiz (España). El objetivo de la encuesta es recoger diferentes perspectivas y experiencias relacionadas con el cultivo interior y su posible integración en el entorno doméstico. Las respuestas serán utilizadas únicamente con fines académicos y de investigación. No se recopilará información personal identificable ni se almacenarán datos que permitan identificar a los participantes. La participación es completamente voluntaria y el cuestionario tiene una duración aproximada de unos pocos minutos. Tu opinión y experiencia son de gran valor para el desarrollo del proyecto.

Muchas gracias por tu tiempo y por contribuir a esta investigación.

EN: This questionnaire is part of a research study conducted within the context of a Bachelor's Final Project in Industrial Design Engineering and Product Development at the University of Cádiz (Spain). The aim of this survey is to gather different perspectives and experiences related to indoor growing and its potential integration into domestic environments.

The responses will be used exclusively for academic and research purposes. No personally identifiable information will be collected, and no data that could identify participants will be stored.

Participation is completely voluntary, and the questionnaire should take only a few minutes to complete. Your opinion and experience are very valuable for the development of this project.

Thank you very much for your time and for contributing to this research.”

Después del texto introductorio, el usuario podía seleccionar el idioma en el que quería responder el cuestionario: Español / Inglés. Todos los usuarios que respondieron al cuestionario lo hicieron en español.

Bloque 1: Perfil y Contexto

¿En qué país resides?

- Pregunta de respuesta corta a completar por el usuario. (Ej. España, Francia, Italia)

Tramo de edad:

- Menos de 18 años (Opción vacía en los datos reales)
- 18 - 25 años

- 26 - 35 años
- 36 - 45 años
- 46 - 55 años
- 56 años o más

¿Cuál es tu situación de convivencia actual?

- Vivo solo/a.
- Vivo en pareja.
- Comparto piso con otras personas (amigos, compañeros, etc.).
- Vivo con mi familia (padres, hijos, etc.).

Actualmente, ¿tienes plantas en tu hogar?

- Sí, principalmente como decoración.
- Sí, e intento cultivar cosas para comer (hierbas, tomates, etc.).
- No, se me mueren o no tengo tiempo.
- No me interesa tener plantas en casa.

¿Sabes qué es el cultivo hidropónico?

- Sí, sé lo que es.
- Me suena, pero no sé exactamente qué es.
- No, nunca lo he escuchado.

Bloque 2: Presentación del Concepto y Fricciones (El test de tolerancia)

Sabiendo esto, ¿te interesaría tener un sistema así en tu casa para cultivar?

- Sí, definitivamente.
- Tal vez, depende de cómo sea.
- No, no lo veo en mi casa.

Para que este sistema funcione en el interior de una casa, tiene ciertos requisitos que pueden ser innegociables. Del 1 al 5, ¿cuánto te molestaría cada uno de estos factores en tu salón o cocina? (Escala general: 1. No me molesta nada — 5. Me resulta inaceptable)

- Tener una luz LED brillante encendida de 12 a 14 horas al día. (Opciones: 1, 2, 3, 4, 5)
- Un ligero zumbido continuo (similar al de una nevera) por la bomba de agua. (Opciones: 1, 2, 3, 4, 5)
- Tener que limpiar el depósito de agua y añadir nutrientes cada 2 semanas. (Opciones: 1, 2, 3, 4, 5)
- Que el sistema ocupe el espacio equivalente a un microondas. (Opciones: 1, 2, 3, 4, 5)

Bloque 3: Validación de Diseño, Ubicación y Modelo de Negocio

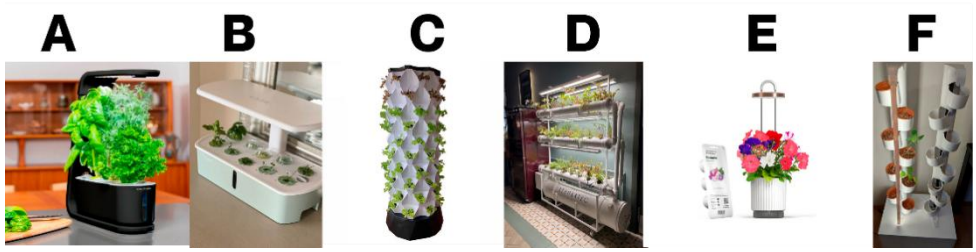
Ordena estos 6 sistemas desde el que MÁS te gustaría tener en tu casa (primero) hasta el que MENOS (sexto).

(Pregunta visual de ordenación de los Sistemas A, B, C, D, E y F)

Figura A.2.1.: Sistemas comerciales ordenados por letras para que el encuestado pueda elegir [Elaboración propia].

Sabiendo que puedes cultivar tanto comida como plantas puramente decorativas, si tuvieras que elegir entre estos dos extremos para tu casa, ¿con cuál te quedarías?

- Prefiero un sistema precioso que parezca un mueble, aunque produzca muy pocas plantas.
- Prefiero un sistema puramente funcional que produzca mucha comida, aunque parezca un aparato técnico.
- Un punto intermedio exacto.



¿En qué lugar exacto de tu casa te encajaría mejor el sistema que has elegido como favorito?

- Integrado en el interior de un mueble (cocina, salón...)
- A la vista en cualquier estancia (como cualquier maceta)
- En un balcón o en una terraza cerrada

Si el sistema soluciona el ruido, la luz no molesta y encaja con tu decoración, ¿cuánto pagarías por él?

- Menos de 100 euros.
- Entre 100 y 200 euros.
- Entre 200 y 300 euros.
- Más de 300 euros si el diseño y los materiales son de alta calidad.
- (Nota: Hubo respuestas personalizadas cortas en los datos reales como "Menos de 50 euros" o "100 euros pero no mucho más")

2.1.2. Cuestionario para Usuarios Expertos

Texto introductorio: "ES: Este cuestionario forma parte de un estudio realizado en el contexto de un Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto en la Universidad de Cádiz (España). El objetivo de la encuesta es recoger diferentes perspectivas y experiencias relacionadas con el cultivo interior y su posible integración en el entorno doméstico.Las respuestas serán utilizadas únicamente con fines académicos y de investigación. No se recopilará información personal identificable ni se almacenarán datos que permitan identificar a los participantes.La participación es completamente voluntaria y el cuestionario tiene una duración aproximada de unos pocos minutos. Tu opinión y experiencia son de gran valor para el desarrollo del proyecto.

Muchas gracias por tu tiempo y por contribuir a esta investigación.

EN: This questionnaire is part of a research study conducted within the context of a Bachelor's Final Project in Industrial Design Engineering and Product Development at the University of Cádiz (Spain). The aim of this survey is to gather different perspectives and experiences related to indoor growing and its potential integration into domestic environments.The responses will be used exclusively for academic and research purposes. No personally identifiable information will be collected, and no data that could identify participants will be stored.Participation is completely voluntary, and the questionnaire should take only a few minutes to complete. Your opinion and experience are very valuable for the development of this project.

Thank you very much for your time and for contributing to this research."

Después del texto introductorio, el usuario podía seleccionar el idioma en el que quería responder el cuestionario: Español / Inglés. Las preguntas tanto en español como en inglés eran las mismas, por lo que solo se escriben en el anexo las preguntas en el idioma: Español.

Bloque 1: Perfil y Contexto

¿Cuál de las opciones describe mejor tu perfil?

- Interiorista / Arquitecto
- Paisajista / Diseñador biofílico
- Cultivador / Productor
- Aficionado al cultivo en casa
- Chef / Gastronomía
- Ingeniero / Diseñador de producto
- Otro:

¿En qué país resides?

- Pregunta de respuesta corta a completar por el usuario. (Ej. España, Argentina, México, UK, Italia, etc.)

(ES) BLOQUE **PARA INTERIORISTAS / ARQUITECTOS / DISEÑO BIOFÍLICO**

¿Conoces los cultivos hidropónicos? La hidroponía es el arte de cultivar sin sustratos o tierra. Las plantas crecen directamente en agua con nutrientes, haciéndolo más limpio, rápido y adaptable a cualquier espacio de tu casa.

- Sí
- No
- Otro:

Desde tu experiencia profesional, ¿crees que los clientes aceptarían integrar sistemas de cultivo (de plantas tanto decorativas como de consumo) en sus viviendas? (Escala: 1. No, de ninguna manera — 5. Sí, totalmente)

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

Y en el caso de que este sistema funcionara mediante TECNOLOGÍA HIDROPÓNICA:

- Sí
- No
- Sería una mejor opción
- Otro:

Como profesional del interiorismo y la decoración, por qué motivo usarías un sistema hidropónico con un cliente.

- Pregunta de respuesta larga a completar por el usuario en base a su experiencia.

¿En qué tipo de proyectos crees que tendría más sentido integrar un sistema de cultivo interior? Puedes elegir varios

- Vivienda privada
- Restaurantes
- Oficinas
- Hoteles
- Espacios educativos
- Retail / tiendas
- Todos los anteriores
- Otro:

Desde tu experiencia, ¿Qué valor aportan las plantas dentro del diseño de interiores? (Puedes seleccionar varias)

- Bienestar psicológico
- Mejora estética del espacio
- Conexión con la naturaleza
- Identidad del proyecto
- Sostenibilidad
- Mejora de la calidad del aire
- Otro:

La presencia de plantas (decorativas o comestibles) en interiores puede mejorar la experiencia del espacio doméstico. (Escala: 1. Totalmente en desacuerdo — 5. Totalmente de acuerdo).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

Los sistemas de cultivo interior pueden contribuir a reforzar la conexión entre las personas y la naturaleza. (Escala: 1. Totalmente en desacuerdo — 5. Totalmente de acuerdo).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

Integrar sistemas de cultivo en el hogar puede aportar beneficios psicológicos a los usuarios. (Escala: 1. Totalmente en desacuerdo — 5. Totalmente de acuerdo)

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

¿Dónde integrarías un sistema de cultivo en un proyecto doméstico?

- Encimera de cocina
- Isla de cocina
- Estanterías
- Pared vegetal
- Mueble específico
- Integrado en arquitectura
- Otro:

SISTEMAS COMERCIALES - Se te mostrarán **seis sistemas**

A continuación, se presentan varios sistemas hidropónicos domésticos actualmente disponibles en el mercado. Le ruego que los observe durante unos instantes y responda a las siguientes cuestiones según su criterio profesional.

Su valoración resulta de gran relevancia para el desarrollo del proyecto, especialmente en relación con la integración de este tipo de sistemas en entornos domésticos.

Se mostró la figura A.2.1. que también se les mostró a los Usuarios Potenciales.

¿Consideraría la posibilidad de incorporar un sistema de este tipo en sus proyectos de diseño? Puedes elegir más de uno

- Sistema A
- Sistema B
- Sistema C
- Sistema D
- Sistema E
- Sistema F
- Ninguno

En base a la respuesta anterior, ¿Por qué lo haría o por qué no lo haría?

- Pregunta de respuesta larga a completar por el usuario

Si pudieras cambiar algo de los sistemas de cultivo interior actuales, ¿Qué sería?

- Pregunta de respuesta larga a completar por el usuario

Te interesaría un sistema, industrializado, modular que pudieras integrar en tus diseños (Escala: 1. No me interesa en absoluto — 5. Sí, me encantaría que lo hubiera en el mercado)

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

¿Podría describir brevemente las características que, en su opinión, debería tener un sistema ideal en cuanto a dimensiones, tipo de cultivo, tecnología empleada (hidroponía) e iluminación? (De forma ideal para ti)

- Pregunta de respuesta larga a completar por el usuario

¿Qué materiales percibes como más adecuados para un sistema así? Puedes elegir varias opciones.

- Madera
- Cerámica
- Metal
- Piedra
- Vidrio
- Bioplásticos
- Materiales reciclados
- Otro:

¿Qué problema te encuentras más a menudo al integrar plantas en interiores? Puedes elegir varias

- Falta de luz natural
- Mantenimiento
- Falta de espacio
- Coste
- Falta de conocimiento del cliente
- Otro:

Los sistemas de cultivo interior pueden convertirse en un elemento de diseño elemental dentro del hogar (Escala: 1. No, en absoluto — 5. Sí, absolutamente).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

La tecnología utilizada en los sistemas de cultivo debería integrarse de forma discreta en el diseño del producto. (Escala: 1. Totalmente en desacuerdo — 5. Totalmente de acuerdo).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

(ES) BLOQUE EXTRA PARA PRODUCTORES O CULTIVADORES

¿Qué sistema te parece más acertado para un usuario doméstico sin conocimientos técnicos sobre el tema y que no sabe mucho sobre este tipo de cultivos? Puedes elegir varias

- Sistema NFT
- Sistema DWC
- Sistema de mecha
- Sistema de goteo
- Aeroponía
- Sistema híbrido (DWC + Goteo)
- Otro:

De media, ¿Cuánto **tiempo a la semana** se necesita para mantener un sistema como este?

- Menos de 30 minutos
- 30–60 minutos
- 1–2 horas
- Más de 2 horas

- Otro:

¿Qué tareas de mantenimiento es más problemáticos en estos sistemas?

- Comprobar el nivel de agua
- Ajustar los nutrientes
- Limpiar el sistema
- Controlar pH / EC
- Revisar bombas y riego
- Cosechar las plantas

Para un usuario principiante, ¿qué parte del cultivo hidropónico suele resultar más confusa?

- Nutrientes
- Control del pH
- Iluminación
- Montaje del sistema
- Selección de plantas
- Otro:

¿Qué cultivos crees que funcionan mejor en sistemas hidropónicos pequeños?

- Flores decorativas
- Hierbas aromáticas
- Microgreens
- Lechugas
- Tomates
- Fresas
- Otro:

¿Qué cultivos te parecen más adecuados para principiantes en hidroponía?

- Flores
- Microgreens
- Lechugas
- Fresas
- Espinacas
- Tomates
- Otro:

¿Cuál es el mayor problema al cultivar en interior? Puedes seleccionar varias

- Falta de luz
- Espacio
- Temperatura
- Humedad
- Nutrientes
- Control de sistema
- Otro:

Si tienes un sistema doméstico o lo has tenido, ¿Lo has automatizado?

- Sí
- No
- No he tenido sistema doméstico / No me ha interesado automatizarlo

Si **marcaste que sí en la anterior pregunta**, ¿Qué consideras que debería estar automatizado, sobre las demás partes del sistema?

- Pregunta de respuesta larga a completar por el usuario

¿Qué tan importante consideras que es la automatización en un sistema doméstico?

- Esencial
- Muy importante
- Moderadamente importante
- Poco importante
- Otro:

La automatización es fundamental para que un sistema hidropónico doméstico funcione correctamente para usuarios principiantes. (Escala: 1. Totalmente en desacuerdo — 5. Totalmente de acuerdo).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

¿Cuál es el parámetro más sencillo de controlar para un principiante?

- Preparación del agua
- Cambio de nutrientes
- Control de luz
- Siembra
- Limpieza
- Otro:

Los sistemas hidropónicos domésticos deberían priorizar la facilidad de uso sobre la eficiencia productiva. (Escala: 1. Totalmente en desacuerdo — 5. Totalmente de acuerdo).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

Los sistemas de cultivo doméstico actuales suelen ser demasiado complejos para usuarios sin experiencia. (Escala: 1. Totalmente en desacuerdo — 5. Totalmente de acuerdo).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

¿Qué ves más a menudo como una barrera en los sistemas domésticos actuales?

- Pregunta de respuesta larga a completar por el usuario

¿Qué ves más a menudo como una barrera para los usuarios principiantes que quieren comenzar con este tipo de cultivos?

- Pregunta de respuesta larga a completar por el usuario

Si pudieras cambiar algo de los sistemas de cultivo interior actuales, ¿Qué sería?

- Pregunta de respuesta larga a completar por el usuario

(ES) BLOQUE EXTRA PARA AFICIONADOS AL CULTIVO EN CASA

¿Por qué empezaste (o empezarías) a cultivar plantas en casa?

- Hobby
- Comida fresca
- Relajación
- Decoración
- Aprender sobre plantas
- Sostenibilidad
- Otro:

¿Dónde sueles cultivar actualmente? Si no lo haces, indica donde lo harías

- Ventana
- Balcón
- Jardín
- Cocina
- Interior con luz artificial
- Otro:

¿Qué tipo de plantas cultivas más? Si no lo haces actualmente, marca lo que te gustaría cultivar

- Hierbas
- Hortalizas
- Plantas ornamentales
- Microgreens
- Plantas medicinales
- Otro

Conoces la hidroponía

- Sí
- No
- He oído hablar de ella pero no sé exactamente qué es.
- Otro:

La hidroponía es un método para cultivar plantas sin usar tierra. En su lugar, las raíces reciben el agua y los nutrientes exactos que necesitan directamente en un sistema más compacto, haciéndolo más limpio, rápido y adaptable a cualquier espacio de tu casa.

¿Le interesaría incorporar sistemas de cultivo hidropónico en su entorno doméstico, ya sea para el cultivo de plantas aromáticas o de consumo?

- Sí

- No
- Ya lo tengo
- Tal vez
- De ninguna manera
- Otro:

¿Qué te resulta más difícil (o puede llegar a resultarte más difícil) al cultivar en casa? Puedes elegir varias

- Saber cuándo regar
- Falta de luz
- Plagas
- Espacio
- Tiempo
- Otro:

¿Te interesaría un sistema que automatice parte del cultivo?

- Mucho
- Bastante
- Poco
- Nada

¿Qué valoras más en un sistema de cultivo doméstico? Puedes elegir varias

- Facilidad de uso
- Diseño bonito
- Producción de alimentos
- Automatización
- Precio
- Otro:

Preferirías un sistema de cultivo que requiera muy poco mantenimiento, incluso si produce menos plantas. (Escala: 1. Poco — 5. Nada).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

Como de importante consideras: **La estética** (Escala: 1. Nada importante — 5. Muy importante).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

Como de importante consideras: **La producción de alimentos** (Escala: 1. Nada importante — 5. Muy importante).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

Como de importante consideras: **Los materiales del conjunto** (Escala: 1. Nada importante — 5. Muy importante).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

Como de importante consideras: **La modularidad del sistema** (Escala: 1. Nada importante — 5. Muy importante).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

Como de importante consideras: **La adaptabilidad del sistema a diferentes cultivos** (Escala: 1. Nada importante — 5. Muy importante).

- Opciones: 1, 2, 3, 4, 5

¿Cuál consideras la mayor barrera para usar un sistema (Sistema hidropónico) así? Puedes elegir varias

- Falta de conocimiento sobre el sistema
- Mal adaptación del diseño del sistema con la decoración de casa
- Mantenimiento del sistema
- Control de parámetros del sistema
- Baja calidad de materiales y/o acabados
- Otro:

Si pudieras cambiar algo de los sistemas de cultivo interior actuales, ¿Qué sería?

- Pregunta de respuesta larga a completar por el usuario

¿Cuánto pagarías por un sistema hidropónico bien diseñado para cultivar en casa?

- Menos de 50 €
- 50–100 €
- 100–200 €
- 200–400 €
- Más de 400 €
- Otro:

(ES) BLOQUE EXTRA PARA INGENIEROS / DISEÑADORES

¿Cuál es su perfil profesional dentro del ámbito de la ingeniería o del diseño? (Por ejemplo: diseño de elementos mecánicos, diseño de producto, etc.)

- Pregunta de respuesta corta a completar por el usuario

¿Conoces o has trabajado con sistemas hidropónicos?

- Sí
- No
- Otro:

En el caso de que el usuario profesional marcase que no había trabajado con los sistemas hidropónicos se le mostraba este texto para finalizar el cuestionario: Muchas gracias por su tiempo y por haber participado en este cuestionario.

Dado que no ha tenido experiencia previa con sistemas hidropónicos, el cuestionario finaliza en este punto. Sus respuestas hasta ahora son igualmente de gran valor para el

desarrollo del proyecto, ya que contribuyen a comprender la percepción y el conocimiento general sobre este tipo de sistemas desde perfiles técnicos.

Le agradezco sinceramente su colaboración y disposición a participar.

Si conocía la hidroponía, el cuestionario continuaba.

¿Qué materiales consideras más adecuados para un sistema hidropónico que necesita contener agua y nutrientes?

- Plásticos aptos para uso alimentario (PP, HDPE, ABS)
- Acero inoxidable
- Aluminio
- Vidrio
- Cerámica
- Bioplásticos
- Materiales compuestos
- Otro:

¿Qué factor consideras más importante al diseñar un sistema hidropónico doméstico?

- Facilidad de limpieza
- Contención y sellado del agua
- Durabilidad
- Coste de fabricación
- Facilidad de montaje
- Modularidad
- Otro:

¿Qué tan importante crees que es la modularidad en un sistema hidropónico como este?

- Esencial
- Muy importante
- Moderadamente importante
- Poco importante

¿Qué desafío de diseño crees que es más crítico en los sistemas hidropónicos de interior? Elección múltiple

- Fugas de agua
- Limpieza e higiene
- Ruido de la bomba
- Integración de la iluminación
- Interacción con el usuario / usabilidad
- Mantenimiento
- Otro:

Si tienes experiencia con los cultivos hidropónicos, ¿Cuál crees que podría ser un punto crítico cuando el sistema se diseñe para uso doméstico?

- Pregunta de respuesta larga a completar por el usuario

¿Se te ocurre alguna forma en la que mejorarías la limpieza del sistema?

- Pregunta de respuesta larga a completar por el usuario

Desde una perspectiva de diseño de producto, ¿Qué haría que un sistema hidropónico tuviera éxito en el hogar? Respuesta abierta.

- Pregunta de respuesta larga a completar por el usuario

2.2. Resultados y Representación Gráfica

En este apartado del anexo se muestran los resultados mediante la visualización directa de los gráficos correspondientes, para, asegurar así la legibilidad de los contrastes. Estos resultados han determinado, en parte, las decisiones del diseño y arquitectura del producto.

2.2.1. Resultados Cuestionario Usuario Potencial

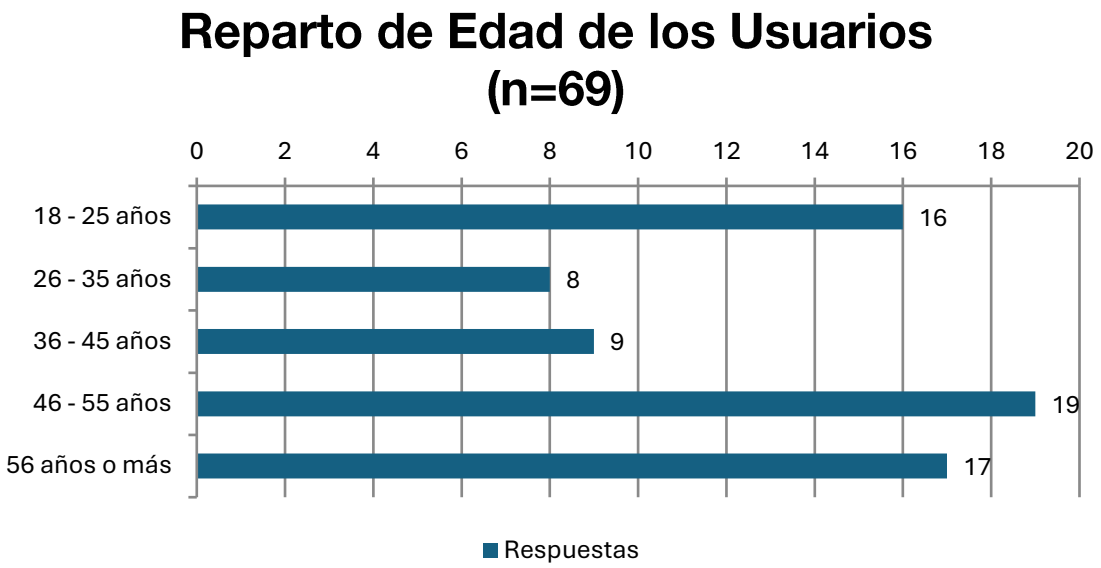


Figura A.2.2. Rango de edad de los encuestados como Usuarios Potenciales [Elaboración propia].

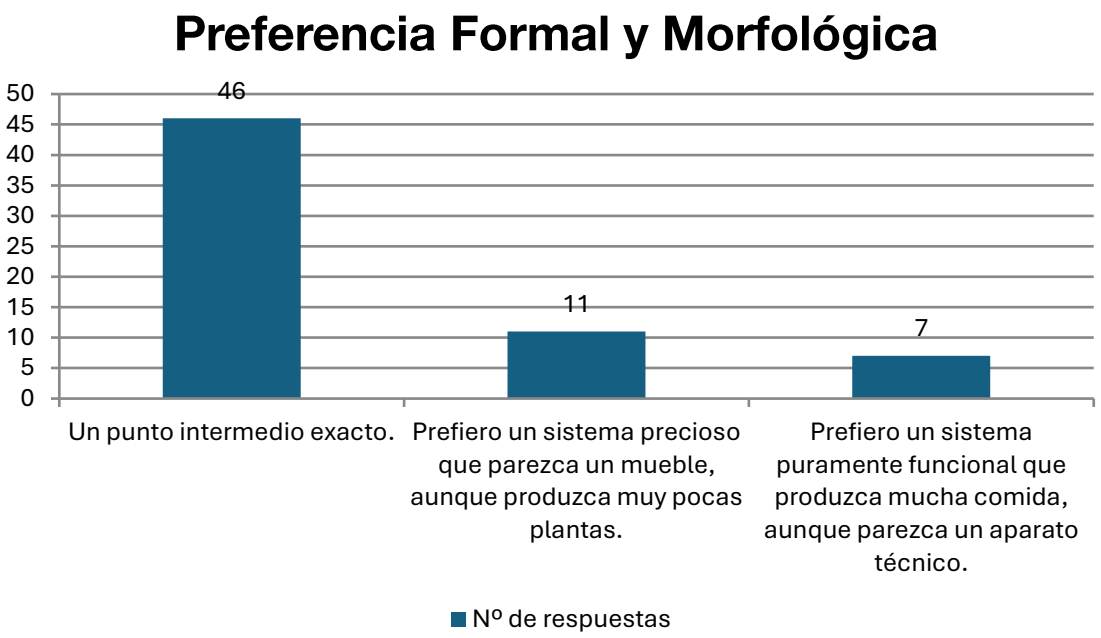


Figura A.2.3. Preferencia sobre productividad del sistema [Elaboración propia].

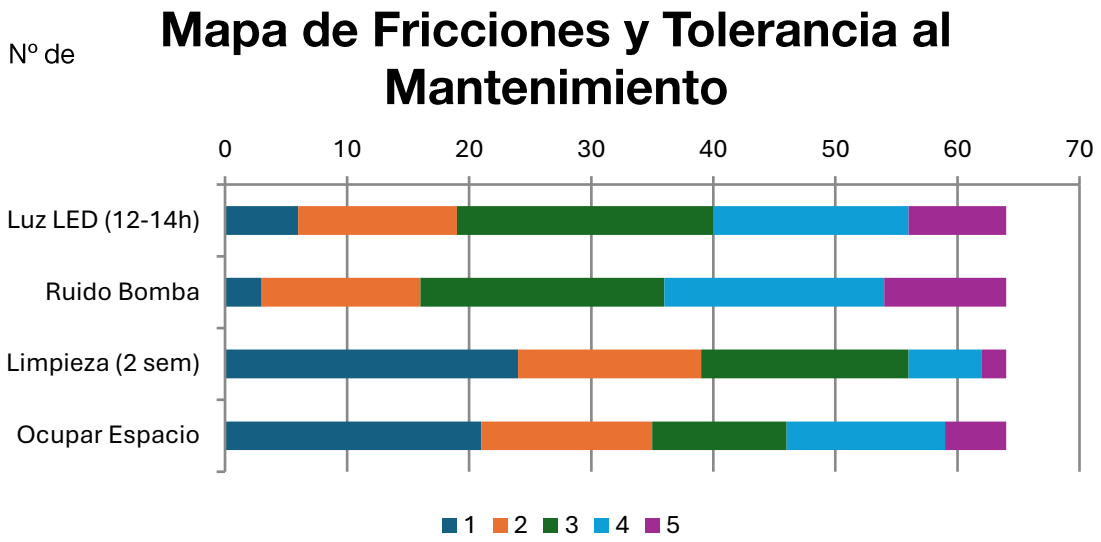


Figura A.2.4. Fricciones y Toleracias de los Usuarios Potenciales [Elaboración propia].

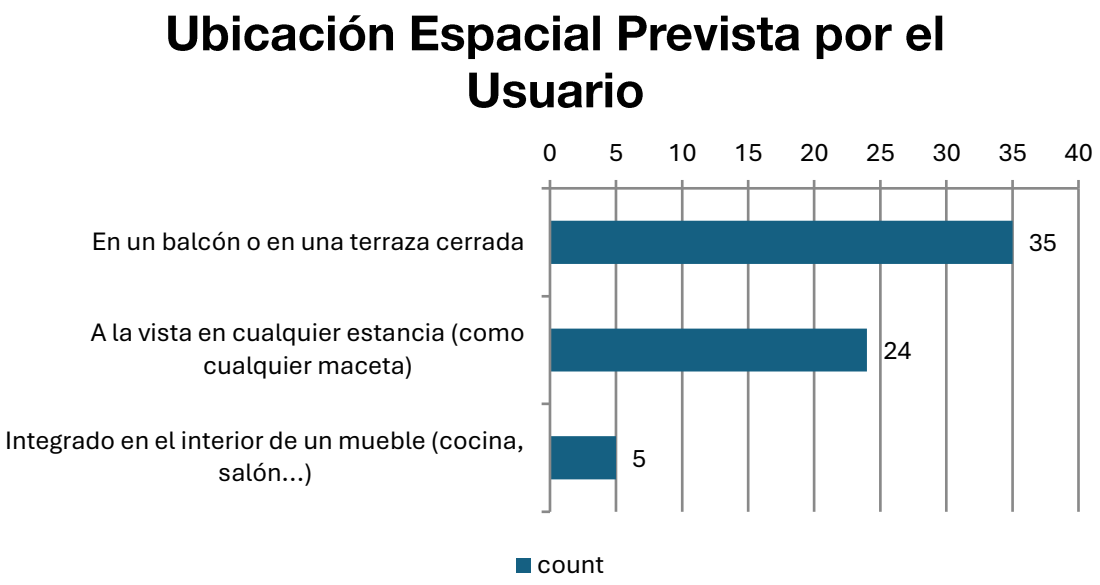


Figura A.2.5. Ubicación prevista por los Usuarios Potenciales [Elaboración propia].

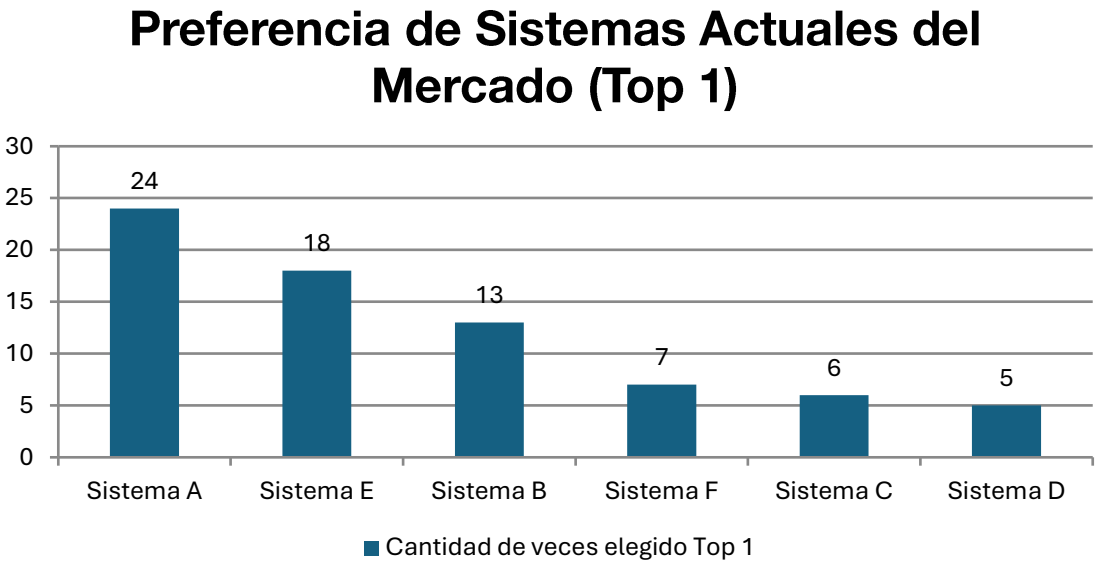


Figura A.2.6. Preferencias de los sistemas mostrados a Usuarios Potenciales. Se muestran los sistemas que se enseñaron en la Figura A.2.1. [Elaboración propia].

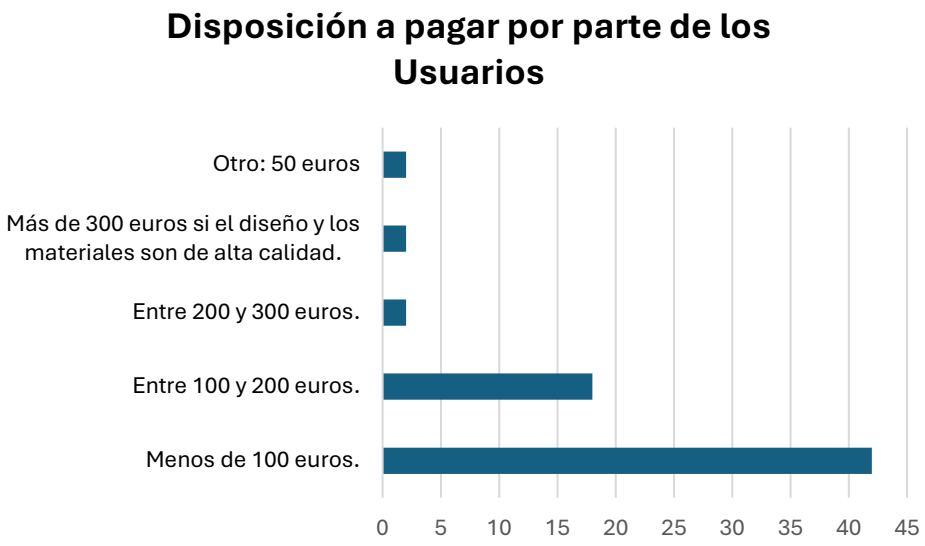


Figura A.2.7. Rango de precios que los Usuarios Potenciales estarían dispuestos a pagar por un sistema hidropónico doméstico [Elaboración propia].

2.2.2. Resultados de los Usuarios Expertos

Se comenta en este punto del anexo que no todos los usuarios Expertos contestaron a las preguntas de respuesta larga, por lo que incluso siendo una encuesta en la que se mezclaban resultados cuantitativos y resultados cualitativos, los resultados cualitativos reflejados en la figura A.2.8 no contemplan a todos los usuarios.

Tabla A.2.1. Respuestas a preguntas por parte de los usuarios expertos citadas [Elaboración propia].

Categoría / Tema Evaluado	Perfil del Experto (Anonimizado)	Citas Literales Extraídas (Evidencia en bruto)
Ocultación Tecnológica y Ruido Visual	E10 (Interiorista / Arquitecto)	"*Ocultación absoluta de cables y mecánica (Minimalismo puro) [...] El depósito de agua y el motor deberían estar ocultos en un bloque monolítico y limpio, con un diseño de líneas rectas y puras donde la tecnología sea 100% invisible.*"
Ocultación Tecnológica y Ruido Visual	E12 (Interiorista / Arquitecto)	"*Integrar la utilidad, la funcionalidad del riego, etc. con el acabado o diseño final (esconder los sistemas de riego o instalaciones).*"
Ocultación Tecnológica y Ruido Visual	E02 (Interiorista / Arquitecto)	"*Deberían estar ocultos o integrados en el diseño [...].*"
Ocultación Tecnológica y Ruido Visual	E14 (Interiorista / Arquitecto)	"*(Lo que cambiaría de los sistemas actuales es su) estética demasiado tecnológica.*"

Materialidad y Lenguaje Formal	E10 (Interiorista / Arquitecto)	*"Erradicar el plástico brillante por materiales nobles y crudos [...] Cambiaría los tubos de PVC y bandejas de plástico por acero lacado en negro mate, bases de hormigón arquitectónico y detalles en madera de fresno o roble claro (esencia nórdica y Japandi)."*
Materialidad y Lenguaje Formal	E02 (Interiorista / Arquitecto)	*"[...] construidos con materiales naturales, aunque la estructura sea plástica y libre de BPA. De esta manera conectarían con la naturaleza, la estética del espacio y la filosofía de lo 'natural'."*
Materialidad y Lenguaje Formal	E16 (Paisajista / Diseñador Biofílico)	*"Los materiales (de los sistemas actuales) son demasiado 'fríos', no tienen una personalidad natural. (Cambiaría) los materiales y el diseño por materiales naturales y un estilo más natural."*
Materialidad y Lenguaje Formal	E11 (Paisajista / Diseñador Biofílico)	*"(Cambiaría) el diseño del contenedor."*
Experiencia de Usuario (UX) y Mantenimiento	E09 (Ingeniero / Diseñador de Producto)	*"Que el diseño esté compartimentado para que, a la hora de realizar el mantenimiento, se pueda extraer únicamente la pieza deseada, y no se tenga que desmontar toda la estructura."*
Experiencia de Usuario (UX) y Mantenimiento	E09 (Ingeniero / Diseñador de Producto)	*"Mejorar su interacción con el producto. Que el momento de cultivar en el hogar sea un ritual [...] Debe ser fácil de limpiar y montar, lo cual aumentaría en gran medida el grado de satisfacción del usuario."*
Experiencia de Usuario (UX) y Mantenimiento	E03 (Ingeniero / Diseñador de Producto)	*"Desde una perspectiva de diseño de producto, priorizar la experiencia de usuario es clave. [...] El proceso de limpieza debe mejorarse, ya que una mala experiencia de usuario puede hacer que se retrase el mantenimiento, afectando a la salud del sistema."*
Experiencia de Usuario (UX) y Mantenimiento	E04 (Ingeniero / Diseñador de Producto)	*"(El éxito radica en) la estética y la facilidad de uso. [...] Usar materiales que sean fáciles de limpiar."*
Gestión Lumínica	E10 (Interiorista / Arquitecto)	*"Control estricto de la temperatura de la luz: Exigiría sistemas con luces LED de espectro completo que emitan una luz blanca y cálida (2700K - 3000K), funcionando no solo para la fotosíntesis, sino como una iluminación ambiental indirecta que aporte ese toque hygge (acogedor) al anochecer."*

Capacidad y Dimensiones	E01 (Aficionado al Cultivo)	"*(El factor clave para el éxito del sistema en el hogar es) el tamaño.*"

2.3. Ideación y Bocetado de Conceptos

El presente apartado del anexo se documenta el proceso de exploración creativa y morfológica llevado a cabo durante las fases tempranas del proyecto. Se expone el registro gráfico (bocetado) de las propuestas preliminares, las cuales constituyen la respuesta inicial a los problemas de diseño detectados en el estudio de usuario (Memoria, Apartado 1.6) y a los requerimientos técnicos establecidos (Memoria, Apartado 1.7).

Para garantizar la comprensión de los mismos, cada boceto se presenta mediante una breve descripción conceptual para facilitar el entendimiento de la idea. Tras la ideación se hizo una agrupación que dio lugar a las alternativas conceptuales consolidadas y evaluadas en el Apartado 1.8 de la Memoria.

Despertador Hidropónico

Este concepto explora la hibridación entre un sistema de cultivo de interior y un reloj despertador lumínico. La premisa funcional radica en aprovechar el ciclo de iluminación LED, necesario para el fotoperiodo y desarrollo de la planta, como estímulo visual para el despertar progresivo del usuario. A nivel constructivo, la arquitectura del producto garantizaría la ocultación total de los componentes electrónicos y mecánicos (cableado y luminarias), integrándolos de forma invisible dentro de la envolvente principal. Asimismo, la superficie superior incorpora un puerto de llenado accesible, diseñado para facilitar la reposición de la solución nutritiva sin requerir el desmontaje de toda o parte de la estructura.

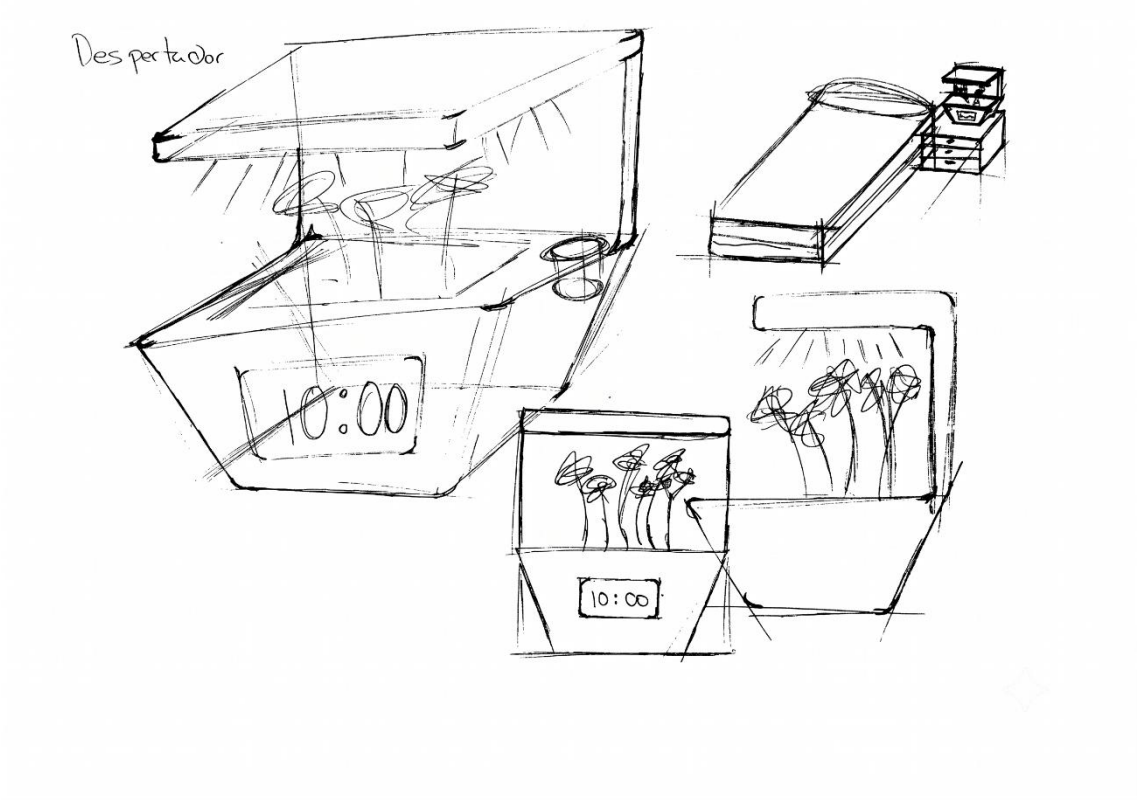


Figura A.2.8: Concepto 1: "Despertador hidropónico". [Elaboración propia].

Módulo de biblioteca

Este concepto plantea la inserción del sistema hidropónico directamente en el mobiliario de almacenamiento (como estanterías o librerías), funcionando estructuralmente como un modulador del espacio y separador de ambientes. Morfológicamente, el diseño incorpora una geometría en voladizo que desplaza la cesta de cultivo hacia el exterior, esta solución técnica garantiza que el dosel vegetal crezca libre de interferencias físicas o bloqueos lumínicos provocados por las baldas superiores. A nivel de ingeniería, la totalidad del núcleo técnico, depósito de solución nutritiva, sistema de bombeo y cableado, queda confinado de forma estanca dentro de una carcasa monolítica ciega, asegurando la ocultación tecnológica absoluta para no alterar la composición estética del mueble.

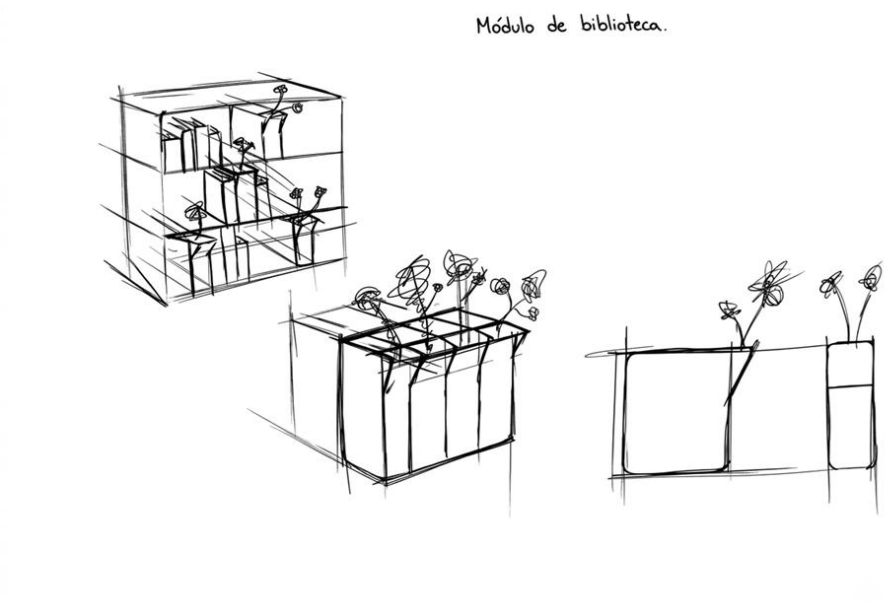


Figura A.2.9: Concepto 2: "Módulo de biblioteca". [Elaboración propia].

Jardinera para rejas

Este concepto proyecta la integración del sistema hidropónico en espacios de transición o exteriores, utilizando elementos arquitectónicos preexistentes como pueden ser las barandillas, celosías o perfiles; como soporte estructural. Para ello, la envolvente exterior incorpora un elemento de fijación integrada que asegura la estabilidad del conjunto en voladizo. A nivel volumétrico, el diseño se basa en una arquitectura modular: el bloque base dispone de alojamiento para dos cestas de cultivo y está concebido para permitir un acoplamiento lateral continuo, facilitando la escalabilidad del sistema para cubrir superficies mayores. Manteniendo la premisa de ocultación tecnológica, la totalidad de los componentes electromecánicos y el depósito

de fluido quedan confinados de forma estanca bajo la carcasa estructural del módulo.

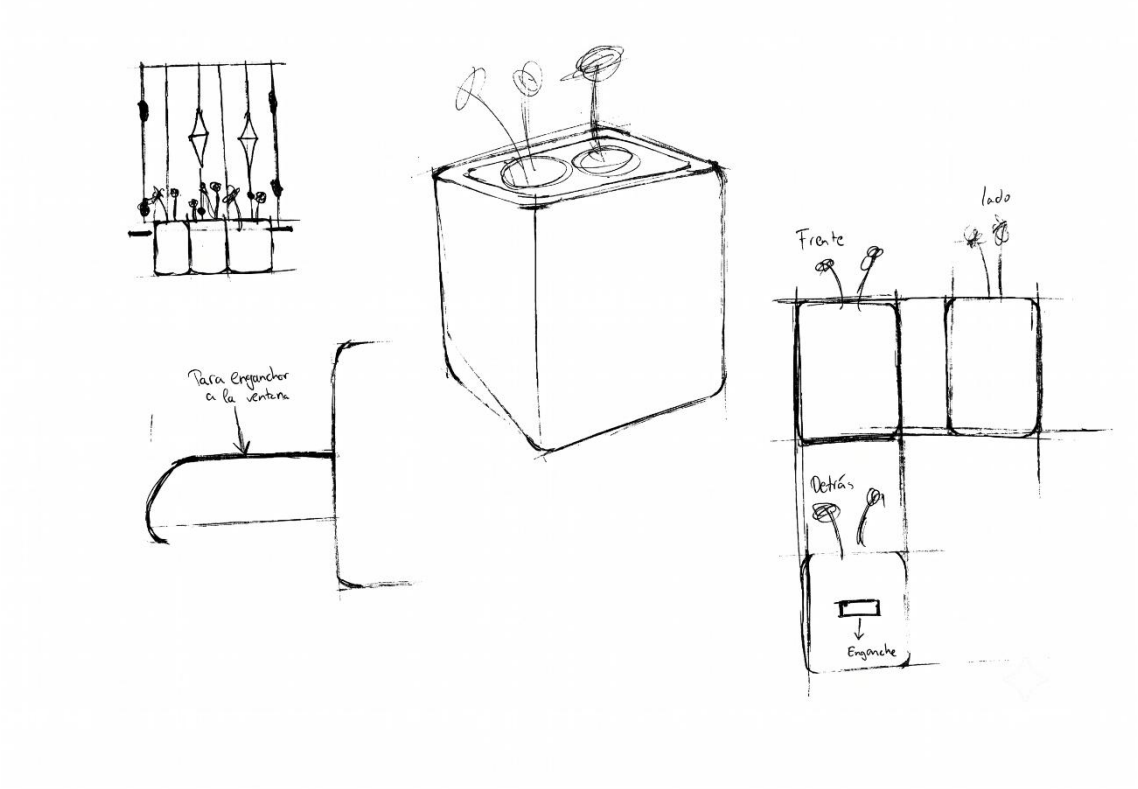


Figura A.2.10: Concepto 3: "Jardinera para rejas". [Elaboración propia].

Exploración de conceptos

La Figura A.2.11 expone varias de las alternativas conceptuales generadas durante la fase de ideación, orientada a la exploración de nuevas líneas morfológicas, volumetrías y arquitecturas para el sistema. Siguiendo un orden de lectura convencional (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo), se evalúan las siguientes propuestas:

- **Concepto 4: Módulo Geométrico Teselable (Triangular)** Esta propuesta explora una arquitectura basada en módulos de base triangular diseñados para operar de forma autónoma o acoplada. Su geometría permite la creación de patrones y composiciones paramétricas, aportando alto valor decorativo al espacio. El volumen se sectoriza en tres áreas funcionales estrictas: una interfaz frontal para el desarrollo radicular y foliar, un volumen de transición central, y un núcleo técnico trasero destinado a la ocultación de la electrónica y el sistema de bombeo.
- **Concepto 5: Arquetipo Doméstico (Morfología de Jarrón)** Esta iteración busca la integración espacial mimetizando el sistema con un objeto cotidiano ampliamente asimilado en la decoración de interiores: el jarrón. El desafío técnico radica en confinar la totalidad de los requerimientos hidropónicos depósito y mecánica en una huella volumétrica extremadamente reducida, minimizando la curva de aprendizaje visual del usuario y facilitando su aceptación en entornos domésticos tradicionales.
- **Concepto 6: Evolución de Arquitectura Comercial** Representa una optimización directa de la arquitectura predominante en el mercado actual

(*benchmark*). Su principal aportación técnica se centra en el diseño del mástil de iluminación: la luminaria se proyecta sobre el dosel vegetal integrando un deflector con un ángulo de corte específico, diseñado para dirigir la luz al cultivo y mitigar el deslumbramiento directo del usuario.

- **Concepto 7: Cilindro Multicultivo con Expansión Lumínica** Este concepto emplea una geometría de revolución (cilíndrica) maximizada para el cultivo simultáneo de múltiples especies. Como innovación modular, el chasis incorpora puertos de inserción laterales destinados al acoplamiento una luminaria auxiliar, permitiendo adaptar el sistema a estancias con déficit de luz natural. Asimismo, integra un hueco de abastecimiento superior que garantiza la correcta reposición de la solución nutritiva sin necesidad de desmontar el núcleo. Se idea también un poster “agarradera” para plantas trepadoras, de forma que estas también se puedan cultivar en este sistema.

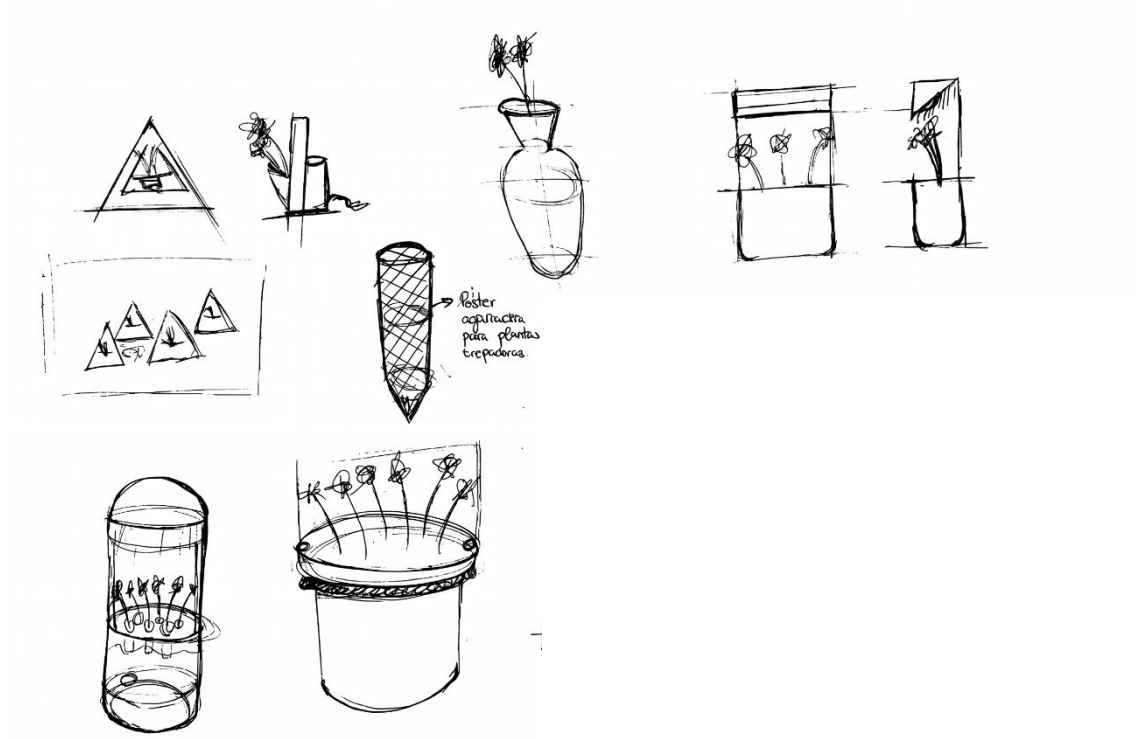


Figura A.2.11: Varios conceptos. 4, 5, 6 y 7. [Elaboración propia].

Maceta hidropónica

Este concepto fundamenta su volumetría en las dimensiones normalizadas de los maceteros domésticos de formato medio. El objetivo principal es garantizar la retrocompatibilidad del producto con soportes de suelo comerciales, facilitando su integración estética al apoyarse en una morfología que el usuario ya asimila de forma natural. A nivel arquitectónico, el sistema compartimenta el núcleo funcional, aislando el mecanismo de bombeo en una cámara técnica inferior.

La innovación clave reside en su despiece estructural: el soporte externo asume la carga directa de la bandeja de cultivo. Esta configuración permite al usuario extraer o

rellenar el depósito hidráulico de forma totalmente independiente, evitando la manipulación física de la planta y eliminando el riesgo de cizalladura o daño radicular durante el mantenimiento.

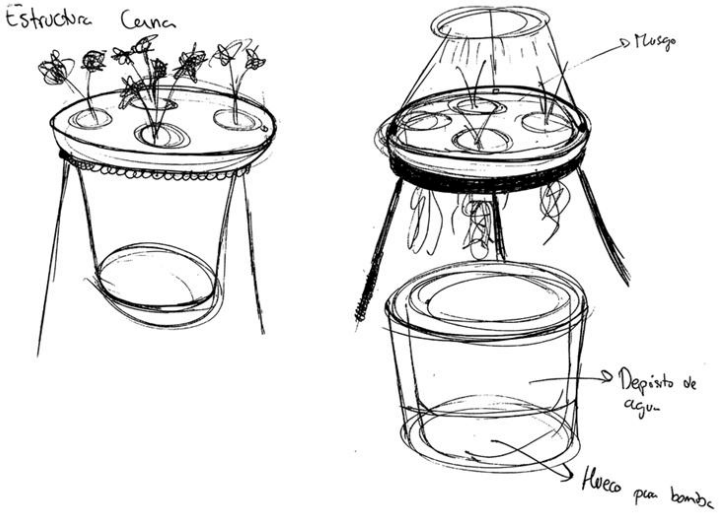


Figura A.2.12: Concepto 8:" Maceta hidropónica". [Elaboración propia].

Jarrón

Esta iteración busca combinar de nuevo una forma conocida por el usuario para facilitar la integración en el ambiente doméstico. La principal innovación de esta iteración reside en la consolidación geométrica de sus componentes: la sección cónica superior ejerce la función portante de la cesta de cultivo integrada en su propia estructura, eliminando la necesidad de fabricar o ensamblar una pieza accesoria para el sustrato. Por su parte, la mitad inferior de la revolución conforma el núcleo técnico continuo, albergando el depósito de la solución nutritiva y el mecanismo de bombeo en compartimentos estancos y acústicamente aislados del área radicular.

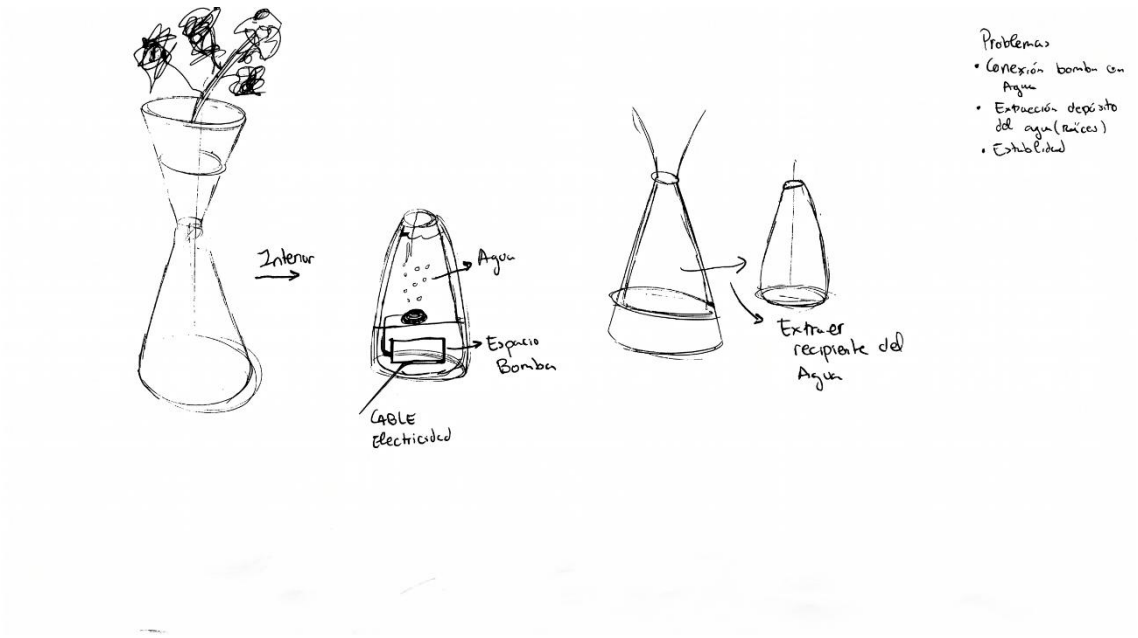


Figura A.2.13: Concepto 9: "Jarrón Hidropónico". [Elaboración propia].

Espacio 1

Este concepto el diseño se deja de diseñar el objeto de forma aislada para abordar la combinación volumétrica entre el sistema hidropónico y su entorno. La principal innovación técnica reside en el diseño de su interfaz de fijación: un chasis prismático estructural que, contine un enganche tipo Z y mediante un mecanismo de anclaje por rotación de 90 grados, que se puede encontrar en la pared donde se coloca el sistema, libera los puertos de inserción para acoplar los módulos de cultivo. Esta idea de arquitectura genera de forma inherente un espacio en su plano posterior, diseñada estratégicamente como una canalización ciega para confinar el enrutamiento del cableado, los conductos hidráulicos y el mecanismo de bombeo, garantizando así una ocultación tecnológica absoluta.



Figura A.2.14: Concepto 10: Espacio 1. [Elaboración propia].

Recibidor.

La Figura A.2.15 expone la conceptualización de un mobiliario multifuncional proyectado para zonas de acceso o vestíbulos residenciales.

Este concepto plantea una hibridación de usos, operando simultáneamente como infraestructura de cultivo hidropónico, elemento de interiorismo y organizador de accesorios de uso diario. Estructuralmente, el diseño se configura mediante un volumen técnico posterior destinado a la canalización ciego del cableado y al confinamiento del sistema de bombeo, garantizando una ocultación tecnológica. El depósito de la solución nutritiva se integra de forma compacta bajo la plataforma de cultivo, mientras que la cota inferior de la envolvente incorpora una serie de anclajes mecánicos en voladizo, concebidos para la gestión de enseres personales.

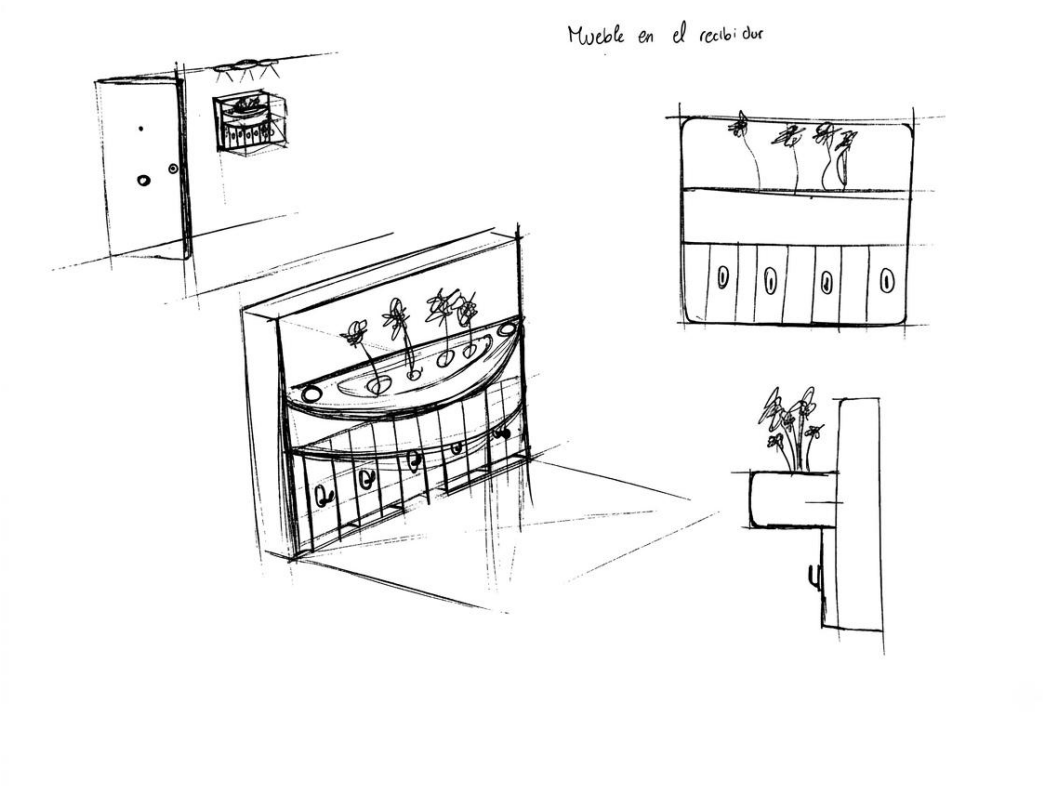


Figura A.2.15: Concepto 11: Recibidor. Espacio 2. [Elaboración propia].

Totem

Este concepto nace de la necesidad de optimizar los espacios residuales del entorno doméstico (esquinas o rincones ciegos) trasladando el volumen operativo al eje vertical. Aunque morfológicamente guarda similitudes con las torres aeropónicas comerciales, este diseño reinterpreta la arquitectura interior para integrar una tecnología hidropónica DWC (*Deep Water Culture*). El volumen hídrico y los componentes mecánicos quedan confinados de forma estanca en el núcleo de la columna, permitiendo que la biomasa vegetal se proyecte hacia el exterior a través de alojamientos radiculares distribuidos radialmente. A nivel constructivo, la escalabilidad se resuelve mediante un esquema modular apilable: cada bloque integra una interfaz de acoplamiento concéntrico en sus bases que permite al usuario incrementar la altura y la capacidad del conjunto mediante la inserción sucesiva de unidades, sin necesidad de utillaje.

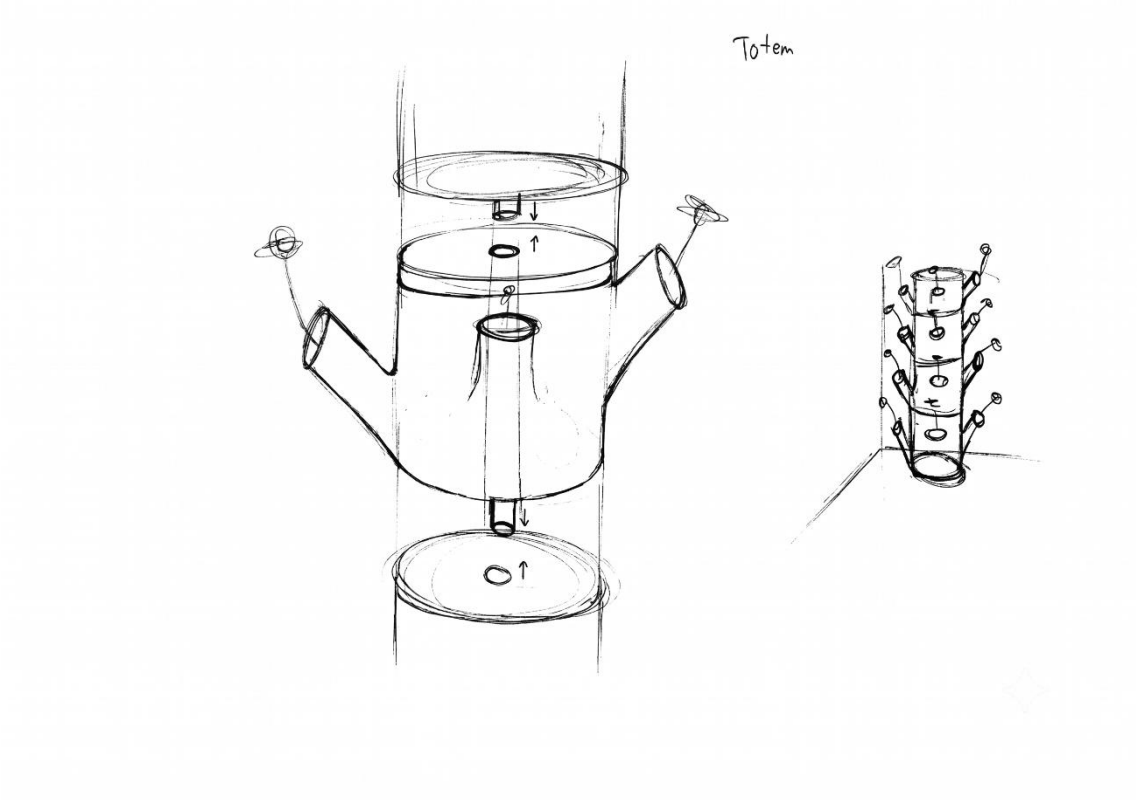


Figura A.2.16: Concepto 12: "Totem". [Elaboración propia].

Semicilíndrico Integrado (Media Luna)

Este concepto representa una evolución morfológica de la iteración anterior, "Espacio 1", adoptando una volumetría semicilíndrica diseñada de forma específica para su integración en paramentos revestidos con listones de madera (palillería). La fijación a la pared se resuelve mediante un sistema de anclaje mecánico oculto por perfiles en Z (*Z-clip*), lo que garantiza un montaje rígido, enrasado y sin utillaje complejo, respetando la trama del revestimiento arquitectónico. La innovación transversal de esta propuesta radica en la introducción de una arquitectura constructiva de "doble piel". Esta configuración segmenta el producto en dos elementos independientes: un núcleo técnico estanco que confina el depósito hídrico y los componentes electromecánicos, y una envolvente exterior que actúa como escudo visual (*Zero-UI*), ocultando la tecnología e incrementando el valor percibido del sistema como pieza de mobiliario.

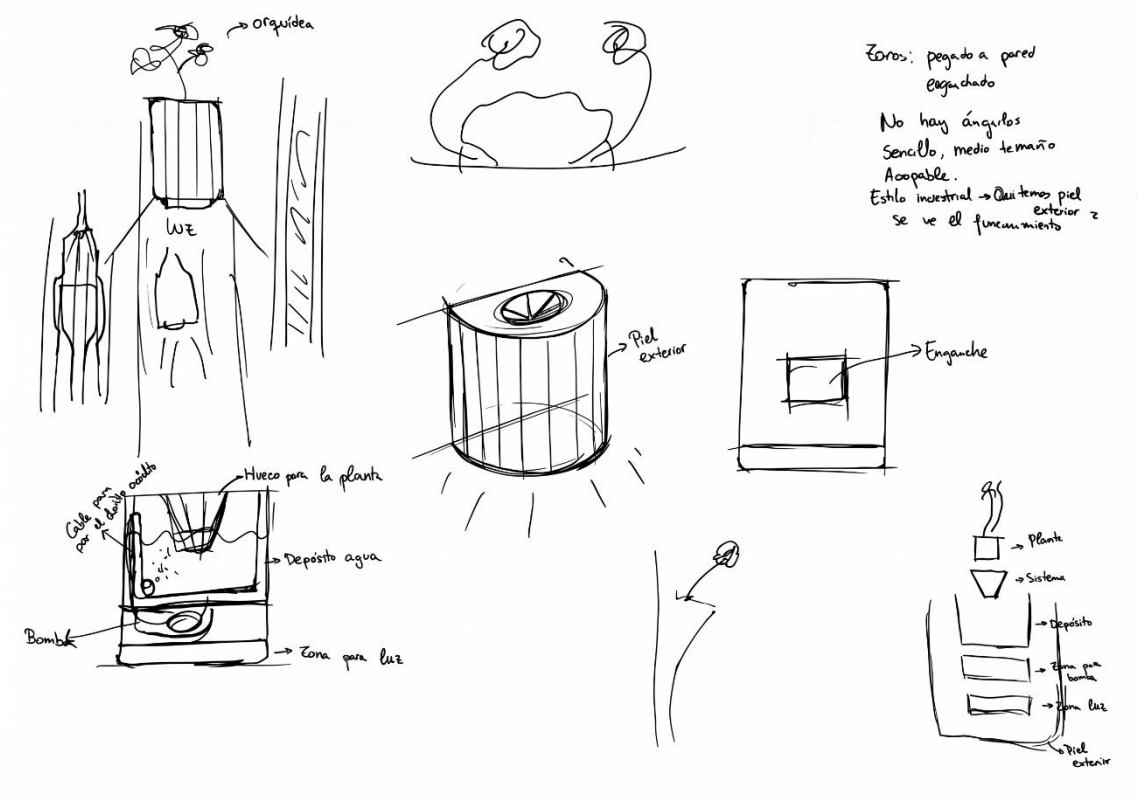


Figura A.2.17: Concepto 13: "Media luna" Espacio 3. [Elaboración propia].

Jardinera para palillería

Este concepto plantea una progresión directa de la arquitectura de integración espacial evaluada previamente "Espacio 1", escalando la volumetría para maximizar tanto la capacidad agronómica como el impacto visual en la estancia. Diseñado para contrastar con la simetría paramétrica de los revestimientos de palillería, el módulo expande significativamente las dimensiones de su interfaz de cultivo y el litraje de su depósito hídrico.

A nivel estructural, mantiene la fijación mecánica en voladizo mediante perfilería en Z para asegurar la estabilidad frente al incremento de masa operativa (agua y biomasa). Asimismo, consolida la arquitectura de doble piel: el núcleo técnico interior aísla el mecanismo de bombeo y el cableado, mientras que la envolvente exterior oculta toda la ingeniería subyacente, elevando la presencia del producto como un elemento escultórico.

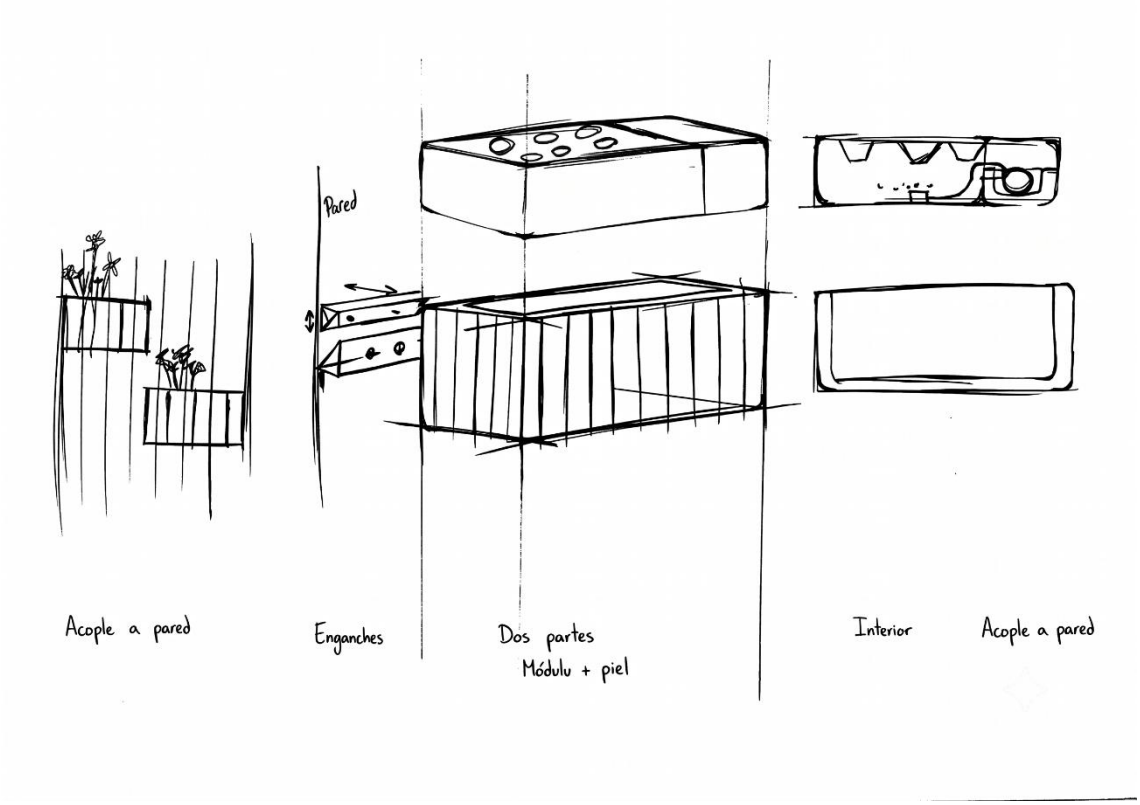


Figura A.2.18: Concepto 14: "Jardinera para palillería. Espacio 4". [Elaboración propia].

Espacio 5

Este concepto representa la convergencia iterativa de las exploraciones previas sobre integración espacial y ocultación tecnológica. El foco de desarrollo se centra en el refinamiento mecánico y la estandarización volumétrica. A nivel estructural, se optimiza la interfaz de anclaje implementando un sistema de fijación que restringe los grados de libertad de la pieza, bloqueando así el desplazamiento lateral y garantizando la rigidez absoluta del conjunto colocado en la posición de uso.

Morfológicamente, el diseño se reduce a su unidad mínima funcional: un chasis base dimensionado estrictamente para albergar el núcleo técnico estanco y su correspondiente envolvente estética ("piel exterior"). Esta estandarización permite la escalabilidad del sistema mediante el acoplamiento paramétrico de múltiples módulos, generando composiciones que aportan un alto valor arquitectónico al espacio interior.

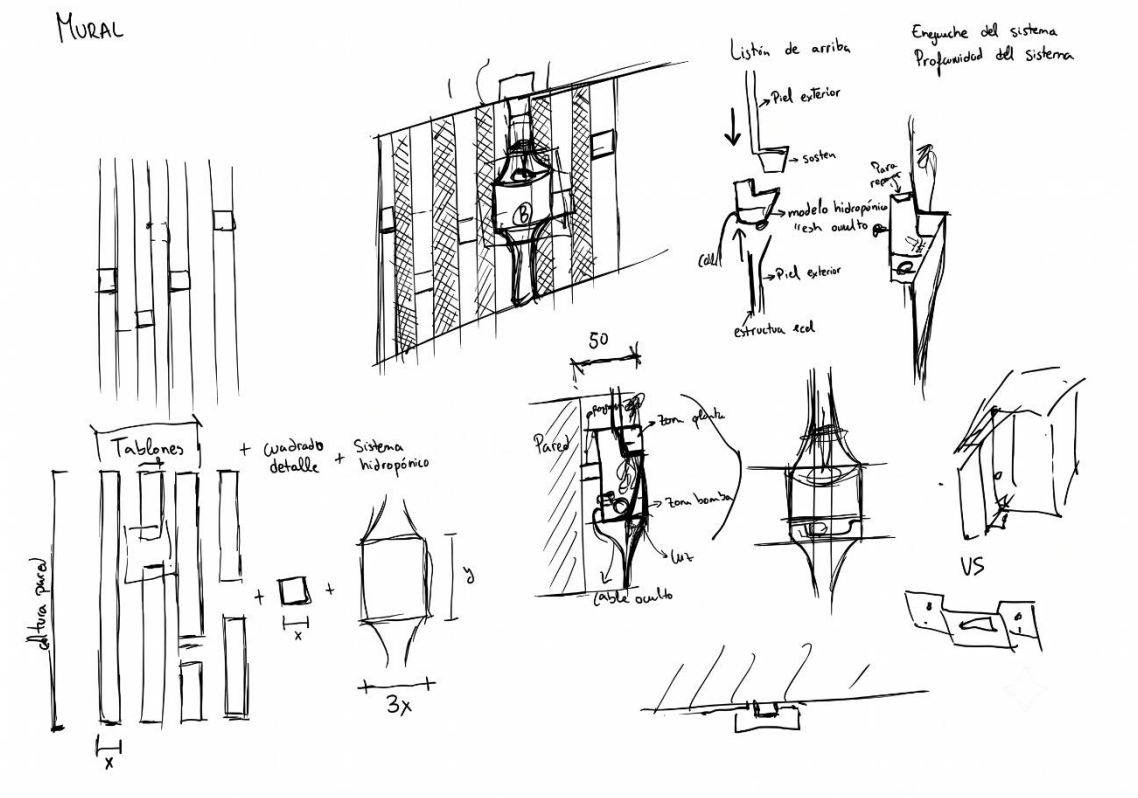


Figura A.2.19: Concepto 15: Espacio 5. [Elaboración propia].

2.4. Encuesta de validación del diseño mediante Usuarios Sintéticos

2.4.1. Descripción y preguntas realizadas en la encuesta

Ficha técnica visual y descriptiva del producto

El producto es un sistema hidropónico con forma de L invertida que se monta en la pared mediante un anclaje trasero. En la parte superior tiene un orificio blanco donde se inserta una cesta de rejilla. Dos versiones:

- Versión 1: Diseño "Naked" (Industrial): Carcasa de plástico gris mate. En la parte inferior cuenta con un tanque de agua totalmente transparente (de cristal) que deja a la vista el nivel de agua estancada y raíces. Se extrae usando un enganche de bayoneta (giro 90º) en la parte superior del depósito. Enganche en U para pared/techo.
- Versión 2: Diseño "Biofílico" (Premium): Sistema y tanque ocultos tras carcasa exterior imitación madera (ej. nogal) o piedra porosa. Parece un mueble sofisticado de diseño limpio.

Fricciones operativas (Ambas versiones): Requiere estar enchufado 24/7 a cable USB. Carece de sensores de nivel de agua (revisión visual manual). El depósito transparente está expuesto al sarro y polvo.

Preguntas:

1. ¿Cuánto desentona la Versión 1(“Naked”) / Versión 2 (“Biofilia”) con la estética que exiges para tu hogar?
   1= Me encanta / Encaja perfecto; 5= Fracasa totalmente / Muy técnico.
2. Forma en L para pared/techo con enganche en U. ¿Qué tan problemática es esta morfología para tu ubicación ideal?
   1= Ningún problema; 5= Inviable en mi ubicación.
3. Evaluando el riesgo de derramar agua al girar el enganche de bayoneta superior, ¿qué pereza te genera?
   1= Ninguna pereza; 5= Rechazo absoluto.
4. Al cambiar el agua mientras el sistema sigue colgado, ¿cuánto riesgo/incomodidad percibes comparado con una maceta normal?
   1= Muy fácil y seguro; 5= Muy engorroso.
5. Obligación de cable USB 24/7 y falta de sensores (extracción manual para medir). ¿Cuánto decepciona tus expectativas tecnológicas?
   1= Es la tecnología que necesito; 5= Decepción, sigo haciendo trabajo manual.
6. Un único orificio y diseño rígido. ¿Cuánto limita tu intención de probar diferentes cultivos?
   1= No me limita nada; 5= Me limita totalmente.
7. Exposición del plástico y cristal al sarro/algas en la Versión Naked. ¿Qué tan difícil de limpiar o inadecuado lo percibes?
   1= Materiales perfectos; 5= Envejecerán muy mal.

2.4.2. Resultados de la encuesta

ID_Perfil	Version_Preferida	P1_ Naked	P2_Biofilica	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1	Biofilica	4	1	1	4	5	1	2	5
2	Biofilica	5	1	4	3	4	5	3	5
3	Naked	1	3	1	1	2	5	5	1
4	Biofilica	4	1	1	4	4	1	1	5
5	Biofilica	5	1	1	4	4	3	2	5
6	Naked	2	3	4	3	3	2	1	2
7	Biofilica	4	1	1	4	5	3	2	5
8	Naked	2	3	4	2	2	5	3	2
9	Naked	2	3	2	4	5	1	1	5
10	Biofilica	3	2	2	3	3	2	2	3
11	Biofilica	5	1	4	2	2	5	3	3
12	Biofilica	3	2	1	3	3	3	2	3
13	Biofilica	5	1	4	2	3	2	3	4
14	Naked	1	3	1	3	2	2	1	1
15	Naked	2	3	4	3	2	4	2	2
16	Biofilica	4	1	1	4	4	2	2	5
17	Naked	1	3	1	1	2	5	5	1
18	Naked	1	3	4	1	2	3	5	1
19	Biofilica	5	1	1	3	4	2	3	5
20	Biofilica	3	2	1	3	3	1	2	3
21	Biofilica	4	1	1	4	4	3	2	5
22	Biofilica	3	2	1	3	3	2	2	3

23	Biofilica	5	1	4	2	2	5	3	3
24	Naked	1	3	1	1	2	5	5	1
25	Biofilica	3	2	1	3	3	2	2	3
26	Biofilica	4	1	4	4	4	3	2	5
27	Naked	2	3	2	4	5	1	1	5
28	Biofilica	5	1	4	2	3	3	3	4
29	Naked	1	3	1	3	2	2	2	1
30	Naked	1	3	4	1	2	5	5	1
31	Naked	2	3	2	3	2	2	1	2
32	Biofilica	5	1	1	2	3	3	3	4
33	Biofilica	4	1	1	4	4	2	1	5
34	Biofilica	4	1	1	4	4	3	2	5
35	Biofilica	4	1	1	3	4	2	3	5
36	Biofilica	5	1	1	2	3	5	3	4
37	Naked	1	3	1	1	2	5	5	1
38	Biofilica	3	2	1	3	3	2	2	3
39	Naked	2	3	4	2	2	5	3	2
40	Biofilica	5	1	1	4	5	2	2	5
41	Biofilica	4	1	1	3	4	2	3	5
42	Naked	2	3	1	3	3	3	2	2
43	Naked	2	3	4	3	2	4	2	2
44	Biofilica	4	1	4	4	5	2	2	5
45	Naked	1	3	4	1	2	5	5	1
46	Biofilica	5	1	4	2	3	5	3	4
47	Biofilica	4	1	1	4	5	1	1	5
48	Biofilica	4	1	1	4	4	2	2	5
49	Naked	1	3	4	1	2	5	5	1
50	Biofilica	5	1	4	4	4	3	2	5
51	Biofilica	3	2	1	3	3	2	2	3
52	Biofilica	5	1	4	2	2	5	3	3
53	Biofilica	3	2	1	3	3	2	2	3
54	Biofilica	4	1	1	4	5	2	2	5
55	Naked	2	3	2	4	4	3	2	4
56	Naked	2	3	2	1	2	5	5	2
57	Biofilica	5	1	1	3	4	2	3	5
58	Biofilica	4	1	1	4	4	3	2	5
59	Biofilica	4	1	1	4	5	1	2	5
60	Biofilica	5	1	1	3	3	2	2	4
61	Biofilica	3	2	1	2	3	3	3	3
62	Biofilica	4	1	2	3	5	1	3	5
63	Biofilica	5	1	1	2	3	3	3	4
64	Naked	2	3	1	3	5	1	3	5
65	Naked	2	3	4	1	2	5	5	2
66	Biofilica	4	1	2	3	4	2	3	5
67	Biofilica	5	1	1	3	3	2	2	4
68	Naked	1	3	2	1	2	4	5	1

69	Naked	2	3	4	3	2	5	2	2
70	Biofilica	4	1	1	3	5	2	3	5
71	Naked	2	3	1	3	2	1	1	2
72	Biofilica	5	1	4	3	2	3	1	3
73	Biofilica	4	1	1	4	5	1	1	5

2.5. Fichas de datos técnicos

2.5.1. Jesmonite AC100

Descripción del producto

Jesmonite® AC100 es un sistema de resina acrílica mineral/polimérica a base de agua que se suministra en dos componentes.

El sistema se adapta a una gran variedad de aplicaciones de moldeado y laminado en las que el usuario final quiere reducir los numerosos riesgos asociados con los sistemas convencionales a base de disolventes. También se suministra una amplia variedad de productos auxiliares, entre los que se incluyen rellenos funcionales, sustancias químicas de control, pigmentos y refuerzos de vidrio, dotando al material de una versatilidad extraordinaria. El material se adapta a usos para interiores y exteriores. Sin embargo, si se usa en exteriores se recomienda utilizar un sellador o un sistema de pintura adecuados para así proteger el aspecto de la superficie.

Especificaciones técnicas

Proporción de mezcla	2,5:1 partes de base a líquidos por peso
Densidad húmeda	1845 kg/m^3
Densidad seca	1745 kg/m^3
Curado inicial	15-20 minutos (18 °C, sin retardante)
Expansión tras curado	0,15 %

Otras propiedades

Resistencia a la compresión	25-30 MPa
Fuerza tensil (UTS)	25-35 MPa
Límite elástico (LOP)	15-20 MPa
Módulo de rotura (MOR)	50-65 MPa
Módulo de Young	5-6 MPa
Resistencia al impacto (Charpy)	30 kj/m²
Movimiento de la humedad	< 1 %
Resistencia al fuego	B.S.476 Partes 6 y 7 – Clase ‘O’
Resistencia hielo-deshielo	Excelente – Especímenes de ensayo
intactos Mojado/Seco 50 ciclos	Especímenes de ensayo intactos

Áreas de aplicación

Molduras decorativas moldeadas y laminadas. Con la inclusión de refuerzos de vidrio adecuados, AC100 puede utilizarse para paneles ligeros de alto impacto. Jesmonite

AC100 proporciona un revestimiento resistente al fuego para numerosas espumas expandidas para decorados de teatros y parques temáticos.

Características claves

Sin disolventes ni VOC

Buena resistencia a la abrasión y resistencia al impacto

Alta resistencia a la compresión y fuerza tensil Curado rápido y alta resistencia temprana

Embalaje

Los líquidos se suministran en botes de 1 kg, 5 kg y 25 kg; la base, en cubos de 5 kg y 25 kg y en sacos de válvula de 25 kg. Disponibilidad de recipientes intermedios a granel flexibles bajo solicitud.

Almacenamiento

Como regla general, los contenedores líquidos deberán estar bien sellados para prevenir la evaporación de agua y la aparición de películas. Se deberán almacenar a una temperatura constante de entre 5 ºC y 25 ºC y usarse en un plazo de seis meses. Se debe evitar que se congelen. La base se debe almacenar en un lugar seco con una temperatura entre 5 ºC y 25 ºC.

La información y recomendaciones anteriores se basan en la experiencia como proveedor y se ofrecen meramente a título informativo. Se ofrecen de buena fe, pero sin garantías de ningún tipo, puesto que las condiciones y métodos de uso se encuentran fuera de nuestro control. El usuario final tiene la responsabilidad de decidir la idoneidad de los materiales para el fin específico previsto.

Datos de contacto

Comercial Feroca, S.A.
Españoleto, 11
28010 Madrid
ESPAÑA

Tel. +34 914 481 271
Mail: info@feroca.com
web: www.feroca.com



2.5.2. ASA

Overview of materials for Acrylonitrile/Styrene/Acrylate (ASA), Unreinforced, Molded

Categories: Polymer; Thermoplastic; ASA Polymer; Acrylonitrile/Styrene/Acrylate (ASA), Unreinforced, Molded

Material Notes: This property data is a summary of similar materials in the MatWeb database for the category "Acrylonitrile/Styrene/Acrylate (ASA), Unreinforced, Molded". Each property range of values reported is minimum and maximum values of appropriate MatWeb entries. The comments report the average value, and number of data points used to calculate the average. The values are not necessarily typical of any specific grade, especially less common values and those that can be most affected by additives or processing methods.

Vendors: No vendors are listed for this material. Please click here if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	1.00 - 1.24 g/cc	0.0361 - 0.0448 lb/in³	Average value: 1.07 g/cc Grade Count:176
Water Absorption	0.30 - 0.35 %	0.30 - 0.35 %	Average value: 0.307 % Grade Count:15
Moisture Absorption at Equilibrium	0.30 - 0.35 %	0.30 - 0.35 %	Average value: 0.344 % Grade Count:9
Water Absorption at Saturation	1.65 %	1.65 %	Average value: 1.65 % Grade Count:8
Maximum Moisture Content	0.010 - 0.050	0.010 - 0.050	Average value: 0.0290 Grade Count:21
Linear Mold Shrinkage	0.0010 - 0.010 cm/cm	0.0010 - 0.010 in/in	Average value: 0.00548 cm/cm Grade Count:139
☒	0.0050 - 0.0050 cm/cm @Temperature 80.0 - 80.0 °C	0.0050 - 0.0050 in/in @Temperature 176 - 176 °F	Average value: 0.00500 cm/cm Grade Count:2
Linear Mold Shrinkage, Transverse	0.0020 - 0.0090 cm/cm	0.0020 - 0.0090 in/in	Average value: 0.00665 cm/cm Grade Count:13
☒	0.0050 - 0.0050 cm/cm @Temperature 80.0 - 80.0 °C	0.0050 - 0.0050 in/in @Temperature 176 - 176 °F	Average value: 0.00500 cm/cm Grade Count:2
Melt Flow	0.20 - 45 g/10 min	0.20 - 45 g/10 min	Average value: 8.74 g/10 min Grade Count:174

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell R	75 - 119	75 - 119	Average value: 101 Grade Count:105
Ball Indentation Hardness	65.0 - 100 MPa	9430 - 14500 psi	Average value: 85.6 MPa Grade Count:9
Tensile Strength, Ultimate	29.4 - 75.5 MPa	4260 - 11000 psi	Average value: 45.0 MPa Grade Count:49
Tensile Strength, Yield	15.0 - 83.4 MPa	2180 - 12100 psi	Average value: 44.3 MPa Grade Count:148
Elongation at Break	3.0 - 230 %	3.0 - 230 %	Average value: 33.3 % Grade Count:106
Elongation at Yield	2.5 - 45 %	2.5 - 45 %	Average value: 4.95 % Grade Count:43
Modulus of Elasticity	1.45 - 2.80 GPa	210 - 406 ksi	Average value: 2.13 GPa Grade Count:65
Flexural Yield Strength	40.7 - 115 MPa	5900 - 16600 psi	Average value: 68.9 MPa Grade Count:112
Flexural Modulus	0.220 - 5.98 GPa	31.9 - 868 ksi	Average value: 2.20 GPa Grade Count:149
Izod Impact, Notched	0.320 - 5.87 J/cm	0.600 - 11.0 ft-lb/in	Average value: 1.87 J/cm Grade Count:116
☒	0.270 - 0.570 J/cm @Temperature -40.0 - -30.0 °C	0.506 - 1.07 ft-lb/in @Temperature -40.0 - -22.0 °F	Average value: 0.457 J/cm Grade Count:6
☒	0.196133 - 1.90249 J/cm @Temperature -30.0 - -30.0 °C	0.367438 - 3.56414 ft-lb/in @Temperature -22.0 - -22.0 °F	Average value: 0.457 J/cm Grade Count:13
	0.196133 - 1.90249 J/cm @Thickness 3.17 - 6.40 mm	0.367438 - 3.56414 ft-lb/in @Thickness 0.125 - 0.252 in	Average value: 0.457 J/cm Grade Count:13
Izod Impact, Notched (ISO)	7.00 - 42.0 kJ/m²	3.33 - 20.0 ft-lb/in²	Average value: 15.4 kJ/m² Grade Count:29
☒	3.00 - 16.0 kJ/m² @Temperature -30.0 - -30.0 °C	1.43 - 7.61 ft-lb/in² @Temperature -22.0 - -22.0 °F	Average value: 5.82 kJ/m² Grade Count:17
Izod Impact, Unnotched (ISO)	80.0 kJ/m² - NB	38.1 ft-lb/in² - NB	Average value: 85.0 kJ/m² Grade Count:5
☒	40.0 - 45.0 kJ/m² @Temperature -30.0 - -30.0 °C	19.0 - 21.4 ft-lb/in² @Temperature -22.0 - -22.0 °F	Average value: 41.3 kJ/m² Grade Count:4
Charpy Impact Unnotched	3.50 J/cm² - NB	16.7 ft-lb/in² - NB	Average value: 7.81 J/cm² Grade Count:28
☒	1.50 J/cm² - NB @Temperature -40.0 - -20.0 °C	7.14 ft-lb/in² - NB @Temperature -40.0 - -4.00 °F	Average value: 4.16 J/cm² Grade Count:12
Charpy Impact, Notched	0.700 - 5.77 J/cm²	3.33 - 27.5 ft-lb/in²	Average value: 1.79 J/cm² Grade Count:55
☒	0.110 - 1.60 J/cm² @Temperature -40.0 - -20.0 °C	0.524 - 7.61 ft-lb/in² @Temperature -40.0 - -4.00 °F	Average value: 0.494 J/cm² Grade Count:35
Instrumented Impact Total Energy	3.62 - 32.7 J	2.67 - 24.1 ft-lb	Average value: 20.9 J Grade Count:4
Instrumented Impact Energy at Peak	10.0 - 51.0 J	7.38 - 37.6 ft-lb	Average value: 36.0 J Grade Count:4

Tensile Creep Modulus, 1 hour	1850 - 2200 MPa	268000 - 319000 psi	Average value: 2020 MPa Grade Count:3
Tensile Creep Modulus, 1000 hours	1100 - 1650 MPa	160000 - 239000 psi	Average value: 1330 MPa Grade Count:6

Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	1.00e+12 - 1.00e+15 ohm-cm	1.00e+12 - 1.00e+15 ohm-cm	Average value: 2.35e+14 ohm-cm Grade Count:27
Surface Resistance	1.10e+11 - 1.00e+15 ohm	1.10e+11 - 1.00e+15 ohm	Average value: 1.34e+14 ohm Grade Count:20
Dielectric Constant	3.4 - 3.9	3.4 - 3.9	Average value: 3.73 Grade Count:7
Dielectric Strength	15.7 - 27.0 kV/mm	400 - 686 kV/in	Average value: 21.4 kV/mm Grade Count:4
Dissipation Factor	0.0090 - 0.034	0.0090 - 0.034	Average value: 0.0173 Grade Count:9
Arc Resistance	60 - 180 sec	60 - 180 sec	Average value: 105 sec Grade Count:4
Hot Wire Ignition, HWI	3.0 - 60 sec	3.0 - 60 sec	Average value: 18.6 sec Grade Count:6
High Amp Arc Ignition, HAI	0.00 - 120 arcs	0.00 - 120 arcs	Average value: 102 arcs Grade Count:6

Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear	70.2 - 121 µm/m-°C	39.0 - 67.2 µin/in-°F	Average value: 91.1 µm/m-°C Grade Count:45
CTE, linear, Transverse to Flow	86.4 - 116 µm/m-°C	48.0 - 64.4 µin/in-°F	Average value: 103 µm/m-°C Grade Count:6
Thermal Conductivity	0.170 W/m-K	1.18 BTU-in/hr-ft²-°F	Average value: 0.170 W/m-K Grade Count:9
Hot Ball Pressure Test	75.0 - 95.0 °C	167 - 203 °F	Average value: 91.3 °C Grade Count:8
Deflection Temperature at 0.46 MPa (66 psi)	80.0 - 110 °C	176 - 230 °F	Average value: 96.4 °C Grade Count:57
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	39.4 - 115 °C	103 - 239 °F	Average value: 87.8 °C Grade Count:162
Vicat Softening Point	85.0 - 133 °C	185 - 271 °F	Average value: 101 °C Grade Count:157
UL RTI, Electrical	50.0 °C	122 °F	Average value: 50.0 °C Grade Count:6
UL RTI, Mechanical with Impact	50.0 °C	122 °F	Average value: 50.0 °C Grade Count:6
UL RTI, Mechanical without Impact	50.0 °C	122 °F	Average value: 50.0 °C Grade Count:5
Flammability, UL94	HB - 5VA	HB - 5VA	Grade Count:85
Glow Wire Test	600 - 750 °C	1110 - 1380 °F	Average value: 674 °C Grade Count:11

Optical Properties	Metric	English	Comments
Haze	1.0 - 8.0 %	1.0 - 8.0 %	Average value: 4.92 % Grade Count:5
Gloss	20 - 96.5 %	20 - 96.5 %	Average value: 71.7 % Grade Count:9
Transmission, Visible	85.5 - 90 %	85.5 - 90 %	Average value: 88.1 % Grade Count:5

Processing Properties	Metric	English	Comments
Processing Temperature	200 - 280 °C	392 - 536 °F	Average value: 236 °C Grade Count:6
Nozzle Temperature	190 - 271 °C	374 - 520 °F	Average value: 238 °C Grade Count:37
Adapter Temperature	200 - 250 °C	392 - 482 °F	Average value: 222 °C Grade Count:7
Die Temperature	200 - 250 °C	392 - 482 °F	Average value: 229 °C Grade Count:7
Melt Temperature	170 - 280 °C	338 - 536 °F	Average value: 232 °C Grade Count:86
Mold Temperature	37.8 - 90.0 °C	100 - 194 °F	Average value: 61.1 °C Grade Count:85
Injection Velocity	200 mm/sec	7.87 in/sec	Average value: 200 mm/sec Grade Count:14
Roll Temperature	60.0 - 100 °C	140 - 212 °F	Average value: 81.4 °C Grade Count:7
Drying Temperature	70.0 - 100 °C	158 - 212 °F	Average value: 82.0 °C Grade Count:81
Moisture Content	0.020 - 0.20 %	0.020 - 0.20 %	Average value: 0.0932 % Grade Count:31
Injection Pressure	60.0 - 147 MPa	8700 - 21300 psi	Average value: 72.1 MPa Grade Count:14

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's terms of use regarding this information. Click here to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

2.5.3. Vidrio sodocálcico

Mo-Sci Corporation GL-0191 Soda-Lime Glass Spheres

Categories: Ceramic; Glass; Oxide; Silicon Oxide

Material Notes: Appearance: Solid soda-lime glass beads with light green color in powder form

Typical applications of GL0191 beads include: spacer material for gauge control, coating, filler for plastic, retroreflection applications and etc.

Information provided by Mo-Sci Corporation.

Vendors: No vendors are listed for this material. Please click here if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Bulk Density	1.30 g/cc	0.0470 lb/in³	of Dry Beads
Density	2.50 g/cc	0.0903 lb/in³	
pH	7.8	7.8	in water

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Compressive Strength	274.93 MPa	39875 psi	

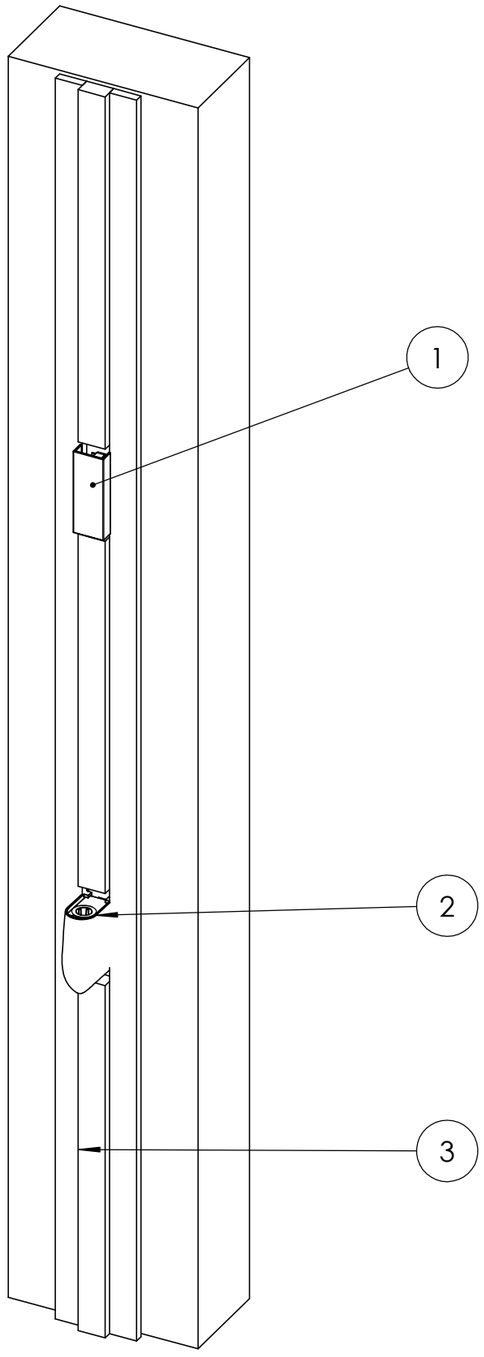
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear	9.00 µm/m-°C @Temperature 30.0 - 300 °C	5.00 µin/in-°F @Temperature 86.0 - 572 °F	
Softening Point	650 °C	1200 °F	

Optical Properties	Metric	English	Comments
Refractive Index	1.51	1.51	

Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Al2O3	0.00 - 5.0 %	0.00 - 5.0 %	
CaO	6.0 - 15 %	6.0 - 15 %	
Fe2O3	<= 0.80 %	<= 0.80 %	
MgO	1.0 - 5.0 %	1.0 - 5.0 %	
Na2O	10 - 20 %	10 - 20 %	
SiO2	65 - 75 %	65 - 75 %	

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's terms of use regarding this information. Click here to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

PLANOS



MARCA	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
3	SUBCONJUNTO PALILLERÍA		1	VARIOS
2	SUBCONJUNTO HIDROPÓNICO		1	VARIOS
1	SUBCONJUNTO EMBELLECEDOR		1	VARIOS

PROPIEDAD LEGAL:

UCA Universidad de Cádiz

TÍTULO: SISTEMA HIDROPÓNICO

TÍTULO SUPLEMENTARIO: DECORACIÓN PALILLERÍA

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 1.00.00 - A

CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES

FECHA: 04/08/2026

TIPO DE DOCUMENTO: PLANO DE CONJUNTO

APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE

FECHA: 27/08/2026

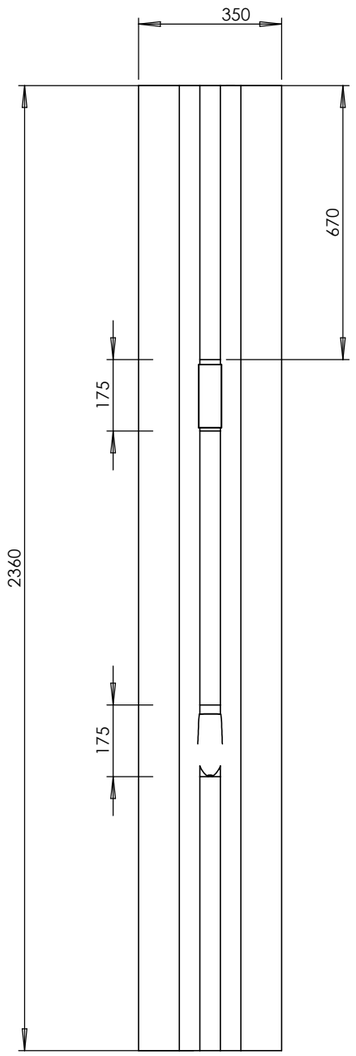
ESCALA: 1:10

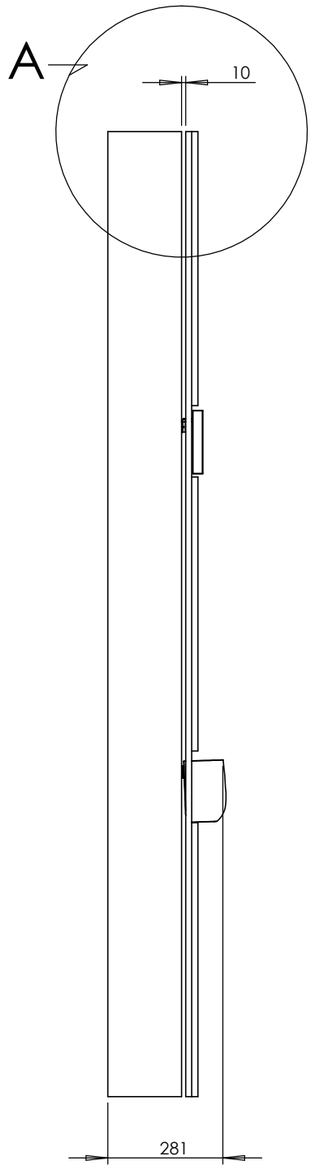
TAMAÑO PAPEL: A3

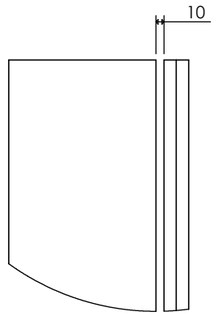
SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:

NÚMERO DE PÁGINA: 148

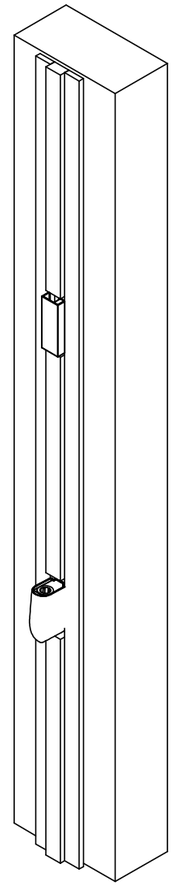
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

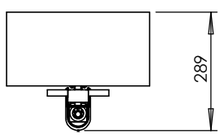






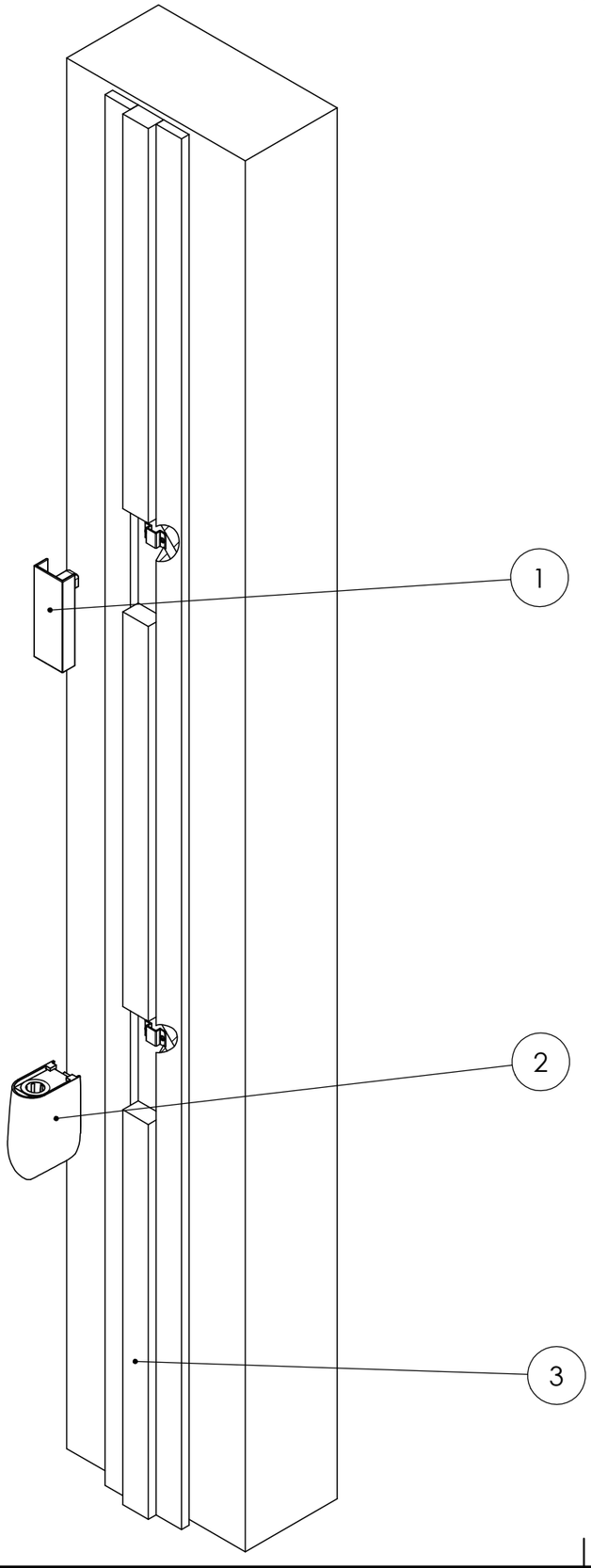
DETALLE A
ESCALA 2 : 15





PROPIEDAD LEGAL: UCA Universidad de Cádiz	TÍTULO: MEDIDAS GENERALES		NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 1.00.00 - B
	TÍTULO SUPLEMENTARIO: MÓDULO CON PALILLERÍA		
	CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES	FECHA: 04/08/2026	TIPO DE DOCUMENTO: PLANO DE MEDIDAS GENERALES
	APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE	FECHA: 27/08/2026	
ESCALA: 1:15	TAMAÑO PAPEL: A3	SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:	NÚMERO DE PÁGINA: 149

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



MARCA	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
3	SUBCONJUNTO PALILLERÍA		1	VARIOS
2	SUBCONJUNTO HIDROPÓNICO		1	VARIOS
1	SUBCONJUNTO EMBELLECEDOR		1	VARIOS

PROPIEDAD LEGAL:

UCA Universidad de Cádiz

TÍTULO: SISTEMA EXPLOXIONADO

TÍTULO SUPLEMENTARIO: VISTA EXPLOSIONADA

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 1.00.00 - C

CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES

FECHA: 04/08/2026

TIPO DE DOCUMENTO: EXPLOSIONADO

APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE

FECHA: 27/08/2026

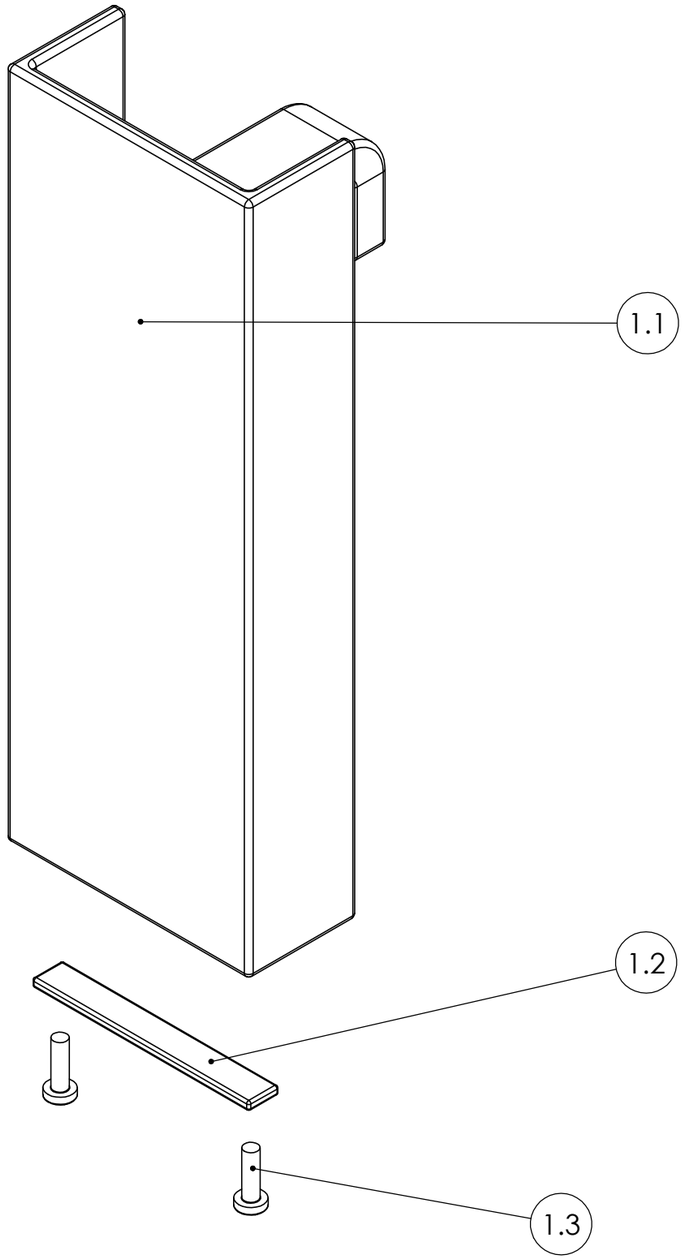
ESCALA: 1:8

TAMAÑO PAPEL: A3

SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:

NÚMERO DE PÁGINA: 150

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



1.3	TORNILLO(DIN EN ISO 7045 M3x10 Z)		1	ACERO INOXIDABLE
1.2	PLACA LED	Página 160	1	VARIOS
1.1	EMBELLECEDOR		2	JESMONITE
MARCA	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL

PROPIEDAD LEGAL:

UCA Universidad de Cádiz

TÍTULO: EMBELLECEDOR

TÍTULO SUPLEMENTARIO: VISTA EXPLOXIONADA

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 1.01.00

CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES

FECHA: 04/08/2026

TIPO DE DOCUMENTO: PLANO DE SUBCONJUNTO

APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE

FECHA: 27/08/2026

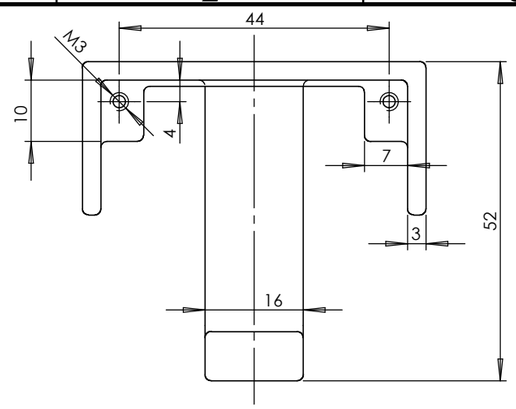
ESCALA: 1:1

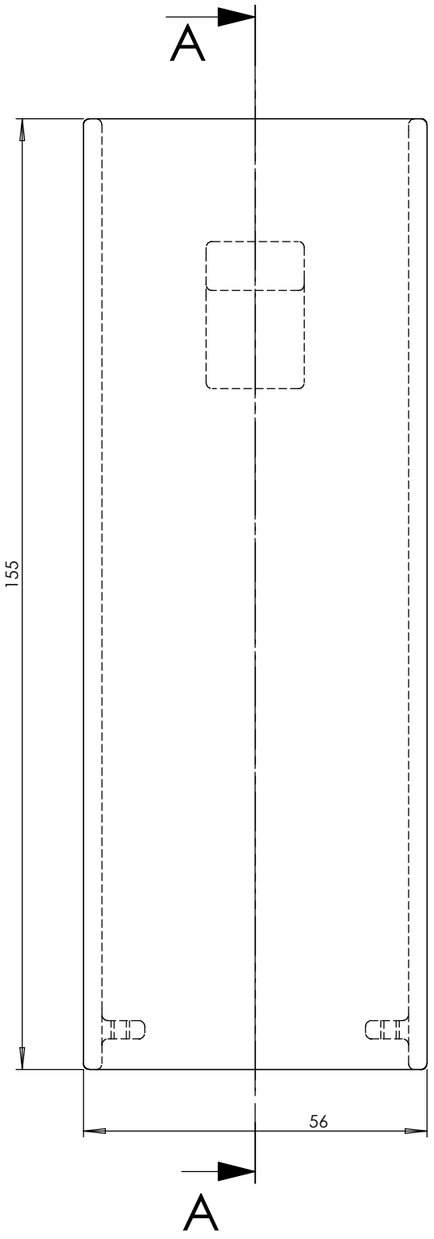
TAMAÑO PAPEL: A3

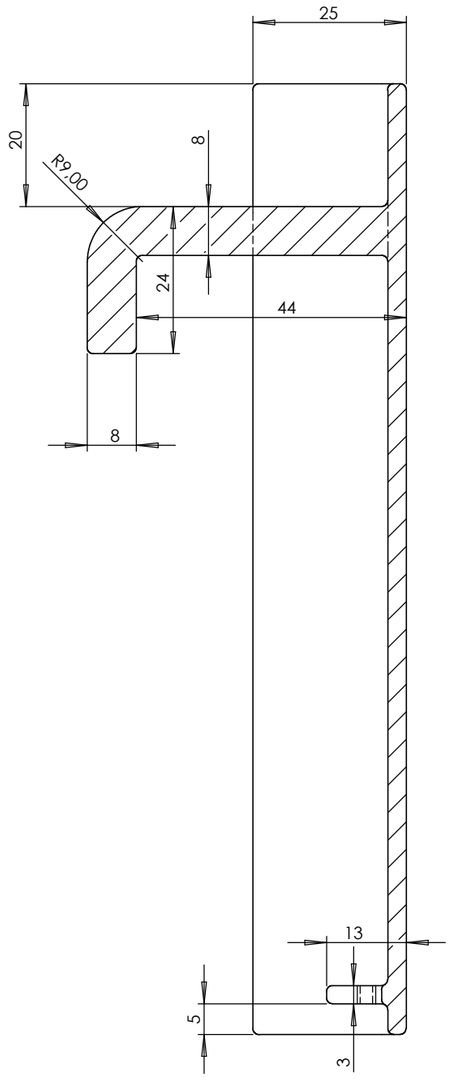
SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:

NÚMERO DE PÁGINA: 151

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

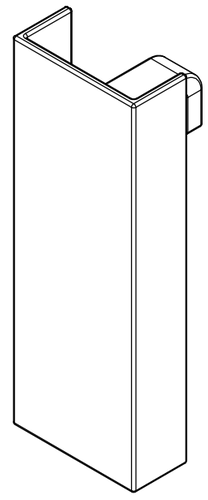






CORTE:
A-A

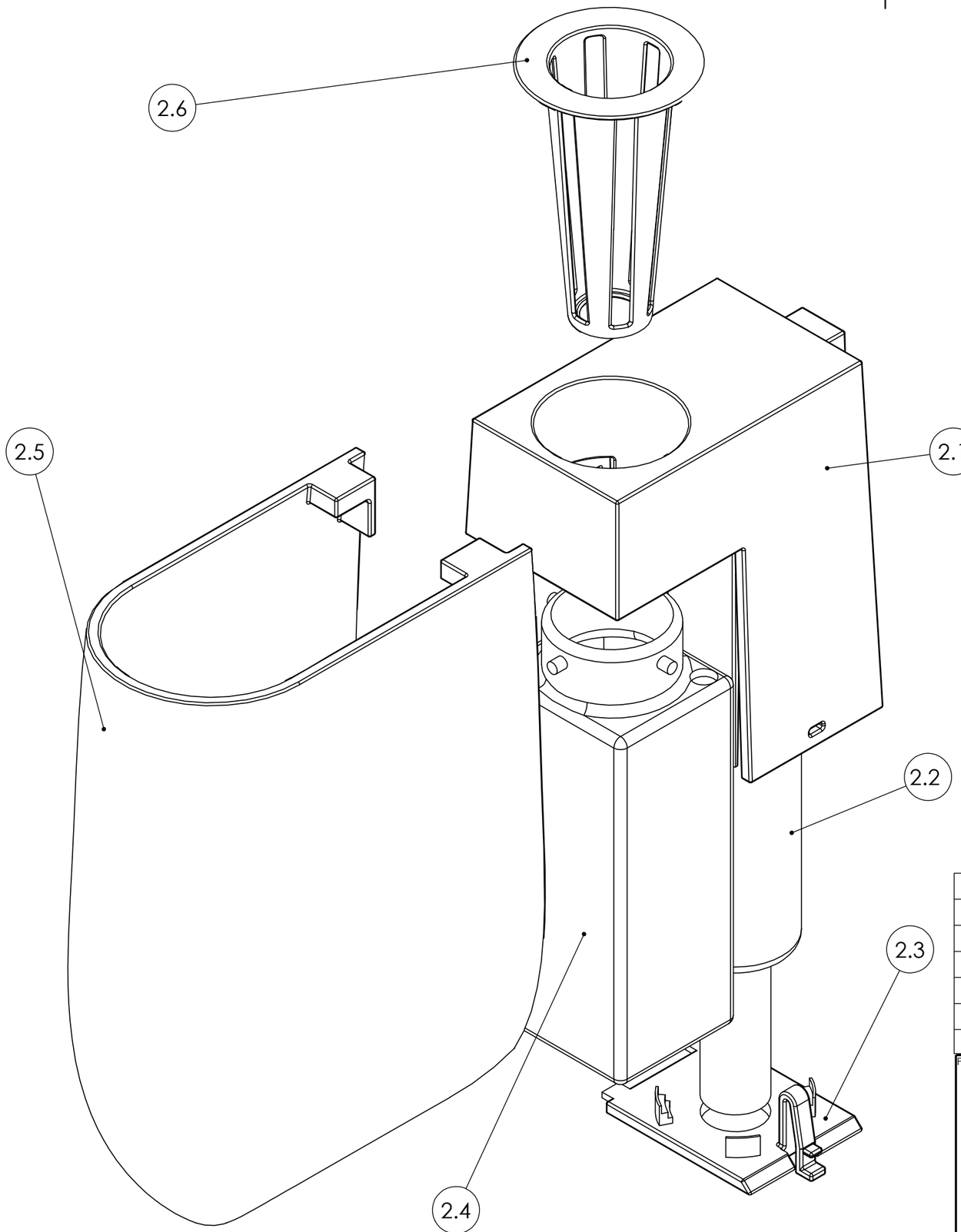
E= 1:2



*Redondeos R de la pieza: R= 1mm.
Excepto que se indique el valor correspondiente

PROPIEDAD LEGAL: UCA Universidad de Cádiz	TÍTULO: EMBELLECEDOR		NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 1.01.01
	TÍTULO SUPLEMENTARIO: EMBELLECEDOR DEL SISTEMA		
	CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES	FECHA: 04/08/2026	TIPO DE DOCUMENTO: PLANO DE DESPIECE
	APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE	FECHA: 27/08/2026	TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS SEGÚN: ISO 2768-c (GRUESA)
ESCALA: 1:1	TAMAÑO PAPEL: A3	SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:	NÚMERO DE PÁGINA: 152 / MARCA: 1.1

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



2.6	CESTA	Página 161	1	PLÁSTICO
2.5	PIEL EXTERIOR		1	JESMONITE
2.4	DEPÓSITO		1	VIDRIO
2.3	TAPA INFERIOR		1	ASA
2.2	BOMBA	Página 160	1	VARIOS
2.1	MÓDULO TÉCNICO		1	ASA
MARCA	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL

PROPIEDAD LEGAL:

UCA Universidad de Cádiz

TÍTULO: MÓDULO HIDROPÓNICO

TÍTULO SUPLEMENTARIO: VISTA EXPLOSIONADA

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 1.02.00

CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES — FECHA: 04/08/2026

TIPO DE DOCUMENTO: PLANO DE SUBCONJUNTO

APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE — FECHA: 27/08/2026

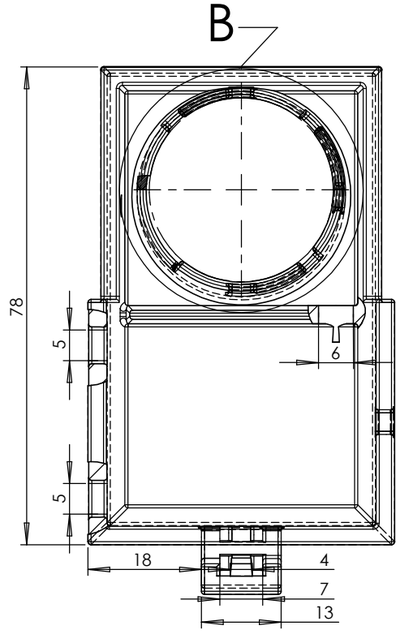
ESCALA: 1:1

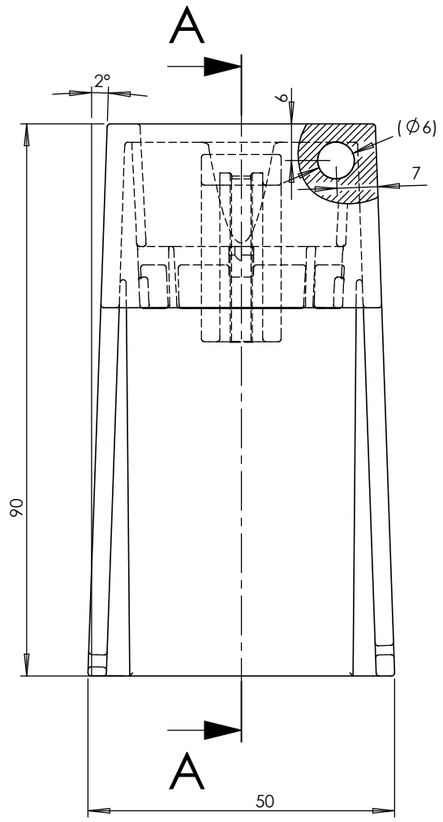
TAMAÑO PAPEL: A3

SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:

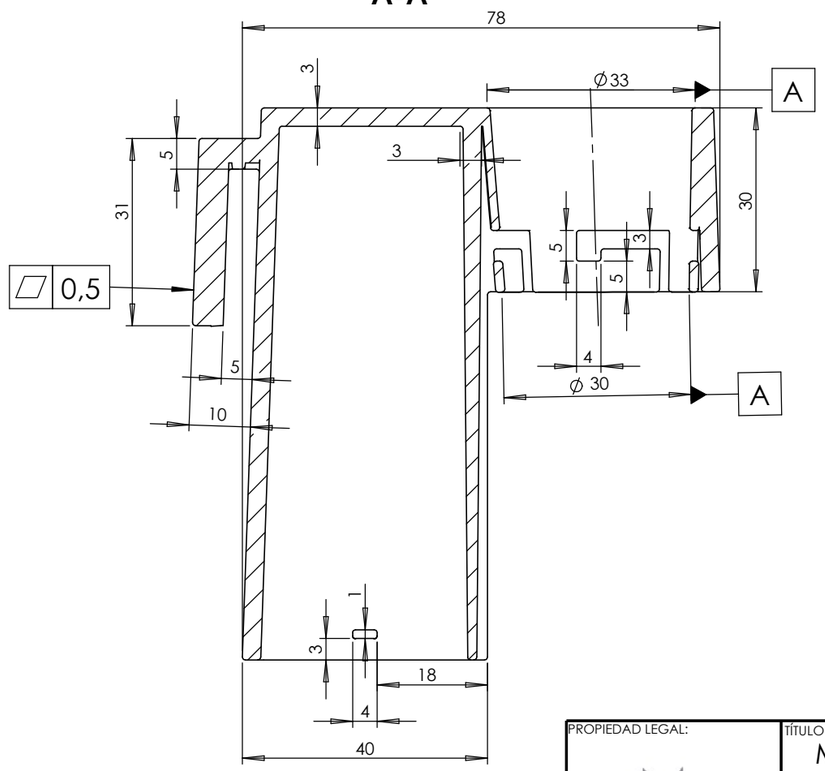
NÚMERO DE PÁGINA: 153

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

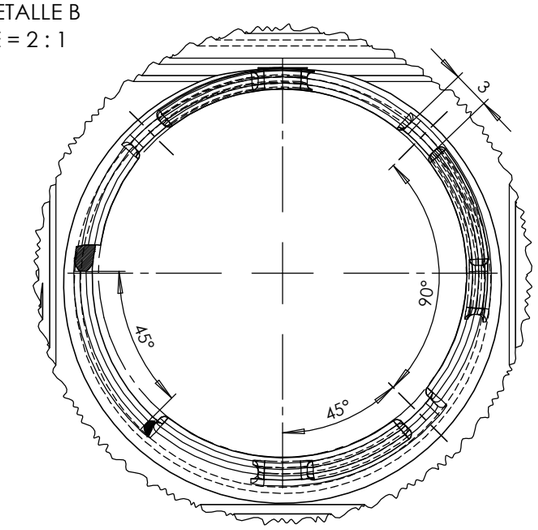




CORTE:
A-A

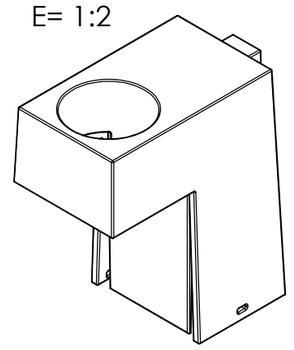


DETALLE B
E = 2 : 1



⌀0,3 A

E= 1:2



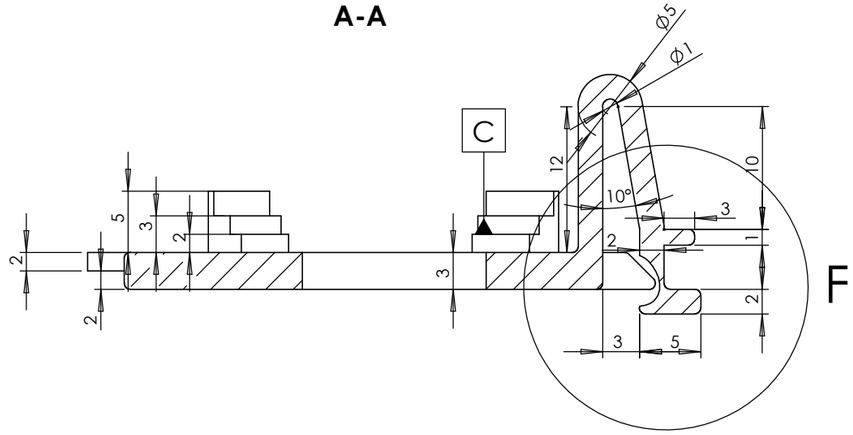
El ángulo de desmoldeo de la pieza es: 2º

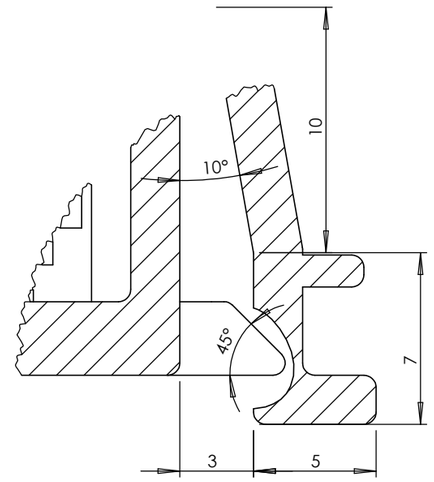
*Redondeos R de la pieza: R= 1mm.
Excepto que se indique el valor correspondiente

PROPIEDAD LEGAL: UCA Universidad de Cádiz	TÍTULO: MÓDULO TÉCNICO		NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 1.02.01
	TÍTULO SUPLEMENTARIO: MÓDULO "NAKED"		
	CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES	FECHA: 04/08/2026	TIPO DE DOCUMENTO: PLANO DE DESPIECE
	APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE	FECHA: 27/08/2026	TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS SEGÚN: ISO 2768-m (MEDIA)
ESCALA: 1:1	TAMAÑO PAPEL: A3	SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:	NÚMERO DE PÁGINA: 154 / MARCA: 2.1

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

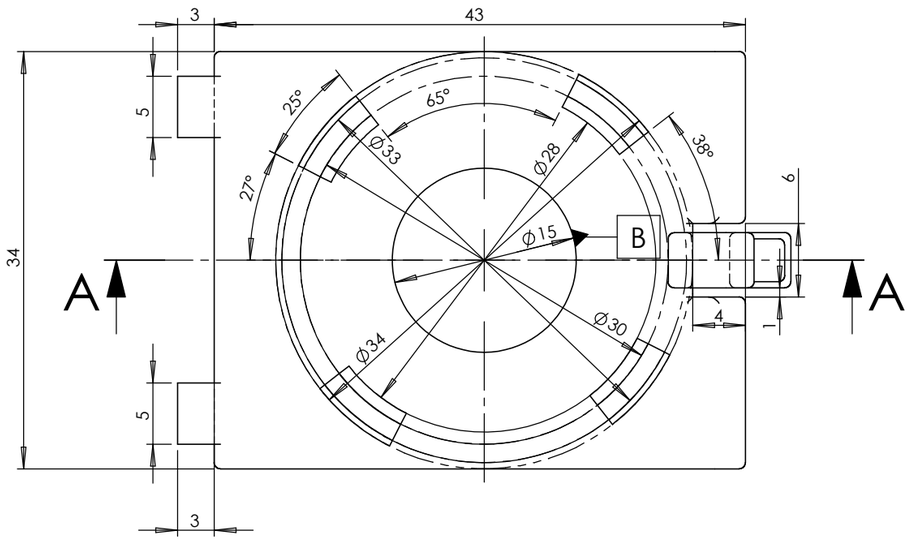
CORTE:
A-A





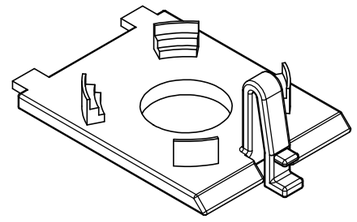
DETALLE F

E = 4 : 1



0,3 B-C

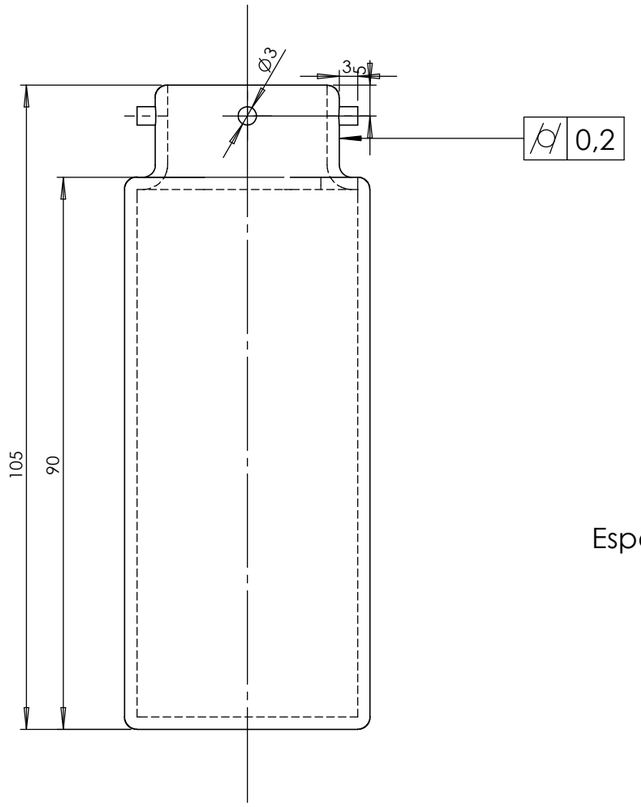
E = 1:1



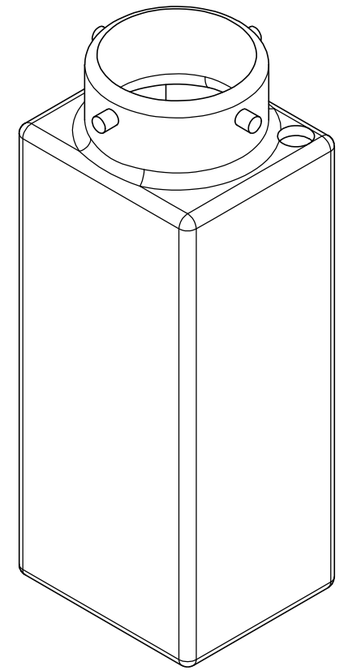
*Redondeos R de la pieza: R= 0.5 mm
Excepto que se indique el valor correspondiente

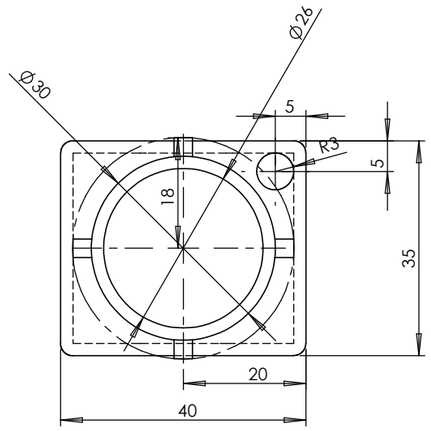
PROPIEDAD LEGAL: UCA Universidad de Cádiz	TÍTULO: TAPADERA		NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 1.02.02
	TÍTULO SUPLEMENTARIO: TAPADERA INFERIOR		
	CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES	FECHA: 04/08/2026	TIPO DE DOCUMENTO: PLANO DE DESPIECE
	APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE	FECHA: 27/08/2026	TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS SEGÚN: ISO 2768-m (MEDIA)
ESCALA: 2:1	TAMAÑO PAPEL: A3	SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:	NÚMERO DE PÁGINA: 155 / MARCA: 2.3

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



Espesor e= 2 mm



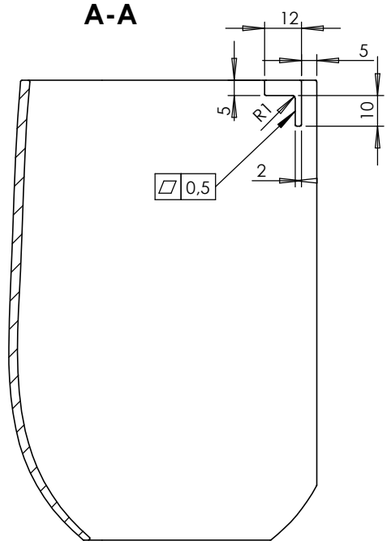


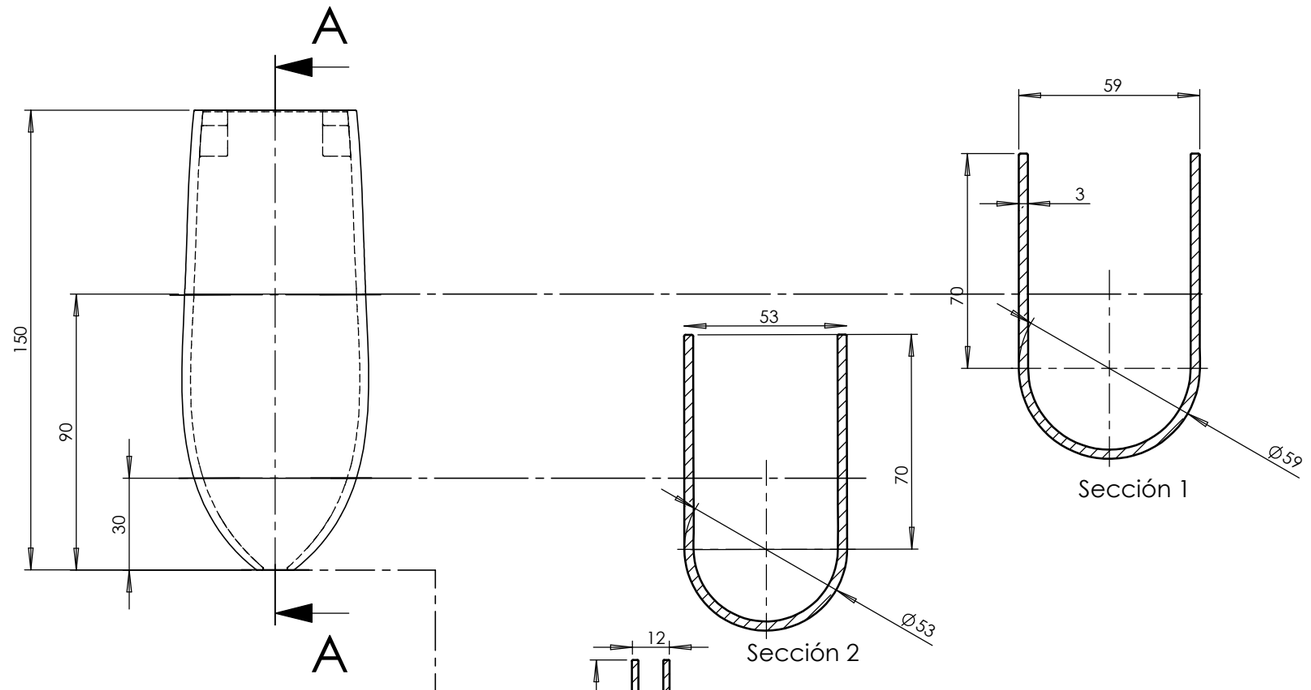
*Redondeos R de la pieza: R= 2 mm.
Excepto que se indique el valor correspondiente

PROPIEDAD LEGAL: UCA Universidad de Cádiz	TÍTULO: DEPÓSITO		NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 1.02.03
	TÍTULO SUPLEMENTARIO: DEPÓSITO DE CRISTAL		
	CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES	FECHA: 04/08/2026	TIPO DE DOCUMENTO: PLANO DE DESPIECE
	APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE	FECHA: 27/08/2026	TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS SEGÚN: ISO 2768-c (GRUESA)
ESCALA: 1:1	TAMAÑO PAPEL: A3	SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:	NÚMERO DE PÁGINA: 156 / MARCA: 2.4

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

CORTE:
A-A



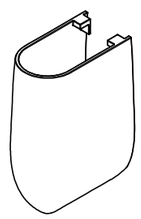


Sección 1

Sección 2

Sección 3

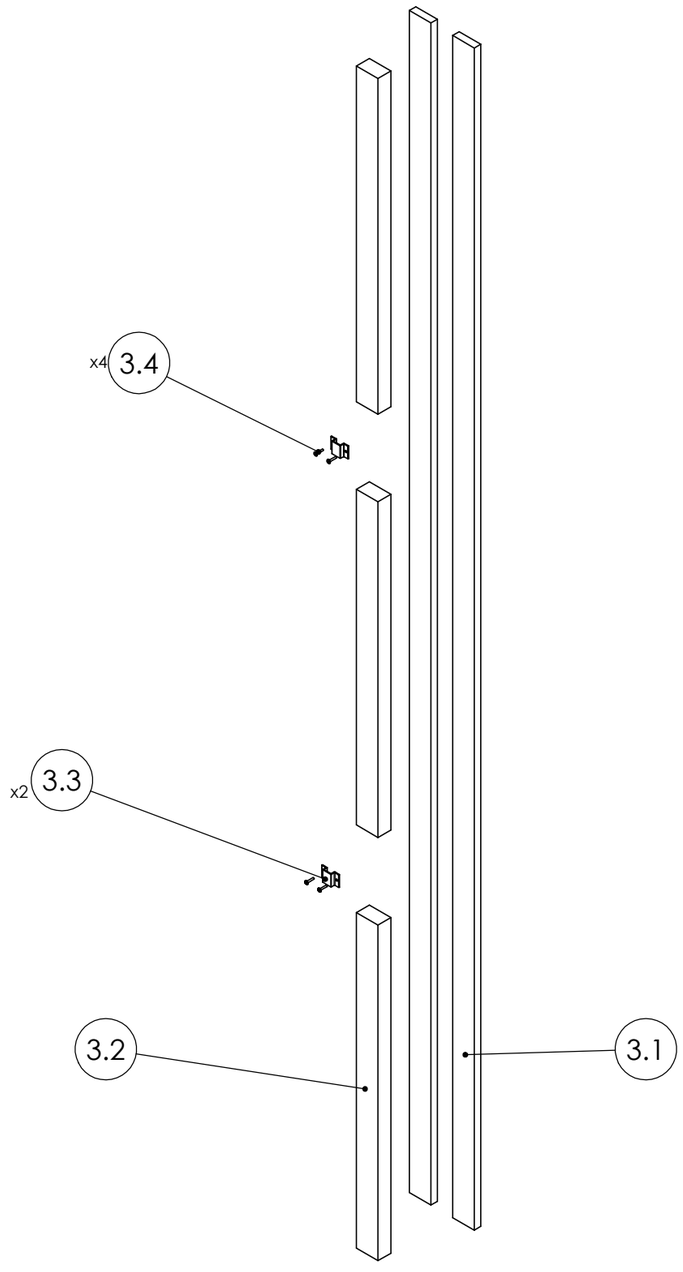
E= 1:5



*Redondeos R de la pieza: R= 0.5 mm
Excepto que se indique el valor correspondiente

PROPIEDAD LEGAL: UCA Universidad de Cádiz	TÍTULO: PIEL EXTERIOR		NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 1.02.04
	TÍTULO SUPLEMENTARIO: ENVOLVENTE		
	CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES	FECHA: 04/08/2026	TIPO DE DOCUMENTO: PLANO DE DESPIECE
	APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE	FECHA: 27/08/2026	TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS SEGÚN: ISO 2768-c (GRUESA)
ESCALA: 1:2	TAMAÑO PAPEL: A3	SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:	NÚMERO DE PÁGINA: 157 / MARCA: 2.5

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



MARCA	DENOMINACIÓN	REFERENCIA	CANTIDAD	MATERIAL
3.4	TORNILLO (DIN 967 M3X16 Z)		4	ACERO INOXIDABLE
3.3	ABRAZADERA		2	ACERO INOXIDABLE
3.2	TABLÓN		3	MADERA DE PINO
3.1	FIELTRO		2	FIELTRO

PROPIEDAD LEGAL:
UCA Universidad de Cádiz

TÍTULO: SUBCONJUNTO PALILLERÍA

TÍTULO SUPLEMENTARIO: VISTA EXPLOSIONADA

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 10.01.03.00

CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES

FECHA: 04/08/2026

TIPO DE DOCUMENTO: PLANO DE SUBCONJUNTO

APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE

FECHA: 27/08/2026

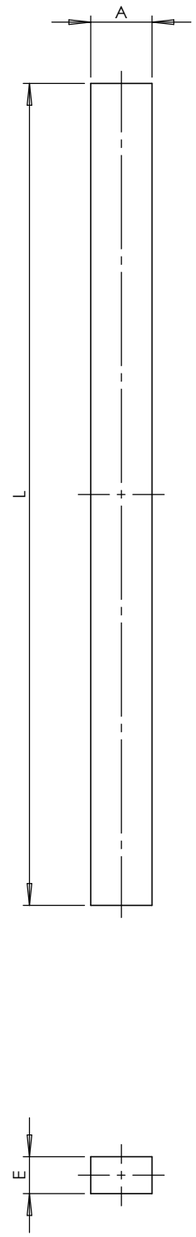
ESCALA: 1:10

TAMAÑO PAPEL: A3

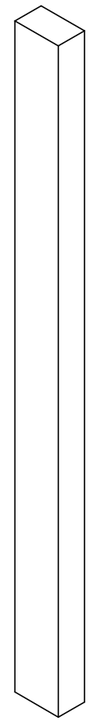
SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:

NÚMERO DE PÁGINA: 158

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

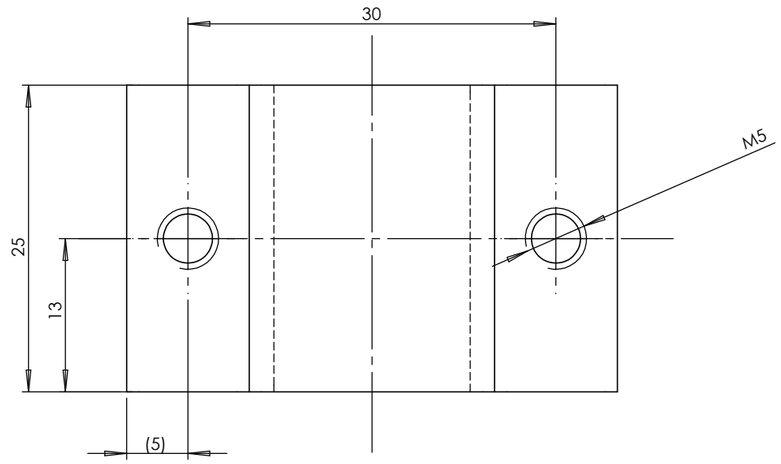


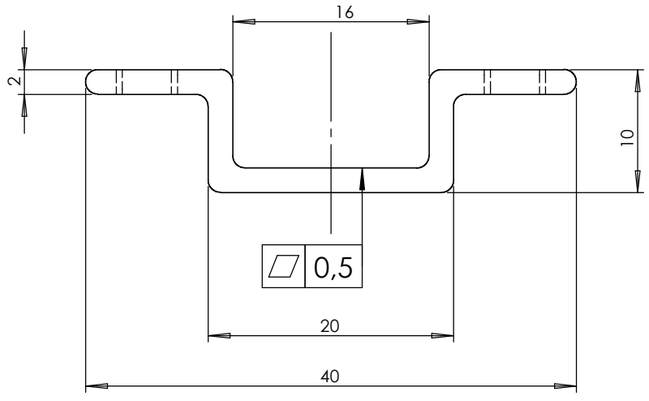
MARCA	L	A	E
3.1	2360	50	15
3.2	670	50	30

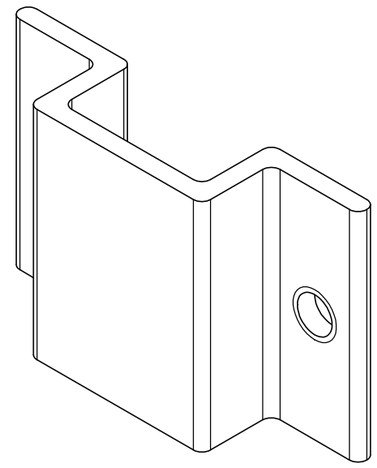


PROPIEDAD LEGAL: UCA Universidad de Cádiz	TÍTULO: TABLONES		NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 1.03.01
	TÍTULO SUPLEMENTARIO: TABLA DE MADERA Y FIELTRO		
	CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES	FECHA: 04/08/2026	TIPO DE DOCUMENTO: PLANO DE DESPIECE
	APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE	FECHA: 27/08/2026	
ESCALA: 1:5	TAMAÑO PAPEL: A3	SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:	NÚMERO DE PÁGINA: 159 / MARCA: 3.1 y 3.2

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.







*Redondeos R de la pieza: R= 1mm.
Excepto que se indique el valor correspondiente

PROPIEDAD LEGAL: UCA Universidad de Cádiz	TÍTULO: ABRAZADERA EN "U"		NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 1.03.03
	TÍTULO SUPLEMENTARIO: ENGANCHE		
	CREADO POR: PEDRO GARCÍA MORALES	FECHA: 04/08/2026	TIPO DE DOCUMENTO: PLANO DE DESPIECE
	APROBADO POR: MIGUEL ÁNGEL PARDO VICENTE	FECHA: 27/08/2026	TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS SEGÚN: ISO 2768-m (MEDIA)
ESCALA: 1:1	TAMAÑO PAPEL: A3	SÍMBOLO DE PROYECCIÓN:	NÚMERO DE PÁGINA: 160 / MARCA: 3.3

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Pliego de Condiciones

Índice Pliego de Condiciones

1: Condiciones Generales 163
1.1. Objeto del Pliego 163
1.2. Alcance 163
1.3. Normativa de Obligado Cumplimiento 163
2: Condiciones de los Materiales 164
2.1. Materiales Poliméricos y Resinas 164
2.2. Materiales Cerámicos / Vidrio 164
2.3. Componentes Metálicos y Tornillería 164
2.4. Componentes Eléctricos e Iluminación 164
2.5. Elementos de Sustentación y Cultivo (Kit Hidropónico) 165
3: Condiciones de Ejecución y Fabricación 165
3.1. Procesos de conformado 165
3.2. Procesos de ensamblaje 165
3.3. Montaje eléctrico 166
4: Condiciones de Inspección, Pruebas y Ensayos 166
4.1. Inspección visual y dimensional 166
4.2. Prueba de estanqueidad (Crítico) 166
4.3. Prueba de seguridad eléctrica 166
5: Condiciones de Recepción, Entrega y Uso Previsto 167
5.1. Embalaje y etiquetado 167
5.2. Condiciones de garantía 167
5.3. Límites de uso e instalación 167
6: Requisitos del Entorno de Instalación 167

4. Pliego de condiciones

1: Condiciones Generales

Este capítulo establece la autoridad del documento y el marco legal aplicable.

1.1. Objeto del Pliego

El presente Pliego de Condiciones tiene por objeto establecer y definir con carácter vinculante las exigencias técnicas, operativas y legales que regirán la fabricación, ensamblaje, control de calidad y recepción del sistema hidropónico doméstico descrito en la Memoria y los Planos del proyecto.

1.2. Alcance

Las prescripciones contenidas en este documento son de obligado cumplimiento para cualquier entidad fabricante, subcontratista u operario encargado de la materialización, total o parcial, del producto. En caso de discrepancia entre los distintos documentos del proyecto, el Pliego de Condiciones prevalecerá siempre sobre la Memoria y los Planos.

1.3. Normativa de Obligado Cumplimiento

Todos los componentes eléctricos, electrónicos y procesos de fabricación deberán cumplir estrictamente con el marco normativo vigente, destacando de forma no limitativa:

Directiva 2014/35/UE (Baja Tensión), aplicable a las fuentes de alimentación.

Directiva 2014/30/UE (Compatibilidad Electromagnética).

Directiva 2011/65/UE (RoHS), relativa a la restricción de sustancias peligrosas en aparatos eléctricos.

Reglamento REACH (CE) Nº 1907/2006, garantizando la ausencia de compuestos tóxicos por lixiviación en elementos en contacto continuo con el agua.

1.4. Tolerancias Dimensionales y Geométricas

La fabricación, mecanizado e inyección de las piezas se regirá por lo indicado en los planos, amparados bajo la norma UNE-EN ISO 2768. Se aplicará la clase de tolerancia general "m" (Media) para los componentes de inyección polimérica (ASA) y la clase "c" (Gruesa) para la envolvente de resina (Jesmonite) y componentes de vidrio.

Las tolerancias de forma, orientación y situación (coaxialidad, cilindricidad y posición) estarán limitadas bajo la norma UNE-EN ISO 1101, siendo de obligado cumplimiento en las cotas funcionales de anclaje, bayoneta y estanqueidad reflejadas en los planos de despiece correspondientes. Cualquier lote de fabricación que exceda estas tolerancias será considerado defectuoso (scrap) a coste del fabricante.

2: Condiciones de los Materiales

2.1. Materiales Poliméricos y Resinas

- **Módulo Técnico y Anclajes:** Se fabricarán obligatoriamente en Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) grado inyección. El material deberá presentar alta estabilidad dimensional y resistencia a la humedad continua, sin sufrir degradación mecánica a temperaturas de operación de hasta 40 °C.
- **Envolvente Exterior y Embellecedor:** Se conformarán empleando la resina compuesta base agua Jesmonite AC100 (polvo mineral y resina acrílica). La mezcla deberá respetar estrictamente el ratio de dosificación dictado por el fabricante (2.5 partes de polvo por 1 parte de líquido) para garantizar su resistencia mecánica al impacto y evitar fisuras por contracción.

2.2. Materiales Cerámicos / Vidrio

- **Depósito del Sistema Hidropónico:** Se fabricará en vidrio sodocálcico transparente y liso. Queda terminantemente prohibido el uso de vidrios con tratamientos superficiales que puedan liberar metales pesados al entrar en contacto prolongado con la solución nutritiva o que alteren el pH del agua. El mecanizado del cuello (bayoneta) deberá asegurar un ajuste mecánico preciso con el módulo de ABS, sin tolerar holguras que provoquen vibraciones por la bomba.

2.3. Componentes Metálicos y Tornillería

- Toda la tornillería empleada en el ensamblaje (normas DIN 967 para métrica M3 y DIN 7045 para métrica M3) será, sin excepción, de Acero Inoxidable calidad A2 (AISI 304) o superior. Queda expresamente prohibido el uso de acero al carbono zincado o galvanizado, dada la exposición constante a humedad y la probabilidad de corrosión galvánica.

2.4. Componentes Eléctricos e Iluminación

- **Sistema Neumático y Criterio de Intercambiabilidad** El suministro de aireación principal recaerá sobre una microbomba comercial de 5V DC y consumo máximo de 1W. Modelo principal de referencia: [Anrbb *1W, ASIN : B0DPQV3Y2Q*].a
  Cláusula de Resiliencia de Suministro: La geometría del alojamiento interno en el Módulo Técnico de ASA ha sido dimensionada bajo el criterio de intercambiabilidad de componentes comerciales (COTS). El habitáculo y sus soportes de retención garantizan la envolvente espacial necesaria para albergar, de forma alternativa y sin requerir modificaciones en el molde de inyección, al menos dos modelos equivalentes (Modelos admitidos: *[*TONGFENG - *UPC 010012341442.]* y *[* FiTspi - *UPC 691334423605]*). Cualquier bomba alternativa instalada en la cadena de montaje deberá respetar estrictamente el gálibo máximo acotado en planos, la tensión operativa (USB) y el límite de emisión acústica de 35dB(A).
- **Iluminación:** La placa LED (SmartArray 757, 4W) deberá ensamblarse manteniendo la polaridad e integridad de los conectores de resorte. El cableado asociado empleará una sección de 22 AWG con aislamiento de PVC que

garantice un recubrimiento máximo de 1.5 mm, pelado exactamente a 3.5 mm en los extremos de inserción.

2.5. Elementos de Sustentación y Cultivo (Kit Hidropónico)

El alojamiento de las especies vegetales y el soporte radicular se ejecutará mediante un kit hidropónico comercial, modular e intercambiable (Referencia comercial homologada: [Referencia: 95347368 de Marca la marca veg26]). Para garantizar la salubridad del sistema y su compatibilidad geométrica, este subconjunto estará compuesto obligatoriamente por los siguientes tres elementos:

- Cesta de cultivo: Deberá estar fabricada en polímero termoplástico de grado alimentario (preferiblemente Polipropileno - PP), químicamente inerte y resistente a la degradación por inmersión continua en soluciones de abono mineral. Su diámetro de labio superior deberá ajustarse a la cota del orificio del módulo técnico de ASA, garantizando un asiento estático sin holguras.
- Esponja de enraizamiento: Medio de soporte inerte de estructura macroporosa (espuma de poliuretano agrícola, biopolímero o turba extrusionada). Es condición estricta que el material no altere el pH ni la conductividad eléctrica (EC) de la solución nutritiva, y que no desprenda microfibras que puedan obstruir el sistema de aireación.
- Tapa o domo de opacidad: Elemento polimérico destinado a bloquear la incidencia lumínica directa sobre el sustrato en las fases de germinación. Su función es obligatoria para inhibir la proliferación de algas fotosintéticas en el interior del depósito de vidrio.

3: Condiciones de Ejecución y Fabricación

3.1. Procesos de conformado

- **Inyección de ABS:** Los parámetros de inyección (presión, temperatura de masa y tiempo de enfriamiento) deberán ajustarse para garantizar la ausencia total de rechupes y alabeos. Se exige especial precisión en la zona del anclaje de bayoneta, cuya contracción volumétrica deberá estar compensada en la matriz.

- **Colada de Jesmonite:** El vertido en los moldes de silicona se realizará bajo vibración mecánica (mesa vibratoria) durante un mínimo de 3 minutos para forzar la desgasificación y evitar porosidades o burbujas ocluidas en la cara vista (superficie clase A). El curado inicial no será inferior a 2 horas antes del desmoldeo, debiendo reposar las piezas a temperatura ambiente durante 24 horas para alcanzar su resistencia mecánica final antes del ensamblaje.

3.2. Procesos de ensamblaje

- **Unión Estructural:** El apriete de la tornillería rosca-chapa (DIN 7981) sobre el ABS se realizará con atornillador dinamométrico calibrado, limitando el par de apriete para evitar el pasado de rosca o la fractura del labio plástico.

- **Acoplamiento Hidráulico:** La inserción del tubo de aireación de silicona en la bomba y en el depósito se ejecutará en seco, quedando prohibido el uso de lubricantes u óleos que puedan contaminar la solución hidropónica.

3.3. Montaje eléctrico

- El pelado de los cables de 22 AWG se ejecutará con herramienta de precisión, garantizando una longitud exacta de cobre expuesto de 3,5 mm (Con una tolerancia de ±0,2 mm). Queda terminantemente prohibido el estañado de las puntas que vayan insertadas en los conectores de resorte de la placa LED (SmartArray 757), para asegurar la correcta deformación mecánica y retención del cobre. Los cables quedarán guiados y trincados internamente para evitar tensiones mecánicas (tirones) en los puntos de soldadura o conexión.

4: Condiciones de Inspección, Pruebas y Ensayos

4.1. Inspección visual y dimensional

- Se realizará una inspección visual al 100% de las unidades fabricadas. Se rechazarán aquellas piezas de Jesmonite que presenten cambios de tonalidad, coqueras mayores a 1 mm o rebabas en los bordes.
- Las tolerancias de fabricación del cierre de bayoneta (ABS y vidrio) se verificarán mediante un calibre de "pasa / no pasa", asegurando un giro de 90º suave y sin holgura vertical.

4.2. Prueba de estanqueidad (Crítico)

- Dado el riesgo de combinación de agua y electricidad, el 100% de los depósitos de vidrio ensamblados al módulo técnico se someterán a una prueba de estanqueidad. Se llenará el depósito hasta su cota máxima operativa y se mantendrá en reposo durante 24 horas sobre papel indicador de humedad. Cualquier signo de fuga capilar, goteo o condensación excesiva será motivo de rechazo de la unidad.

4.3. Prueba de seguridad eléctrica

- A pesar de operar en muy baja tensión (5V DC mediante USB), se verificará la continuidad del circuito y el aislamiento de las conexiones expuestas cerca del entorno húmedo. El sistema no deberá presentar derivaciones ni calentamiento anómalo en la placa LED tras 6 horas de funcionamiento ininterrumpido.

4.4. Ensayo de ruido y vibración

- El módulo funcional, operando con la bomba de aire a pleno rendimiento, se someterá a un sonómetro (filtro de ponderación A) a 1 metro de distancia en cámara anecoica o ambiente silencioso controlado. El nivel de presión sonora emitido no deberá superar el rango de 35 - 50 dB(A). Asimismo, el sistema deberá aislar mecánicamente las vibraciones de la bomba, evitando que se transmitan como ruido estructural a la pared de anclaje.

5: Condiciones de Recepción, Entrega y Uso Previsto

5.1. Embalaje y etiquetado

- Las unidades se embalarán individualmente. El depósito de vidrio deberá ir encapsulado en espuma de polietileno (EPE) o celulosa moldeada anti-impactos.
- El embalaje exterior y el propio dispositivo (en su parte posterior) llevarán fijada una etiqueta indeleble que incluirá: Marcado CE, tensión y potencia nominal de entrada (5V DC, 5W Máx.), el símbolo WEEE (cubo de basura tachado) indicando la prohibición de desecho en basura convencional, y la trazabilidad del lote de fabricación.

5.2. Condiciones de garantía

- El sistema gozará de una garantía de tres (3) años frente a defectos de fabricación o vicios ocultos de los materiales, conforme a la Directiva (UE) 2019/771.
- La garantía quedará automáticamente invalidada si el usuario desmonta el módulo técnico de ABS, si emplea el equipo con disolventes o productos químicos corrosivos distintos a las soluciones de abono hidropónico estandarizadas, o si somete el depósito de cristal a choques térmicos abruptos.

5.3. Límites de uso e instalación

- El sistema está concebido para su operatividad tanto en ambientes interiores como en espacios exteriores semi-cubiertos (terrazas techadas, porches o balcones protegidos).
- Al carecer de estanqueidad certificada frente a precipitaciones, queda expresamente prohibida su instalación a la intemperie total, su exposición a lluvia directa o su contacto con sistemas de riego por aspersión.
- Se evitará su instalación en ubicaciones sometidas a radiación solar extrema de forma continua (para prevenir la degradación acelerada de los polímeros) o en entornos con temperaturas inferiores a 5 °C, dado el riesgo crítico de fractura del depósito de vidrio por congelación de la solución nutritiva.

6: Requisitos del Entorno de Instalación

6.1. Condiciones de la base de anclaje (Suministrada por el usuario)

- El anclaje del Módulo Hidropónico requiere una preinstalación arquitectónica o decorativa en el paramento de destino (ej. sistema de palillería). Dicha base no forma parte del alcance de suministro de este proyecto, pero deberá cumplir estrictamente las siguientes tolerancias de montaje para garantizar la operatividad del sistema:
- **Gálibo de Enrutamiento:** Se deberá prever una cámara de instalaciones de al menos **10 mm** entre la cara posterior de los listones de madera y el muro portante (pared) para la canalización oculta de los cables y enganches.

- **Separación Inter-Lamas:** La distancia libre entre tablones contiguos donde se aloje el soporte en U deberá respetar una constante de **175 mm**, asegurando que el módulo técnico de ASA asiente sin forzar los ángulos de desmoldeo.
- **Espacio Libre de Extracción (Gálibo Superior):** Es imperativo dejar un espacio libre de obstáculos de, como mínimo, **40 mm** medidos verticalmente desde el punto más alto del enganche en U hasta el tablón justamente superior. La invasión de este gálibo impedirá la extracción de las cestas hidropónicas y el desmontaje del depósito para su mantenimiento.

La omisión de estas cotas de gálibo por parte del instalador o del usuario eximirá al fabricante de cualquier responsabilidad sobre la imposibilidad de mantenimiento o sobrecalentamiento del equipo.

Mediciones

Índice de Mediciones

1: Envolvente y Estructura 171
2: Sistema Neumático e Hidropónico 172
3: Electrónica e Iluminación 172
4: Mano de Obra y Procesos 172

5. Mediciones

Criterios de Medición:

Las presentes mediciones corresponden a la fabricación y ensamblaje de una (1) unidad funcional (Módulo Mínimo). Las masas de los polímeros y resinas se han calculado volumétricamente mediante software CAD, aplicando las densidades teóricas del ABS (1,04 g/cm³), Jesmonite AC100 (1,75 g/cm³) y vidrio borosilicato (2,50 g/cm³).

Código	Descripción de la Partida	Ud.	Longitud	Anchura	Altura	Cant. Total
1	**1: Envolvente y Estructura**					
01.01	Resina Jesmonite AC100 para carcasa exterior (Colada)	kg	-	-	-	0,173
01.02	Resina Jesmonite AC100 para embellecedor frontal 15x15cm	kg	-	-	-	0,15
01.03	Módulo técnico interno en ASA (resistente UV)	kg	-	-	-	0,064
01.04	Enganche en U para pared en ASA inyectado	kg	-	-	-	0,003
01.05	Depósito de vidrio moldeado con anclaje de bayoneta (30,7 cm³)	kg	-	-	-	0,077
01.06	Tornillo autorroscante Acero Inox A2 DIN 7981 Ø3.5x20mm	ud	-	-	-	2
01.07	Sellador Acrílico impermeabilizante (Rendimiento 0.015 L/ud)	L				0,015

2	**2: Sistema Neumático e Hidropónico**					
02.01	Mini Bomba de Aire USB 1W (Anrbb) con cable de 75cm	ud	-	-	-	1
02.02	Tubo plástico de aireación (Ø 6mm)	m	1	-	-	1
02.03	Cesta hidropónica de rejilla estandarizada	ud	-	-	-	1
02.04	Esponja de germinación hidropónica	ud	-	-	-	1
02.05	Tapa aislante transparente para cesta	ud	-	-	-	1
3	**3: Electrónica e Iluminación**					
03.01	Placa LED SmartArray 757 (6x Nichia, 4W, 705lm, 6500K)	ud	-	-	-	1
03.02	Tornillo cilíndrico hex. int. Acero Inox A2 DIN 912 M3x10mm	ud	-	-	-	2
03.03	Cable unipolar 22 AWG con aislamiento máx 1.5mm	m	1	-	-	1
4	**4: Mano de Obra y Procesos**					
04.01	Mano de obra: Colada y curado de resina Jesmonite	h	-	-	-	0,5

04.02	Amortización/Uso de matriz de inyección para piezas ABS	ud	-	-	-	1
04.03	Mano de obra: Ensamblaje final, cableado y verificación	h	-	-	-	0,5
04.04	Mano de obra: Aplicación de sellador acrílico bicapa	h				0,15

Presupuesto

Índice del presupuesto

1. Cuadro de Precios Unitarios (CPU) 176
2. Presupuestos Parciales 177
   1: Envolvente y Estructura 177
   2: Sistema Neumático e Hidropónico 178
   3: Electrónica e Iluminación 178
   4: Procesos de Fabricación y Amortización 179
   5: Ingeniería y Desarrollo 179
3. Presupuesto de Ejecución Material (PEM) 180
4. Presupuesto Base de Licitación / Ejecución por Contrata (PEC) 180
5. Cierre Formal del Documento 181

6. Presupuesto

1. Cuadro de Precios Unitarios (CPU)

Nota: Todos los importes se expresan en euros (€) sin incluir el Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA).

Código	Descripción del Material / Proceso	Ud.	Precio Neto (€)	Justificación de Cálculo / Origen
MAT-01	Resina Jesmonite AC100 (Polvo + Líquido)	kg	13,93	Kit 1.75kg a 29,50€ / 1,21 = 24,38€ / 1,75kg
MAT-02	Granza / Pellets ASA grado inyección (UV)	kg	12,00	Precio est. mercado industrial
MAT-03	Sellador Acrílico Jesmonite	L	32,00	Precio est. envase 1L industrial
COM-01	Depósito de vidrio moldeado	ud	0,83	1,00€ / 1,21
COM-02	Mini Bomba de Aire USB 1W (Anrbb)	ud	7,84	9,49€ / 1,21
32,00COM-03	Tubo plástico de aireación Ø 6mm	m	0,5	0,60€ / 1,21
COM-04	Kit Hidropónico (Cesta + Esponja + Tapa)	kit	0,54	32,80€ / 1,21 = 27,10€ / 50 kits
COM-05	Placa LED SmartArray 757 4W	ud	4,93	5,96€ / 1,21
COM-06	Cable unipolar 22 AWG	m	1,35	1,63€ / 1,21

COM-07	Tornillo autorroscante Acero Inox Ø3.5	ud	0,02	0,02€ / 1,21 (Redondeo por exceso)
COM-08	Tornillo cilíndrico Inox M3x10mm	ud	0,09	(20,90€ / 200 ud) / 1,21
MOB-01	Mano de Obra: Colada y curado	h	14	Coste empresa operario especialista
MOB-02	Mano de Obra: Ensamblaje y cableado	h	22	Coste empresa oficial electricista
MOB-03	Mano de Obra: Tratamiento superficial (Sellado)	h	14,00	Coste empresa op. especialista
UTL-01	Amortización de Moldes (Serie 1.000 ud)	ud	10,4	(ABS: 8.000€ + Vidrio: 2.000€ + Resina: 400€) / 1000
NRE-01	M.O. Ingeniería y Diseño Industrial	h	43	Tarifa técnica de mercado freelance
NRE-02	Licencia CAD (SolidWorks Premium - 7 meses)	ud	2.500,00	Coste comercial amortizable anual prorrateado
NRE-03	Licencia Software Renderizado y Modelado 3D (Blender)	ud	0	Licencia Open Source (GNU GPL)

2. Presupuestos Parciales

1: Envolvente y Estructura

Código	Descripción de la Partida	Ud.	Cant.	Precio Unitario (€)	Total (€)

01.01	Resina Jesmonite AC100 (Carcasa ext.)	kg	0,173	13,93	2,41
01.02	Resina Jesmonite AC100 (Embellecedor)	kg	0,15	13,93	2,09
01.03	Módulo técnico interno en ASA	kg	0,062	12,00	0,74
01.04	Enganche en U para pared en ABS	kg	0,003	9,08	0,03
01.05	Depósito de vidrio moldeado	ud	1	0,83	0,83
01.06	Tornillo autorroscante Acero Inox Ø3.5x20	ud	2	0,02	0,04
	TOTAL 1:				**6,14**

2: Sistema Neumático e Hidropónico

Código	Descripción de la Partida	Ud.	Cant.	Precio Unitario (€)	Total (€)
02.01	Mini Bomba de Aire USB 1W	ud	1	7,84	7,84
02.02	Tubo plástico de aireación Ø 6mm	m	1	0,5	0,5
02.03	Kit Hidropónico (Cesta, esponja, tapa)	kit	1	0,54	0,54
	TOTAL 2:				8,88

3: Electrónica e Iluminación

Código	Descripción de la Partida	Ud.	Cant.	Precio Unitario (€)	Total (€)

03.01	Placa LED SmartArray 757	ud	1	4,93	4,93
03.02	Tornillo cilíndrico Inox M3x10mm	ud	2	0,09	0,18
03.03	Cable unipolar 22 AWG	m	1	1,35	1,35
	TOTAL 3				6,46

4: Procesos de Fabricación y Amortización

Código	Descripción de la Partida	Ud.	Cant.	Precio Unitario (€)	Total (€)
04.01	M.O.: Colada y curado Jesmonite y Barnizado	h	0,65	14	9,1
04.02	M.O.: Ensamblaje final y verificación	h	0,5	22	11
04.03	Cuota Amortización Moldes (Serie 1.000)	ud	1	10,4	10,4
	TOTAL 4:				30,50

5: Ingeniería y Desarrollo

Código	Descripción de la Partida	Ud.	Cant.	Precio Unitario (€)	Total (€)
05.01	M.O. Ingeniería: Desarrollo regular (600h / 1.000 ud)	h	0,6	43	25,8
05.02	M.O. Ingeniería: Fase intensiva CAD (180h / 1.000 ud)	h	0,18	43	7,74

05.03	Amort. Licencia SolidWorks Premium (1 ud / 1.000 ud)	ud	0,001	2.500,00	2,5
05.04	Amort. Licencia Blender (Open Source)	ud	0,001	0	0
	TOTAL 5:				36,04

3. Presupuesto de Ejecución Material (PEM)

Capítulo	Descripción	Importe (€)
1	Envolvente y Estructura	6,14
2	Sistema Neumático e Hidropónico	8,88
3	Electrónica e Iluminación	6,46
4	Procesos de Fabricación y Amortización	30,5
5	Ingeniería y Desarrollo	36,04
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	88,02

4. Presupuesto Base de Licitación / Ejecución por Contrata (PEC)

El presente presupuesto determina el coste unitario comercial del producto asumiendo un escenario de industrialización de 1.000 unidades.

Concepto Económico	Porcentaje Aplicado	Importe (€)
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	-	88,02
Gastos Generales (GG)	13% s/ PEM	11,44
Beneficio Industrial (BI)	31% s/ PEM	27,29
Base Imponible	(PEM + GG + BI)	126,75
Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA)	21% s/ Base Imponible	26,62
PRESUPUESTO TOTAL UNITARIO (PEC)		153,37

5. Cierre Formal del Documento

Asciende el presente presupuesto general unitario (para una serie de 1.000 unidades) a la cantidad expresada de **CIENTO CINCUENTA Y TRES EUROS CON TREINTA Y SIETE CÉNTIMOS (153,37 €)**.

NOTA TÉCNICA Y DE VIABILIDAD ECONÓMICA: A efectos de justificación de proyecto, si se fabricase una única unidad asumiendo la totalidad de los costes de matricería (10.400 €) y la integridad de los costes de Ingeniería y Desarrollo NRE (36.040 €) sin aplicar prorrateo de serie, el PEM unitario ascendería a 46.478,52 €. Aplicando Gastos Generales, Beneficio Industrial e IVA, el coste final de esa unidad única ascendería a 80.984,17 €, evidenciando la inviabilidad económica del diseño industrial fuera de un escenario de producción en serie.