

MÉTODO DE DISEÑO Y ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS DE SILLAS EN MADERA Y MATERIALES CONEXOS



MÉTODO DE DISEÑO Y ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS DE SILLAS EN MADERA Y MATERIALES CONEXOS

Álvaro Arias Arenas



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Bogotá D. C., 2026

Método de diseño y elaboración de prototipos de sillas en madera y materiales conexos

Colección Acto Cumplido

- © Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá
- © Facultad de Artes
- © Vicedecanatura de Investigación y Extensión
- © Centro de Divulgación y Medios
- © Álvaro Arias Arenas, autor

Salvo cuando se especifique lo contrario, las figuras y tablas son propiedad del autor.

Primera edición, abril de 2026

ISBN: 978-628-503-204-2 (digital)

Esta publicación es el resultado de la Invitación Focalizada para la publicación de resultados de investigación y creación artística de la Facultad de Artes / 2024-2025, en conjunto con la Vicedecanatura de Investigación y Extensión y el Centro de Divulgación y Medios.



Atribución/Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso y hecho en Bogotá, D.C., Colombia

Rector

José Ismael Peña Reyes

Vicerrectora sede Bogotá

Lorena Chaparro Díaz

Decano Facultad de Artes

Miguel Antonio Huertas Sánchez

Vicedecana Académica

Mary Isbel Rodríguez Reyes

Vicedecana de Investigación y Extensión

Jenny Astrid Vargas Sánchez

Centro de Divulgación y Medios

Federico Guillermo Demmer Colmenares

Coordinación editorial

Alejandra Montes Escobar

Sofía Libertad Sánchez Guzmán

Daniela Marcela Guerrero Acosta

Asistente de coordinación

Juan Camilo González Moreno

Diseño de la colección

Andrés Conrado Montoya Acosta

Asistente de diseño

Leinys Dayanna Cuastumal

Corrección de textos

Pilar Pardo Herrero

Diagramación

Víctor Aristizábal Giraldo

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Arias Arenas, Álvaro, 1966-

Método de diseño y elaboración de prototipos de sillas en madera y materiales conexos / Álvaro Arias Arenas. -- Primera edición. -- Bogotá : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes. Vicedecanatura de Investigación y Extensión : Centro de Divulgación y Medios, 2026.

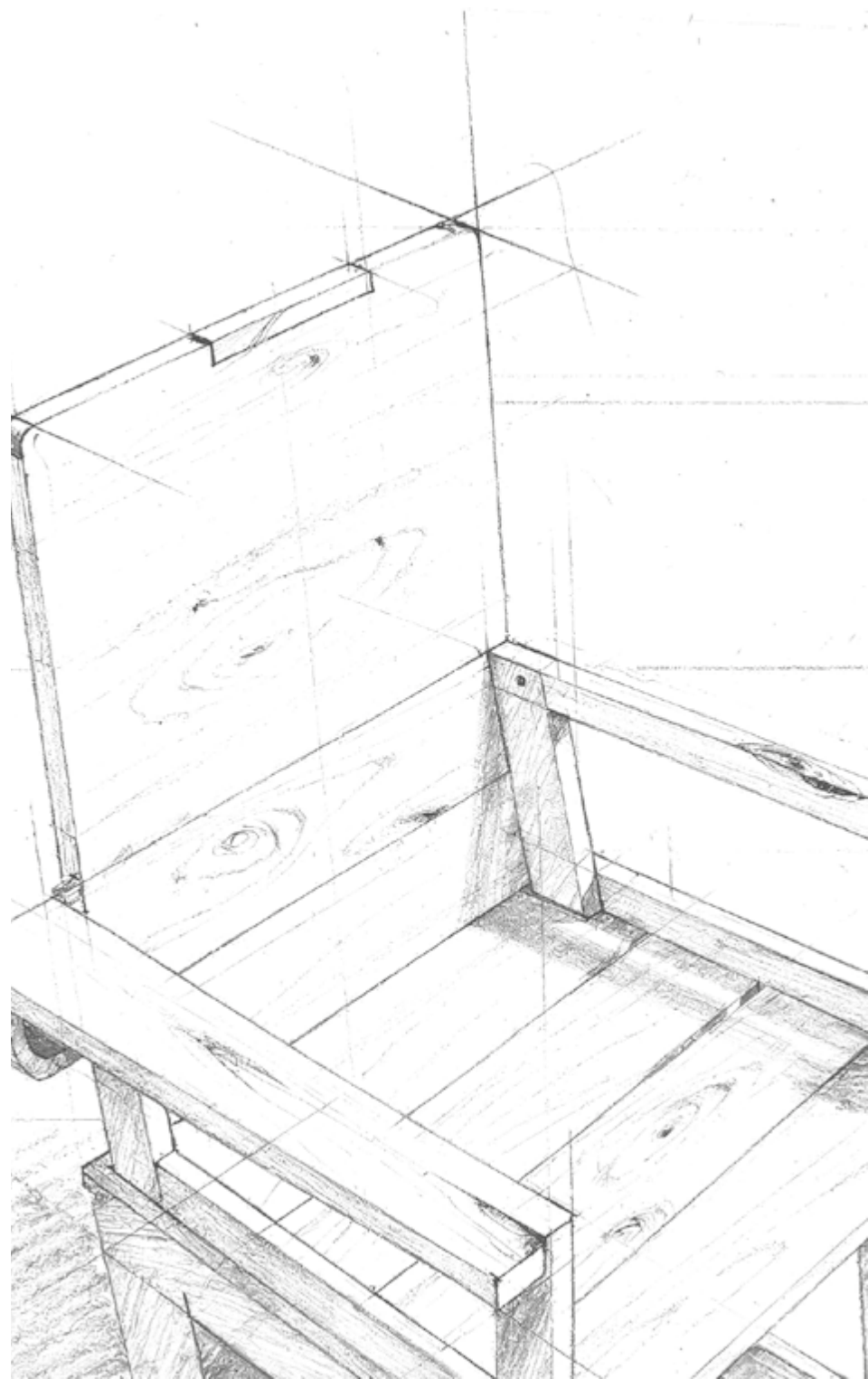
1 recurso en línea (220 páginas) : ilustraciones (principalmente a color), diagramas, fotografías. -- (Colección Acto Cumplido)

Incluye bibliografía

ISBN 978-628-503-204-2 (digital)

1. Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Facultad de Artes. Escuela de Diseño Industrial. Asignatura Tecnología de Materiales -- Proyectos 2. Diseño de sillas -- Metodología 3. Sillas -- Diseño y construcción 4. Diseño de mobiliario 5. Madera en el diseño -- Dibujos 6. Asientos (Muebles) 7. Muebles -- Fabricación 8. Sillas -- Modelos -- Estudios de casos 9. Prototipos -- Metodología -- Estudios de casos 10. Modelo de prototipos -- Estudio y enseñanza (Superior) -- Colombia 11. Artefacto 12. Diseño industrial -- Factores humanos 13. Ergonomía 14. Diseño centrado en el usuario 15. Estética (Diseño industrial) 16. Simbolismo en diseño industrial 17. Creatividad 18. Tecnología de la madera 19. Carpintería 20. Herramientas para el trabajo de la madera 21. Maquinaria para el trabajo de la madera 22. Ensamblajes de madera 23. Cultura material 24. Diseño industrial -- Métodos I. Título II. Serie.

CDD-23 749.32072 / 2026



*A mi señor padre, el ingeniero Álvaro Arias Conte (q. e. p. d.)
y mi señora madre, Avelina Arenas Contreras.*

*Mi esposa, Zenaida Escucha; mis hijos, Diana Milena y Álvaro,
y mis nietas, Mariana y Celeste.*

Mis hermanos, Fausto, Luz Dary y Gloria Amparo.

Todos mis sobrinos.

*Y todos los diseñadores y las diseñadoras industriales
que he tenido el honor de formar en una pequeña parte.*

Agradecimientos

Especial reconocimiento merece el compromiso de los estudiantes y los estudiantes del programa de Diseño Industrial de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, quienes durante más de diez años han diseñado, ensayado y construido más de ciento cincuenta sillas prototipo. Su participación en la asignatura Tecnología de Materiales, dentro del aula concebida como espacio de enseñanza y experimentación, ha sido esencial para refinar y validar un método multidimensional que articula estructura, composición formal, criterios ergonómicos, selección de materiales y procesos de manufactura.

El empeño, la creatividad, el compromiso y la capacidad de ingenio demostrados por cada estudiante han sido motores fundamentales para poner a prueba, tensionar y evolucionar de manera continua

el enfoque pedagógico y proyectual aquí propuesto. Reconozco con gratitud que su dedicación ha permitido transformar la experiencia académica en un laboratorio vivo de diseño, donde la serendipia, el artilugio y la aleatoriedad también han tenido cabida como elementos formativos. Agradezco particularmente:

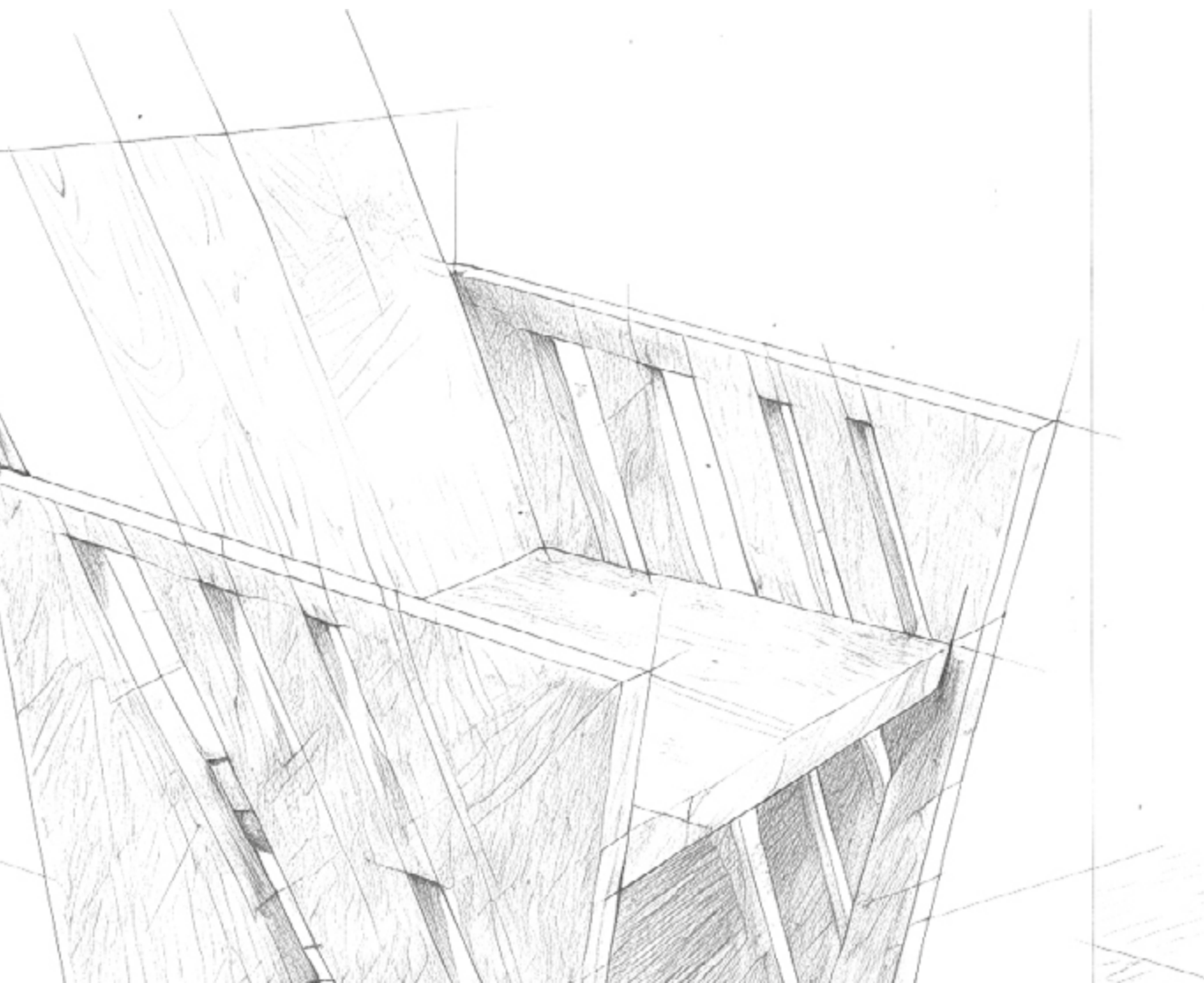
- A la Multiversidad Mundo Real Edgar Morín, donde investigué alrededor de la metodología del diseño desde la praxis.
- Al profesor Cory Robinson, de Indiana University-Purdue University, en Indianápolis, por sus contribuciones al método en su aula de clase.
- Al profesor Thomas Poepper, decano de la Facultad de Artes de Westsächsische Hochschule Zwickau (Universidad de Ciencias Aplicadas de Zwickau), en Alemania, por sus valiosos aportes y su sugerencia de centrar el texto únicamente en el método, así como por permitirme interactuar con sus estudiantes y profesores, especialmente con el diseñador industrial David Mantilla Mejía.
- A tres laboratorios de la Facultad de Artes de la Universidad Nacional de Colombia: el Laboratorio de Ergonomía y Factores Humanos, el Laboratorio Prototipos y Productos, y el Laboratorio de Procesos Maderables (la carpintería), este último, el principal escenario donde se elaboran los prototipos.



Contenido

Prefacio	27
Introducción.	28
Del objeto al artefacto.	29
Etapas del método	30
Descripción del método	32
Paso 1. Planteamiento y definición del problema: diseño de un artefacto de uso.	38
Paso 2. Estado del arte del artefacto de uso y referentes: etapa analítica exploratoria	42
Análisis.	43
Translación semiótica	51
Paso 3. Elaboración de la propuesta de diseño y concepto de diseño a desarrollar: etapa propositiva	54
El usuario como eje del diseño	56
El contexto como determinante proyectual	57
El concepto de diseño como visión proyectual.	58
Determinantes y requerimientos de diseño	60
Relación entre determinantes y requerimientos	62
Paso 4. Bocetación de las propuestas de diseño: etapa creativa divergente	64
La bocetación	65
Anotaciones acerca de la composición en la bocetación de sillas	72
Exploración de herramientas de inteligencia artificial generativa a partir de la bocetación de sillas	75
Paso 5. Escogencia y elaboración de modelos a escala reducida (1:5): etapa creativa divergente	78
Exploración de herramientas de inteligencia artificial generativa para la obtención de modelos de sillas a escala.	83
Paso 6. Evaluación, ponderación y selección de una propuesta para su desarrollo: etapa convergente.	86
Paso 7. Elaboración del modelo seleccionado a escala real 1:1	92
Paso 8. Aproximación al estudio ergonómico y análisis antropométrico	98
Dimensiones para la permanencia y el confort percibido	100
Evaluador postural: herramienta para la simulación dimensional en diseño de mobiliario	103
Estudio ergonómico y antropometría	104

Dimensiones de diseño	106	Armado de la silla prototipo Playita (nombre proyectual Delta).	191
¿Cómo probar una silla?	109	Armado de la silla prototipo La Petite.	193
El modelo a escala 1:1 como propuesta que se transforma	110	Anotaciones del armado de otras sillas prototipo	195
Paso 9. Selección de materiales y tecnología	112	Acabados superficiales.	200
Paso 9A Revisión de materiales y catálogo de maderas.	119	Paso 13. Exposición y divulgación de los prototipos de silla	206
Paso 9B Maquinaria para transformar la madera y procesos de carpintería	129	Conclusión.	212
Paso 9C Cálculo de la madera necesaria	137	Bibliografía	215
Paso 9D Obtención de las maderas	141		
Paso 9E Acondicionamiento de las maderas en la carpintería	145		
Paso 10. Planeación de la elaboración del prototipo	152		
Caso real 1: ejemplo de planeación del prototipo de silla Playita (nombre clave: proyecto Delta)	156		
Caso real 2: ejemplo de planeación de la silla prototipo La Petite	158		
Caso real 3: ejemplo de planeación de la silla prototipo Vacoom	161		
Algunas formas de unión: ensambles, encajes y uniones roscadas	164		
Paso 11. Elaboración del mueble	174		
Elaboración del prototipo de silla La Petite	178		
Elaboración del prototipo de silla Playita	181		
Paso 12. Armado y acabados de la silla	186		
Armado de la silla prototipo Hojaldre.	188		





Índice de figuras

Figura 1. Método de diseño y elaboración de un prototipo	33
Figura 2. Esquema del método en forma de espiral.	34
Figura 3. Seis sillas icónicas del siglo xx.	44
Figura 4. Prototipo de silla tumbona Vinkel.	56
Figura 5. Silla Llalin Kushe (diseño de DI Lucas Marcel Castaño Sarria)	59
Figura 6. Ejemplos de bocetación exploratoria de varios proyectos de prototipado de sillas.	66
Figura 7. Bocetación exploratoria del proyecto silla prototipo Cáncer	67
Figura 8. Boceto preliminar de la silla La Petite.	67
Figura 9. Bocetación exploratoria de un proyecto de tumbona	68
Figura 10. Bocetación silla Vacoom	68
Figura 11. Boceto evolucionado de la silla prototipo Hojaldre	69
Figura 12. Silla Hojaldre versión prototipo	69
Figura 13. Trabajo de bocetación de propuestas Alpha, Beta, Gamma y Épsilon, y anotaciones textuales relevantes	70
Figura 14. Boceto de la propuesta de diseño Delta con detalles dimensionales y constructivos	71
Figura 15. Boceto o modelo digital de la propuesta de diseño Delta	71
Figura 16. Ejercicio de bocetación compositiva bidimensional utilizando puntos y líneas en un proyecto de prototipado de sillas	72
Figura 17. Boceto de silla prototipo Anfy	75
Figura 18. Captura de pantalla del primer <i>prompt</i> para la silla prototipo Anfy	76
Figura 19. Captura de pantalla del segundo <i>prompt</i> para la silla prototipo Anfy.	76
Figura 20. Varios modelos de propuestas de silla a escala 1:5	80
Figura 21. Primer modelo en cartón a escala 1:5 de la silla prototipo Vacoom	81
Figura 22. Grupo de modelos a escala 1:5, la silla XX aparece en el extremo derecho	82
Figura 23. Modelos a escala 1:5 de las sillas Hojaldre y Playita (nombre proyectual Delta)	82
Figura 24. Modelo en cartón a escala 1:1 de la silla XX	83
Figura 25. Proceso con IA de boceto-rénder-modelo 3D.	84

Figura 26. Diseño y elaboración de un prototipo, parte 1 . . .	85	Figura 41. Diseño y elaboración de un prototipo, parte 2 . . .	111
Figura 27. Ejemplo de una rueda de LiDS	91	Figura 42. Familias de materiales	113
Figura 28. Desarrollo geométrico plano para la obtención de una pata prismática rectangular.	93	Figura 43. Antigua silla plegable de producción industrial. . .	120
Figura 29. Modelo a escala 1:1 de la silla prototipo Alta, hecho con cartón en desarrollos prismáticos	94	Figura 44. Banca de uso exterior/interior, fabricada con tres materiales diferentes	120
Figura 30. Silla prototipo Alta	94	Figura 45. Silla plástica industrial	121
Figura 31. Elaboración de modelos a escala 1:1	96	Figura 46. Madera contrachapada	123
Figura 32. Modelo a escala 1:1 con manejo volumétrico de las partes constitutivas.	96	Figura 47. Madera aglomerada.	124
Figura 33. Modelo en cartón a escala 1:1 del proyecto silla prototipo La Petite	97	Figura 48. Tablero de fibras de mediana densidad	124
Figura 34. Primer modelo en cartón corrugado escala 1:1 y resultado final de la silla prototipo Neobiliaes	97	Figura 49. Catálogo de maderas	126
Figura 35. Dimensiones de las sillas.	101	Figura 50. Troncos de madera	128
Figura 36. Ángulo del asiento y ángulo del espaldar	101	Figura 51. Transporte de troncos de madera	128
Figura 37. Silla prototipo SENA, desarrollada por el Centro Tecnológico de Mobiliario (Itagüí)	103	Figura 52. Sierra circular contemporánea marca Holywood . . .	129
Figura 38. Evaluador postural	104	Figura 53. Sierra escuadradora marca OAV	130
Figura 39. Uso de herramientas digitales junto con un evaluador postural en el diseño de una silla	106	Figura 54. Sierra circular vertical	130
Figura 40. Uso de evaluador postural en el desarrollo antropométrico y ergonómico de la silla prototipo Áurea o Aura.	106	Figura 55. Máquina planeadora marca Bull Equipment	132
		Figura 56. Máquina cepillo o regruesadora marca Bull Equipment	132
		Figura 57. Sierras sin fin contemporáneas marca OAV Equipment (en primer plano) y marca Makita (en segundo plano)	133

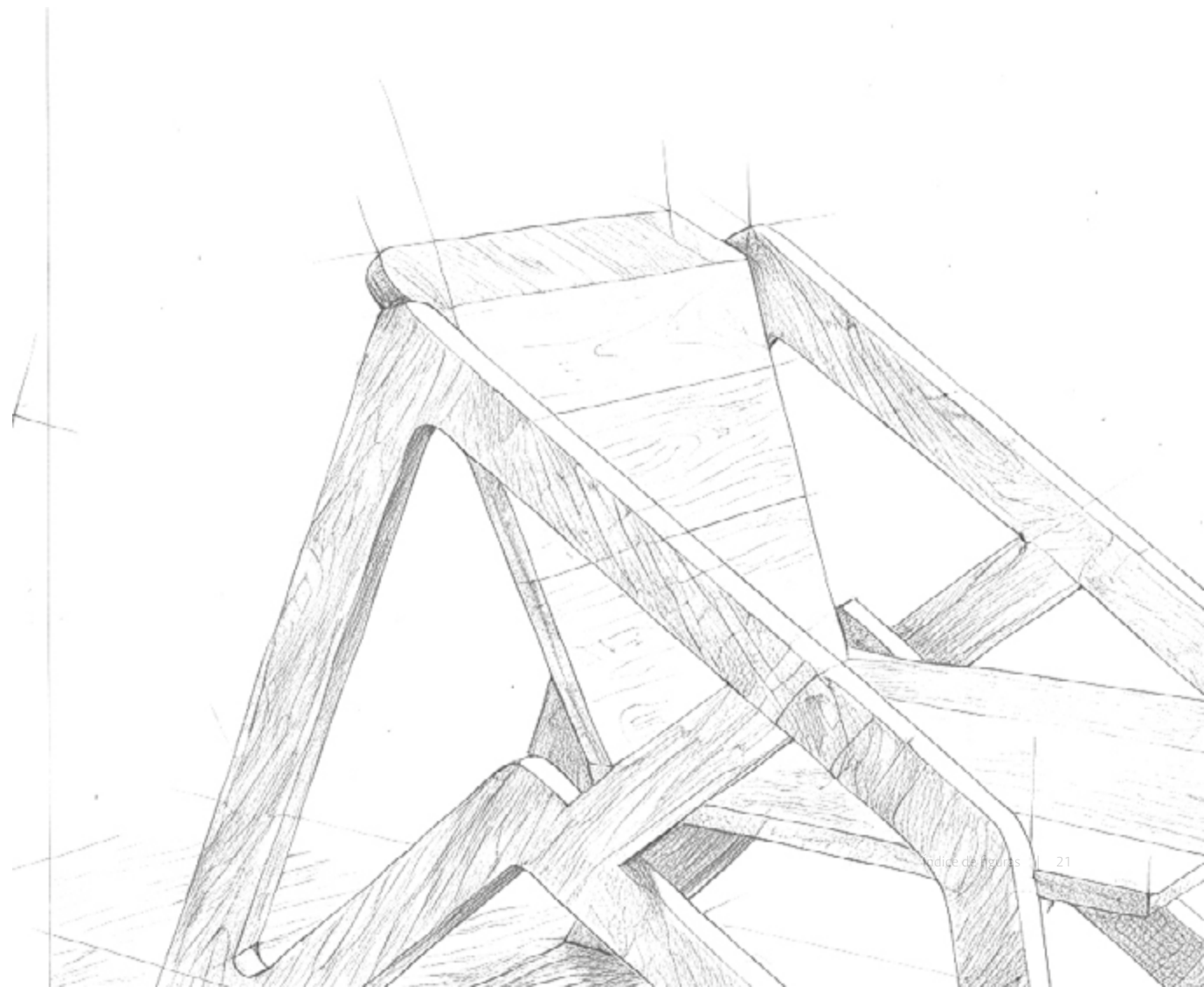
Figura 58. Sierra radial contemporánea marca Maggi, referencia Junior 640	133
Figura 59. Ruteadora o tupi contemporánea marca Holywood	134
Figura 60. Torno para madera contemporáneo	134
Figura 61. Ingleteadora o acolilladora contemporánea marca Bosch	135
Figura 62. Rénder de una silla tipo	137
Figura 63. Nombres de las partes de una silla genérica . . .	138
Figura 64. Diseñadores proyectistas en visita a un depósito de maderas	142
Figura 65. Almacenaje de bloques de madera en estanterías en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Zwickau (Sajonia, Alemania)	143
Figura 66. Forma de algunas presentaciones comerciales semielaboradas de madera	143
Figura 67. Elementos morfológicos de la madera.	146
Figura 68. Planeado de un bloque de madera maciza.	147
Figura 69. Canteado del canto de un bloque de madera maciza con máquina planeadora	147
Figura 70. Cepillado de la cara faltante en la máquina regruesadora	148
Figura 71. Apertura de bloque de madera realizada por el centro longitudinalmente	149
Figura 72. Armado de tablero de madera maciza de cedro achapo, con alacranes, prensas y adhesivos.	150
Figura 73. Tableros de madera natural armados	151
Figura 74. Vista explosionada del artefacto de uso silla tipo .	151
Figura 75. Despiece con nombres de las partes del artefacto de uso silla tipo.	154
Figura 76. Rénder de propuesta de silla infantil	154
Figura 77. Listado de partes y aproximación a los planos constructivos para la elaboración del prototipo de la silla Playita (Delta)	157
Figura 78. Detalle del listado de partes silla Playita (Delta) .	158
Figura 79. Rénder de la silla prototipo La Petite	159
Figura 80. Planos constructivos y parte de la planeación del prototipo de la silla Vacoom	161
Figura 81. Isometría constructiva y cotas del prototipo silla Vacoom	162
Figura 82. Silla prototipo Vacoom	163
Figura 83. Silla prototipo Neobiliaes	165
Figura 84. Ensamble a tope en una parte de una silla hecho solo con adhesivo.	165
Figura 85. Ensamble a media madera	166

Figura 86. Ensamble por tarugos o pasadores	167
Figura 87. Encaje caja y espiga	168
Figura 88. Encaje cola de milano.	168
Figura 89. Encajes de madera tradicionales japoneses	170
Figura 90. Tornillos autorroscantes para madera con acabado negro.	170
Figura 91. Ensamble de patas y travesaños mediante tuerca-tornillo.	171
Figura 92. Silla tumbona Indiana	172
Figura 93. Tornillo euro para muebles de Ø7 × 50 mm, con cabeza avellanada en acero galvanizado tipo Allen	172
Figura 94. Sistema Minifix de ensamble mecánico para muebles tipo RTA	173
Figura 95. Dibujo de los planos constructivos del proyecto silla prototipo Cathedra	175
Figura 96. Esquema constructivo del proyecto silla prototipo Cathedra	176
Figura 97. Parte de la elaboración del prototipo de silla La Petite mediante una máquina ruteadora CNC SUDA 1212	177
Figura 98. Plantillas en papel para la elaboración de una parte del prototipo Cáncer con sierra caladora	178
Figura 99. Vista explosionada de la silla prototipo La Petite	178
Figura 100. Cepillado de las piezas de madera de cedro Puerto Asís.	179
Figura 101. Comienzo del armado de los tableros de pino hayuelo y cedro Puerto Asís	179
Figura 102. Tablero elaborado en cedro Puerto Asís	180
Figura 103. Lijado con lijadoras orbitales de los tableros de pino hayuelo (en primer plano) y cedro Puerto Asís (en el fondo)	180
Figura 104. Distribución en el tablero de las partes de las patas	180
Figura 105. Ruteado de las partes de las patas en pino hayuelo para la silla prototipo La Petite.	181
Figura 106. Bolillos de madera para la silla prototipo La Petite	181
Figura 107. Taladrado de los orificios en los bolillos de otobo para el paso de los tensores	181
Figura 108. Lijado de los bolillos de la silla prototipo La Petite	181
Figura 109. Modelación por computador de la propuesta de diseño de la silla Playita	182
Figura 110. Partes, planos y dimensiones en el prototipo de la silla Playita	183
Figura 111. Planeación de los cortes, en un tablero de 1220 × 2440 mm de 18 mm de espesor, para la obtención de un prototipo de silla	183

Figura 112. Cortes longitudinales en sierra circular para la elaboración de las partes de la silla prototipo Playita.	184	Figura 126. Vista lateral del prototipo de la silla Playita armado sin recubrimientos superficiales	193
Figura 113. Corte con sierra sin fin de una cavidad del asiento de la silla prototipo Playita	184	Figura 127. Prototipo de la silla Playita y su modelo a escala 1:5	193
Figura 114. Lijado de una parte del prototipo de una silla con lijadora rotoorbital	187	Figura 128. Piezas ruteadas de las patas de la silla prototipo La Petite.	194
Figura 115. Modelo a escala 1:5 de la silla Hojaldre	188	Figura 129. Pata derecha de la silla prototipo La Petite	194
Figura 116. Modelo a escala 1:1 de la silla Hojaldre	188	Figura 130. Proceso del armado del asiento de la silla prototipo La Petite	194
Figura 117. Partes de la silla Hojaldre: dos patas laterales (derecha e izquierda idénticas) asiento y espaldar.	189	Figura 131. Silla prototipo La Petite armada sin acabados.	195
Figura 118. Armado de espaldar y asiento de la silla Hojaldre con dispositivo a escuadra y prensas rápidas.	189	Figura 132. Artilugio para el armado de la silla prototipo Ro	196
Figura 119. Armado de una pata lateral al conjunto espaldar-asiento de la silla Hojaldre	190	Figura 133. Armado de la silla prototipo Ro	196
Figura 120. Fase final del armado de la silla Hojaldre	190	Figura 134. Silla prototipo Ro armada.	197
Figura 121. Prototipo de la silla Hojaldre armada (sin acabados superficiales)	191	Figura 135. Armado final de la silla prototipo Elysian	197
Figura 122. Partes del prototipo de la silla Delta, antes del ensamble	191	Figura 136. Armado de la silla prototipo Chaine	198
Figura 123. Modelo a escala 1:5 de la silla Playita (proyecto Delta), con doce partes constitutivas	192	Figura 137. Armado del prototipo de silla Flux.	199
Figura 124. Inicio del armado del prototipo de la silla Playita.	192	Figura 138. Propuesta del prototipo de silla Cáncer, proyecto abandonado	200
Figura 125. Parte del armado del prototipo de la silla Playita.	193	Figura 139. Lijado de la silla prototipo Elysian después del armado	202
		Figura 140. Lijado de superficies de la silla prototipo La Petite	202

Figura 141. Aplicación de capas de sellador por aspersion neumática a la silla prototipo Zaque Quye.	203
Figura 142. Aplicación de aceite como recubrimiento superficial al prototipo de una silla.	203
Figura 143. Grupo de prototipos de sillas.	203
Figura 144. Silla prototipo Vacoom después de acabados superficiales	204
Figura 145. Prototipo de la silla Chaine después de acabados superficiales	204
Figura 146. Cuatro sillas prototipo: (de izquierda a derecha) Flotante, Angles, Elysian y Albura	204
Figura 147. Cuatro sillas prototipo: (de izquierda a derecha) Zaque Quye, Bow Tie, Solatium y Aura	205
Figura 148. Acto protocolario de inauguración de una muestra de mobiliario llevada a cabo en 2015	208
Figura 149. Acto protocolario de inauguración de una segunda muestra de mobiliario llevada a cabo en 2015	208
Figura 150. Exposición de prototipos de sillas en el Museo Leopoldo Rother 1	208
Figura 151. Exposición de prototipos de sillas en el Museo Leopoldo Rother 2	209
Figura 153. Exposición de prototipos de sillas en el Museo Leopoldo Rother 4 (de izquierda a derecha: silla Elysian, Bow Tie, Aura y Albura)	209

Figura 152. Exposición de prototipos de sillas en el Museo Leopoldo Rother 3 (silla Vacoom en primer plano)	209
Figura 154. Exposición de prototipos de sillas en el Museo Leopoldo Rother 5 (silla Albura en primer plano).	209
Figura 155. Diseño y elaboración de un prototipo, parte 3	210





Índice de tablas

Tabla 1. Algunas sillas icónicas e históricas	45
Tabla 2. Análisis preliminar cuantitativo de algunos prototipos de sillas en madera elaborados por estudiantes.	47
Tabla 3. Diferentes tipologías de sillas vinculadas con contextos de uso generales	56
Tabla 4. Elementos de la definición del usuario y su descripción	57
Tabla 5. Algunos criterios de evaluación de las propuestas de diseño	88
Tabla 6. Evaluación numérica de propuestas de diseño basada en criterios	89
Tabla 7. Aportes al proyecto de la elaboración de un modelo a escala 1:1	95
Tabla 8. Dimensiones de diseño necesarias para el diseño de sillas tipo auxiliar de sala u oficina	107
Tabla 9. Medidas de ángulos para sillas auxiliares de sala u oficina	107
Tabla 10. Medidas para silla tipo secretarial	108
Tabla 11. Medidas para silla tipo poltrona	109
Tabla 12. Algunas propiedades mecánicas de las maderas	114
Tabla 13. Algunas propiedades físicas de las maderas	115
Tabla 14. Propiedades ambientales aplicables a la madera	117
Tabla 15. Propiedades de pensamiento industrial aplicables a la madera.	118
Tabla 16. Criterio de clasificación de la madera.	122
Tabla 17. Maderas colombianas	126
Tabla 18. Herramientas manuales de medición y trazado	136
Tabla 19. Herramientas manuales de corte	136
Tabla 20. Herramientas manuales de desbaste y talla	136
Tabla 21. Herramientas manuales de perforado y armado	137
Tabla 22. Herramientas manuales de sujeción, acabado y ajuste, trazado y comprobación de nivel.	137
Tabla 23. Cálculo de la madera necesaria	140
Tabla 24. Resumen de la planeación de elaboración de un mueble tipo.	155
Tabla 25. Listado de partes y planeación parcial de la silla prototipo La Petite	160
Tabla 26. Algunos tipos de ensamble y encaje	169
Tabla 27. Algunos tipos de acabados superficiales de la madera	201



Lista de sillas prototipo mostradas en este libro y sus diseñadores*

Albura: María José Paredes, Mateo Rivero y Andrés Ramos.

Angles: Esteban Giraldo, Juan Felipe Quiroga y Edwin Rodríguez.

Áurea o Aura: Valeria Quiroga, Paula Solano y José David Velandía.

Cáncer: Juan Pablo Torres, María Camila Niño y Diego Hernán Montenegro.

Cathedra: Andrea Katherin Martínez Bernal y Luis Alberto Pedraza Villamizar.

Chaine: Angie Paola Bello, Elkin Alejandro Cruz, Anderson González y Erika Muñoz.

Elysian: Juan Carlos Ángulo, Daniela Cifuentes e Iris Andrea Reyes.

Flotante: Sandra Carolina Cabezas, Juan Camilo Liévano y Johan Sebastián Ramírez.

Hojaldre: Maira Falla, Cristian Garzón, Zharick Quiñones, Ana María Reyes Ochoa y Valentina Tovar.

La Petite: María Alejandra Borbón, Julián Santiago Calderón y Javier Ignacio Becerra.

Llalin Kushe: Lucas Marcel Castaño Sarria, Henry Arbeláez Gil y Ana María Fonseca Cubillos.

Neobiliaes: Gerardo Ardila, Julián David Jiménez, Laura Martínez y Oscar Iván Matallana.

Playita: Camila Andrea Castro Fuerte, Daniel Santiago Guevara Rodríguez, Paula Andrea Hernández Moreno, Santiago Manrique Ávila y Johanna Alejandra Martínez Huertas.

Ro: María Alejandra Cruz, Daniela Hernández, Felipe Otálora y Santiago Soto.

Silla prototipo Sena: desarrollada por el Centro Tecnológico del Mobiliario del Sena.

Solatum: Angie Catherine Vargas Ortiz, Alexander Romero Reyes y Nicolás Pineda López.

Vacoom: Emmanuel Barragán, Miguel Felipe García y Paula Fajardo.

Vynkel: Juan Jacobo Barbosa Torrado, Jhosten Felipe Riaño Ardila, Mateo Talero y Ana María Torres Caballero.

Zaque Quye: Viviana Andrea Rodríguez, David Leonardo Pérez, Lorena Ribero y Jesús Eduardo Lizcano.

*Los diseños de silla presentados en este libro fueron diseñados y elaborados por sus autores.



Prefacio

Este documento presenta un método para el diseño y la elaboración de prototipos de sillas en madera y materiales complementarios o conexos. No se centra específicamente en la tecnología de la madera ni en detalles relativos al material, y tampoco aborda con la debida profundidad temas de diseño. Su objetivo es humilde: servir como guía para quienes deseen diseñar y elaborar un prototipo de silla en madera de manera sencilla y multidimensional. Además, el método puede extrapolarse al diseño y la elaboración de prototipos de otros artefactos de uso; así, puede aplicarse a otros tipos de muebles, tales como mesas, muebles de almacenamiento, camas, repisas, etc., realizando los ajustes pertinentes.

Acompañaremos el desarrollo de varias sillas prototipo en diferentes etapas de su desarrollo, el lector o lectora notará que no lo hacemos de manera sistemática, sino que ellas aparecerán como apoyo para explicar o mostrar algún concepto del método. Aquí aprovechamos para brindar un sentido homenaje a un mueble tan ubicuo como importante para la humanidad desde tiempos pretéritos como es la silla.



Introducción

Del objeto al artefacto

En el campo del diseño industrial y otras áreas del conocimiento, la distinción entre objeto y artefacto no es meramente terminológica, sino profundamente epistemológica y metodológica. Mientras el término *objeto* puede referirse a cualquier entidad física perceptible, *artefacto* implica una construcción técnica, cultural y funcional que responde a una necesidad específica dentro de un contexto determinado. Como lo señala Mendoza-Collazos (2025), «la definición de artefacto se refiere a cualquier objeto creado por seres humanos» (p. 2).

Esta diferencia es especialmente relevante en el diseño de mobiliario, donde la intención proyectual, la interacción con el cuerpo humano y la dimensión simbólica convergen en una solución material, creada por la persona que diseña.

Este libro adopta el término *artefacto* para referirse a la silla no solo como elemento físico, sino como resultado de un proceso proyectual que articula saberes técnicos, decisiones materiales, principios ergonómicos y valores estéticos. La silla, en tanto artefacto, encarna una relación activa entre el cuerpo, el entorno y la cultura, y su diseño exige una comprensión integral de múltiples dimensiones: desde la ingeniería de su estructura hasta la narrativa simbólica que puede representar.

Autores como Andrew Barry y Antoine Hennion han destacado que los artefactos no son simplemente objetos físicos, sino mediadores activos de prácticas, significados y relaciones sociales. Barry (2013) propone que los artefactos configuran zonas materiales de disputa y negociación, donde lo técnico y lo político se entrelazan en formas concretas de gobernanza. Por su parte, Hennion (2010) plantea que los artefactos culturales –musicales o diseñados– deben entenderse como resultado de mediaciones reflexivas, corpóreas y situadas, que involucran cuerpos, gestos, dispositivos y contextos. Esta perspectiva permite abordar el diseño de una silla no solo como solución funcional, sino como práctica situada que produce sensibilidad, cultura y transformación.

El diseño de mobiliario, y en particular de sillas, es un ejercicio que combina arte, funcionalidad, técnica y tecnología. La silla, un artefacto cotidiano y a menudo subestimado, ha sido históricamente un ícono de desarrollo e innovación en el diseño. Este libro propone un enfoque metodológico para la creación y el prototipado de

sillas, centrado en el uso de la madera y otros materiales conexos. El método abarca desde la concepción del diseño hasta la materialización final del artefacto, incluyendo su divulgación como obra.

Este método fue concebido y desarrollado en el marco de la tesis doctoral *La metodología de diseño desde la praxis. Estudio de la metodología desarrollada en el diseño y elaboración de prototipos de sillas en madera por parte de equipos de trabajo estudiantiles en el aula del Diseño Industrial* (Arias, 2018). En dicho estudio se plantea una aproximación metodológica centrada en la experiencia directa o praxis, la iteración material y la reflexión crítica sobre el proceso proyectual de diseño.

Desde su formulación inicial, el método ha experimentado diversas mutaciones para adaptarse progresivamente a las exigencias técnicas, pedagógicas y contextuales de los proyectos reales. Esta evolución ha permitido su consolidación como un enfoque contrastado con la práctica concreta, enriquecido por la interacción entre teoría, oficio y cultura material.

El método que aquí se presenta consta de trece etapas claramente estructuradas, que guían a diseñadores, proyectistas y estudiantes en el proceso creativo y técnico necesario para desarrollar una silla. Cada paso busca asegurar una comprensión de los factores que influyen en la forma, la ergonomía, la funcionalidad, los materiales y la elaboración del prototipo. Desde la definición del problema y el estado del arte, pasando por la creación de bocetos y modelos a escala, hasta la construcción a tamaño real y la evaluación

ergonómica, el proceso busca fomentar una interacción entre múltiples dimensiones.

El objetivo principal de este método es proporcionar una hoja de ruta para la creación de sillas que no solo cumplan con exigencias funcionales y estéticas, sino que también respondan a necesidades ergonómicas y de sostenibilidad actuales. Durante este recorrido, se busca equipar al lector con las herramientas necesarias para enfrentar los desafíos del diseño, al tiempo que se promueve una aproximación multidimensional que combina el conocimiento tradicional de la carpintería con las tecnologías más actuales.

Etapas del método

1. Planteamiento y definición del problema

Se define claramente el problema de diseño que se desea resolver. En este caso se trata del diseño de una silla como artefacto de uso, para lo cual se deben identificar sus requerimientos funcionales y contextuales.

2. Estado del arte y referentes

Etapla exploratoria que implica investigar y analizar sillas existentes, artefactos fuente, materiales y tendencias en el diseño, para generar una base de conocimiento que inspire la propuesta futura.

3. Elaboración de la propuesta de diseño

Formulación del concepto a desarrollar; incluye definir las características clave de la silla que será prototipada.

4. Bocetación de las propuestas

Paso creativo que permite explorar visualmente diversas opciones de diseño mediante bocetos rápidos y sin restricciones, con el objetivo de generar múltiples soluciones.

5. Escogencia y elaboración de modelos a escala reducida (1:5)

Se crean modelos físicos en escala 1:5, escogidos a partir de los bocetos, lo que permite refinar las ideas iniciales y observar su materialización.

6. Evaluación y selección de la propuesta

Se realiza una evaluación crítica de los modelos a escala reducida y se selecciona uno para su desarrollo final, con base en criterios interrelacionados e imbricados de funcionalidad, ergonomía y viabilidad técnica.

7. Elaboración de modelo a escala real (1:1)

La propuesta seleccionada se materializa en un modelo, o modelos, a escala real. Esto facilita el análisis detallado del diseño y su relación con el cuerpo humano.

8. Estudio ergonómico y análisis antropométrico

Se estudian las dimensiones del cuerpo y su interacción con la silla, con el propósito de que el diseño sea cómodo y apropiado para su uso.

9. Selección de materiales y proceso de carpintería

Se eligen los materiales más adecuados, considerando resistencia, estética y sostenibilidad. Se incluye aquí una aproximación a la familia de materiales en forma de un catálogo de maderas, además de al proceso de obtención de la materia prima y el uso de maquinaria especializada. En esta etapa se calcula la madera necesaria y se obtienen y acondicionan las maderas.

10. Planeación de la elaboración del prototipo

Se busca una hoja de ruta y se organiza el proceso de elaboración basado en el diseño, el desarrollo, sus partes y materiales, en los procesos de manufactura, máquinas y herramientas propios del ámbito de la madera, aplicados al prototipo. Se planifican tareas y recursos para construir el prototipo final.

11. Elaboración del mueble

Se elaboran las partes constitutivas y se construye el prototipo utilizando las tecnologías y las técnicas de carpintería y manufactura previamente planificadas.

12. Armado y acabados de la silla

Se arma la silla y se le aplican los acabados necesarios para asegurar su funcionalidad y estética. Esto da paso a la evaluación final.

13. Exposición y divulgación de los prototipos

Se presentan los prototipos terminados en distintos contextos, para promover el diseño en el ámbito comercial o académico.

Esta estructura metodológica asegura que el proceso de diseño y elaboración de prototipos de sillas no solo sea eficiente, sino también creativo y adaptable, y ofrece al diseñador herramientas para enfrentar los desafíos actuales del diseño de mobiliario como práctica cultural, técnica y proyectual.

Descripción del método

Este método para diseñar y elaborar prototipos de sillas¹, hay que decir para comenzar, puede ser utilizado en el diseño de otras piezas de mobiliario y aún extrapolado a otros artefactos de uso tales como lámparas. Algo también fundamental es vincular la actividad de diseño y elaboración de un artefacto a la palabra *proyecto*, porque de esta manera queda enmarcada en límites: tiempo de

.....
¹ Elaborar un prototipo se refiere a transformar materiales en un artefacto que es el primero de su tipo, por medio de un proceso creativo y técnico que combina la participación del proyectista y un equipo de trabajo. Integra actividades de ideación con procesos intelectuales, manuales y mecanizados.

realización, presupuesto, recursos necesarios tanto tecnológicos como humanos.

Lo que aquí se describe es el proyecto de un prototipo de mobiliario, que puede ser desarrollado por estudiantes del pregrado en Diseño Industrial, diseñadores proyectistas en diseño, ingeniería, profesiones o formaciones técnicas conexas, profesionales graduados, o cualquier persona que le interese el campo del diseño de artefactos de uso y su elaboración. El proyecto, en este caso, es un conjunto de actividades coherentes que lleva a cabo una persona o un equipo para alcanzar la obtención del prototipo. Todas ellas se encuentran interrelacionadas, son recurrentes y se desarrollan de manera coordinada.

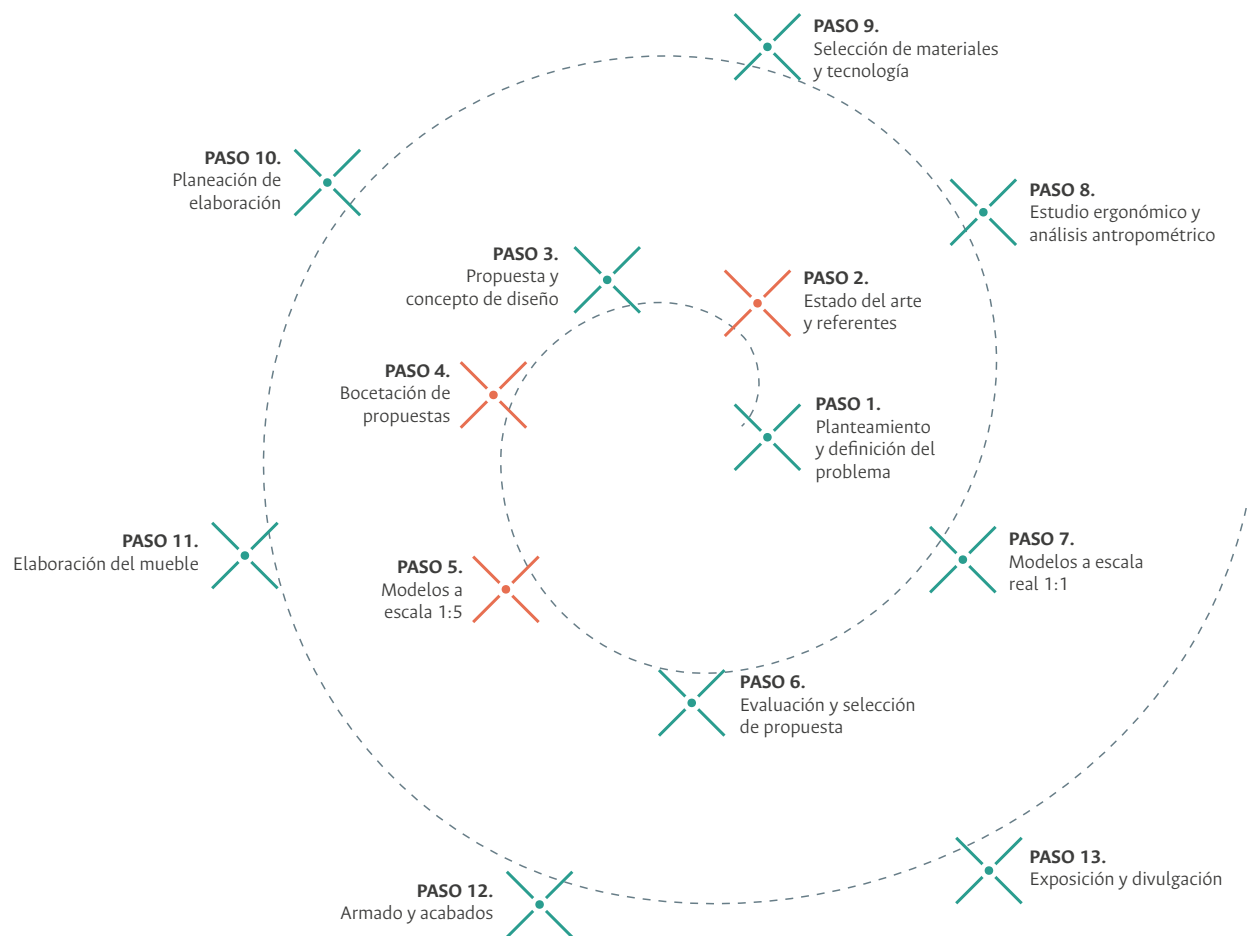
El método se puede observar en una primera aproximación en la Figura 1. En ella se presentan de forma esquemática los pasos necesarios para realizar este proyecto, desde el planteamiento y la definición del problema, que en este caso es el objetivo (el diseño y la elaboración de una silla), hasta la divulgación de los prototipos obtenidos de la silla. Si bien es cierto que este último elemento no forma parte en sí de una metodología de diseño, cierra el proyecto, lo cual es relevante para trascender el ámbito de quien diseña. En definitiva, este libro se ocupa de desarrollar el método en trece pasos, a partir del momento en que se decide cuál tipo de mobiliario se realizará.

Figura 1. Método de diseño y elaboración de un prototipo



Otra forma de ver el método es como una espiral, como se muestra en la Figura 2:

Figura 2. Esquema del método en forma de espiral



Fuente: elaboración propia con ayuda de Microsoft Copilot 2024.

Al desarrollar proyectos de diseño, se requiere, entre otros, el uso de medios y herramientas de creación, representación, comunicación y comprobación. Algunos de ellos son: el boceto, el modelo, la maqueta y el prototipo; este último se constituye como la meta de este texto.

Los prototipos hacen parte del desarrollo de proyectos como un medio de representación, gestación y materialización del diseño objetual obtenido por la proyectación. Con respecto a la elaboración del prototipo, si bien es cierto que en la vida profesional el diseñador probablemente no sea quien ejecute el proceso completo de prototipado, ni elabore él mismo el artefacto, sí actúa en el proceso de manera fundamental, intelectual y cognitiva, desde la construcción del concepto de diseño², las variaciones formales, la definición del diseño en detalle de las partes constitutivas, la comprobación y la verificación, hasta llegar a la realización. También muchas veces debe ayudar a decidir el proceso de producción, llegado el caso de que se determine la industrialización del producto, pues es quien mejor conoce el diseño. Así las cosas, se considera necesario que el diseñador sepa cómo se hace un prototipo y un producto industrial para poder participar, dirigir o guiar debidamente las tareas tanto de prototipado como de la posible industrialización.

.....
² El concepto es una esencia del diseño, se entiende como la transición de una idea subjetiva y la materialización de esta, como una metáfora proyectada en un artefacto o producto que da sentido a diseñar. Un concepto claro guía la función y el valor estético de cualquier diseño, con lo que se evita caer en caprichos formales.

El prototipo es el primer ejemplar de una clase de producto, es decir, el primero de su tipo. Con él se puede explorar o especular acerca de un nuevo tipo de diseño, reevaluarlo, modificarlo, incluso puede ser el punto de partida para la siguiente generación del mismo prototipo, y además ser un primer paso ante una probable industrialización o entrada al mercado, como ya se señaló.

Uno de los principales objetivos de la elaboración de prototipos es la experimentación y la validación: el prototipo se utiliza muchas veces para probar y validar el propio diseño, en particular, la ergonomía y la funcionalidad del producto en desarrollo antes de la producción en masa o incluso de su comercialización.

Es pertinente destacar aquí una condición sobre la que reflexiona el pensador y filósofo francés Edgar Morin: la incertidumbre. Y es que si esta es parte del ser humano, su presencia también es inevitable en los proyectos de diseño. Este fenómeno no solo forma parte integral de la vida y de las acciones humanas, sino que se manifiesta con especial intensidad en los procesos proyectuales. En general, los proyectos de diseño comienzan con un alto grado de incertidumbre, el cual se va reduciendo progresivamente a medida que se realizan indagaciones, se formulan y responden preguntas y se definen aspectos fundamentales del diseño. Por ello, es necesario aprender a convivir con la incertidumbre, ya que la vida está atravesada por eventos inesperados y crisis que desafían nuestras certezas.

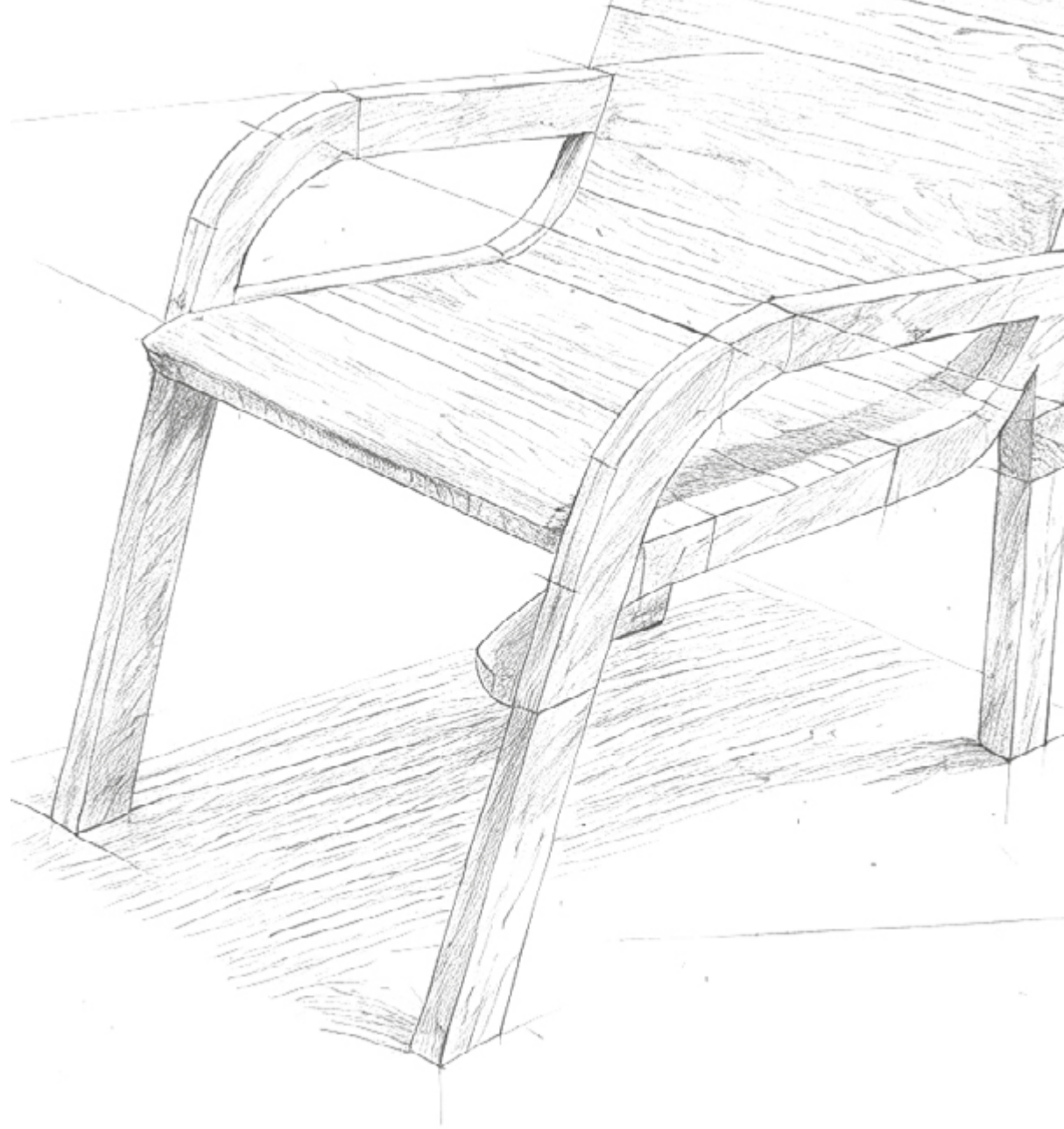
Esta condición exige del proyectista el desarrollo de habilidades como la resiliencia, la capacidad de adaptación, el criterio para la toma de decisiones y el coraje para enfrentar -no evitar- los problemas y las crisis que puedan surgir durante el proceso. Morin (1999), extrapolando esta idea a todos los ámbitos de la existencia, señala que tanto la historia como la vida están marcadas por acontecimientos imprevisibles, muchas veces aleatorios. En tiempos de crisis, Morin (1999) sugiere mantener una mente abierta y flexible, capaz de explorar nuevos caminos y soluciones. En consecuencia, en el objeto de estudio aquí planteado, la incertidumbre debe ser aceptada, enfrentada y gestionada, pero no necesariamente eliminada.

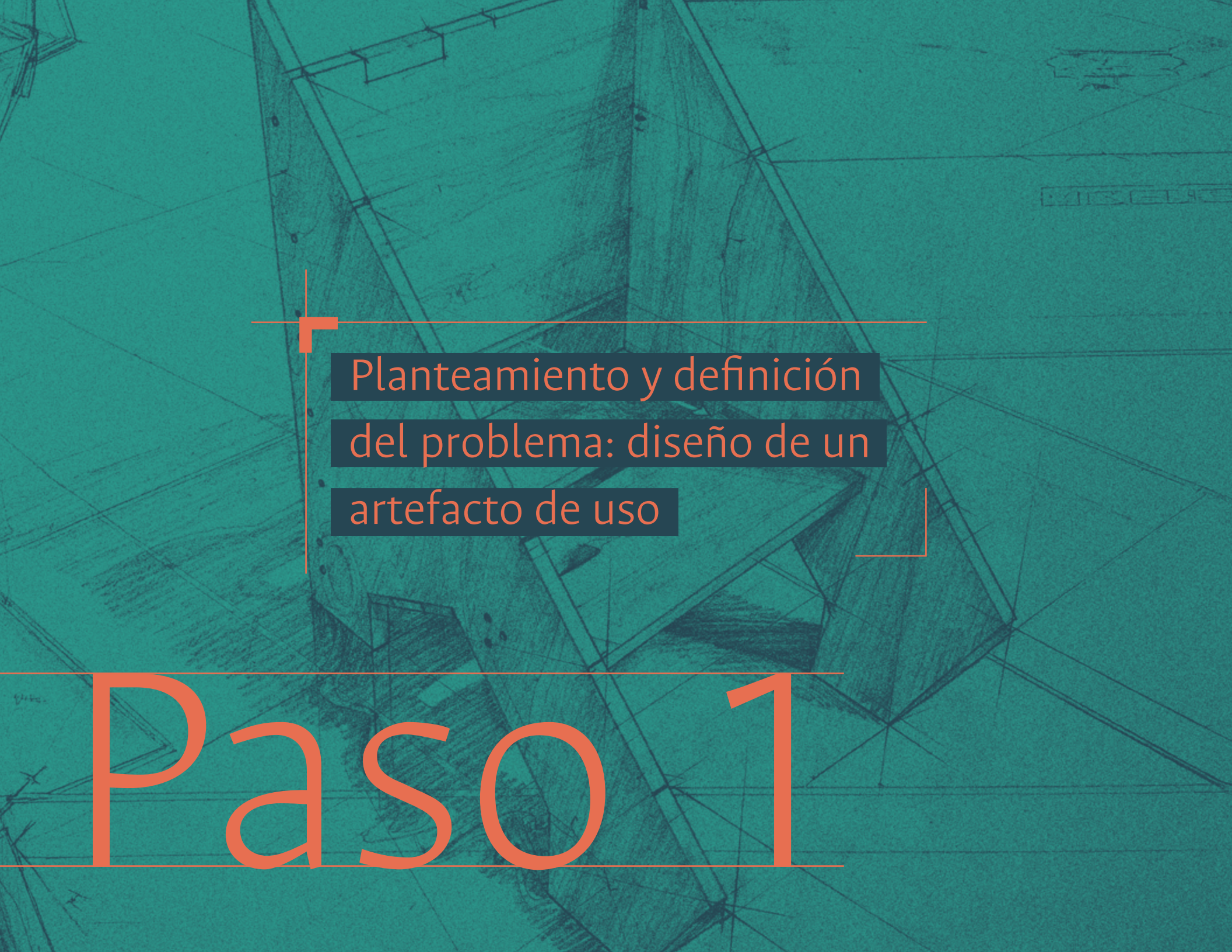
En el proceso mismo de este método, de hecho, se ha experimentado la aparición de eventos inesperados -frecuentemente aleatorios- que han afectado su curso. No obstante, también ha emergido la serendipia como fenómeno benéfico, capaz de transformarlo y enriquecerlo, en tanto ocurren hallazgos valiosos de los accidentes. Lejos de ser un obstáculo, la incertidumbre puede actuar como catalizadora de la creatividad y como un estímulo para el pensamiento lateral, la capacidad de improvisación y la adaptación dinámica.

El diseño y la elaboración de prototipos se resuelven de forma progresiva, en un proceso heurístico que permite formular definiciones y soluciones, aunque estas no siempre resulten ser las más adecuadas. Es necesario, por tanto, ensayar diversas alternativas

hasta encontrar aquella que mejor se ajuste. El desarrollo de proyectos de prototipo transita por fases divergentes y convergentes, en las que se trabaja con la incertidumbre, la aleatoriedad, el azar y la serendipia, por lo que el fenómeno del diseño debe abordarse desde una perspectiva multidimensional y asumiendo la necesaria toma de decisiones argumentadas de manera continua, hasta culminar en un artefacto funcional.

Solo una vez realizado el prototipo puede afirmarse que, en cuanto a su concreción física, la incertidumbre ha sido superada. No obstante, el diseño del artefacto como tal permanece abierto, pues siempre será susceptible de mejora y modificación.





Planteamiento y definición
del problema: diseño de un
artefacto de uso

Paso 1

Una idea clave es que por medio de la proyectación en diseño se abordan y resuelven problemas específicos. Se trata, en este caso, del diseño de una silla o pieza de mobiliario. La solución al problema de diseño se materializa en la creación de un artefacto funcional, aquí, un mueble destinado a facilitar una postura corporal sedente: una silla. El diseño de artefactos puede parecer una tarea sencilla, dado que desde el inicio se establece el tipo que se quiere desarrollar. Sin embargo, vale la pena puntualizar que, en la actualidad, el diseño trasciende la mera creación de artefactos tangibles, y se orienta más hacia la resolución de problemas que frecuentemente involucran dimensiones más amplias e incluso artefactos intangibles y digitales (como rénderes o archivos digitales de modelado).

Una definición ampliamente aceptada de diseño industrial señala que este es: un proceso estratégico de resolución de problemas que impulsa la innovación, construye el éxito empresarial y conduce a una mejor calidad de vida por medio de productos, sistemas, servicios y experiencias innovadores (World Design Organization, s.f.). Esto evidencia que el enfoque del diseño ha evolucionado y se ha extendido más allá de la creación de artefactos, para abarcar el diseño de productos, diseño de servicios, diseño de productos servicios y sistemas producto servicio, con lo experiencial como columna vertebral, con el fin de tener un impacto integral en la sociedad.

En este punto es oportuno proponer una definición del concepto de silla para este método. En este libro se entiende la silla como un artefacto de uso cuya función principal es ofrecer asiento a una sola persona para la realización de una actividad en posición sedente o semisedente, así como bienestar integral al usuario. Así, la silla no debe considerarse únicamente desde su funcionalidad estructural, sino como un artefacto multidimensional que articula aspectos físicos, ergonómicos, estéticos, simbólicos, culturales y tecnológicos. Su diseño debe garantizar seguridad para el sedente, rigidez, estabilidad, resistencia y confort, aunados al disfrute y la satisfacción del uso, para permitir una experiencia adecuada en relación con el cuerpo, el entorno y la actividad que se realiza. La presencia de respaldo, la proporción entre sus partes, los materiales empleados y la adecuación al contexto de uso son algunos de los elementos que configuran su desempeño. Además, la silla puede ser interpretada como una extensión del cuerpo humano

por su carácter antropomórfico, una mediadora entre el individuo y el espacio, y un reflejo de valores sociales, hábitos culturales y condiciones ambientales.

Esta definición puede extenderse a otros muebles similares, como sillones, sofás o butacas, que comparten la finalidad de facilitar actividades en posiciones corporales sedentes o semisedentes, parcialmente relajadas, dentro de contextos específicos y significativos. Algunos de estos mobiliarios pueden albergar más de una persona, como es el caso de una banca o un sofá de dos o tres puestos.

Pero volvamos al proyecto. Este proceso se descompone sistemáticamente en diversas etapas proyectuales para facilitar su desarrollo y abordar, paso a paso, los desafíos inherentes al diseño del artefacto, desde los más simples hasta los más complejos. No obstante, el diseño de artefactos no debe encararse de forma reduccionista, como si se tratara de la suma de variables independientes. El diseño es un proceso multidimensional en el que aspectos como la estética, la ergonomía, la producción y la dimensión cultural antroposocial se encuentran profundamente interrelacionados y se entrelazan durante el proceso creativo como una red.

El desarrollo de una propuesta de diseño requiere identificar un problema en el área que se explorará, a lo que sigue una fase de investigación preliminar y la formulación de un concepto de diseño centrado en un artefacto. Este artefacto será desarrollado para una actividad específica, dentro de un contexto antropológico, sociocultural y geoambiental determinado, vinculado a una porción

concreta de la población. Así se configura una triada inseparable y estrechamente interrelacionada: usuario/actividad/contexto. El usuario es quien utiliza el artefacto; la actividad, aquella que se llevará a cabo en posición sedente o semisedente; y el contexto, abordado de manera multidimensional, es el entorno en el cual se utilizará la silla.

Es inevitable abordar de manera compleja la realidad humana del usuario que utiliza o utilizará el artefacto, ya que los seres humanos son entidades multidimensionales que integran simultáneamente aspectos físicos, biológicos, psicológicos, sociales, mitológicos, económicos, sociológicos e históricos. El pensamiento complejo de Edgar Morin (2003) se centra en la idea de que la realidad es multidimensional y que cualquier intento de comprenderla debe integrar múltiples perspectivas y disciplinas. Como señala el autor: «La realidad humana es a la vez física, biológica, psíquica, cultural, social e histórica» (2003, p. 25). Este enfoque holístico y transversal es esencial en el pensamiento de Morin, en el que se refleja la naturaleza compleja del ser humano y se destaca la importancia de considerar todas estas dimensiones en conjunto. Entonces, el diseño debe entender que es una gesta multidimensional.

Como señala Archer (1965), el problema de diseño surge de una necesidad. Así, en el desarrollo de este primer paso es esencial determinar si el problema enfrentado tiene realmente una solución viable. Esto se logra mediante la información recopilada y la experiencia y el conocimiento del diseñador o del equipo de

diseño. Para el método que propone este libro, se ha planteado previamente la necesidad de asumir una posición sedente para realizar una actividad determinada. En este caso, la necesidad de sentarse para realizar una o varias actividades; dependiendo de esas actividades tendríamos, por ejemplo, una silla de comedor, auxiliar de sala o interlocutora en un ambiente de oficina.

Es probable que el diseñador no sea quien descubre la existencia del problema o la necesidad manifiesta, pero sí quien se encamina a resolverla mediante una serie de acciones vinculadas a la posible industrialización de la solución, por medio de un artefacto que satisfaga dicha necesidad (Munari, 1983). En este contexto, el proyectista, el diseñador en formación –o quien asuma la acción de diseñar– es quien resuelve el problema mediante el diseño y la elaboración de la solución como artefacto de uso.

En esa labor, reiteramos, hay que tener en cuenta que el contexto en el que se utilizará el artefacto posee un carácter multidimensional. Entenderlo así permite al diseñador proyectar artefactos que no solo respondan a necesidades funcionales, sino que dialoguen con las dimensiones simbólicas, culturales y ambientales de dicho contexto.



Estado del arte del artefacto
de uso y referentes: etapa
analítica exploratoria

Paso 2

La etapa exploratoria constituye un momento decisivo en el proceso proyectual, en el que se busca comprender en profundidad el contexto histórico, técnico, formal y simbólico del artefacto de uso que se va a diseñar. En este caso, la decisión de crear una silla –como artefacto funcional, cultural y comunicativo– exige una revisión sistemática de antecedentes que permita identificar patrones recurrentes, rupturas significativas, innovaciones relevantes y referentes emblemáticos que han marcado la evolución del diseño en este campo.

Este paso se centra en analizar lo que ya existe, es decir, en examinar el acervo histórico, técnico y proyectual de las sillas –sean icónicas, históricas, académicas o experimentales–. Constituye una fase

orientada a abrir horizontes de comprensión sobre las múltiples dimensiones del artefacto antes de formular nuevas propuestas.

Su propósito esencial es entender, aprender e inspirarse a partir de referentes que revelan las relaciones entre forma, función, materialidad, tecnología y cultura, pues cada artefacto responde a una necesidad situada, a una época determinada, a un tipo de usuario y a un entorno específico. En este sentido, el estudio del estado del arte no busca la mera recopilación de ejemplos, sino la construcción de un criterio analítico y reflexivo que permita interpretar las lógicas proyectuales detrás de cada diseño.

Así mismo, es necesario enfatizar en que el factor humano y la ergonomía son ejes centrales e innegociables dentro del proceso de análisis, pues toda decisión de diseño debe responder a las condiciones físicas, cognitivas y emocionales del usuario. Finalmente, este paso posee un componente crítico-reflexivo, ya que la decisión proyectual no es arbitraria ni estética por sí misma, sino que debe sustentarse en criterios claros, verificables y argumentados que den solidez conceptual y técnica al desarrollo del proyecto.

Análisis

El análisis histórico de la silla –desde sus primeras manifestaciones hasta sus versiones contemporáneas– permite reconocer cómo ha evolucionado su morfología, su lenguaje formal, sus materiales, sus tecnologías de fabricación y su carga simbólica, todo lo cual revela

su papel como mediadora entre el cuerpo humano y el espacio social. En este sentido, resulta imprescindible examinar algunos de los grandes íconos del diseño de sillas, tales como la Thonet 14, la Tulip, la Zigzag, la Bola, la Panton, la Barcelona, la Wassily, la Rojo/Azul, la Lounge Chair Ottoman y la Egg, entre otras. Estas piezas, además de su valor estético y funcional, condensan visiones filosóficas, ideológicas y técnicas que han influido en varias generaciones de diseñadores. Algunos de estos diseños pueden apreciarse en la Figura 3.

Como complemento, se recomienda consultar la historia del artefacto. En la Tabla 1 se presentan veintiocho diseños de sillas icónicas como recorrido histórico básico de este artefacto. Aparece el nombre clave de cada silla, su denominación comercial, los diseñadores que las concibieron, el año de inicio de su producción y la empresa que las fabrica actualmente o que lo hizo en su momento. La selección cubre un amplio rango temporal, desde 1855 hasta 2011, y ofrece una base comparativa valiosa para comprender la evolución del mobiliario en relación con los contextos sociotécnicos en los que se inscribe.

Figura 3. Seis sillas icónicas del siglo xx



Tabla 1. Algunas sillas icónicas e históricas

Nombre	Diseñador	Productor(es)	Año
Thonet 14	Michael Thonet	Thonet (Gebrüder Thonet)	1855-1859
Hill House	Charles Rennie Mackintosh	Cassina	1902
Thonet 209	August Thonet	Thonet	1904
Thonet 140	August Thonet	Thonet	1904
B3 Wassily	Marcel Breuer	Knoll (desde 1968), Gavina	1925
Cantilever (S 33)	Mart Stam	Thonet, Vitra	1926
Cantilever (MR)	Mies van der Rohe	Berliner Metallgewerbe, Knoll	1927
LC4 Chaise Longue	Le Corbusier y Perriand	Thonet, Cassina	1928
S 32 o Cesca	Marcel Breuer	Thonet, Knoll	1929-1930
MR90 Barcelona	Mies van der Rohe	Knoll	1929
Zigzag	Gerrit Rietveld	G. A. van de Groenekan, Cassina	1934
Tolix	Xavier Pauchard	Tolix	1934
Lilla Alida	Carl Malmsten	Stolab	1942
PP501/503 Runde	Hans J. Wegner	Hansen	1949
CH24 Wishbone	Hans J. Wegner	Hansen	1950
Eames Plastic Side	Charles y Ray Eames	Vitra	1950
Wright, Diamond	Egmont Arens	General	1951
Ant	Harry Bertoia	Knoll	1952
Tulip	Eero Saarinen	Knoll	1955
Serie 7	Arne Jacobsen	Fritz Hansen	1955
Medea	Vittorio Nobili	Tagliabue	1955
Panton	Verner Panton	Vitra	1967
Wiggle Side	Frank Gehry	Vitra	1969-1973
Costes	Philippe Starck	Driade	1984
Vegetal	Ronan y Erwan Bouroullec	Vitra	2009
Euphoria	Paola Navone	Eumenes	2011
Masters	Philippe Starck y Eugeni Quitllet	Kartell	2011

El propósito de indagar con profundidad en lo ya existente no es replicarlo, sino superarlo de manera crítica y reflexiva. Esta etapa inicial del proceso proyectual debe estar guiada por un espíritu de apertura, curiosidad y exploración, capaz de nutrir el proyecto desde sus fundamentos conceptuales, técnicos y simbólicos. La investigación previa no solo permite identificar aciertos y limitaciones en soluciones anteriores, sino que también habilita la formulación de nuevas preguntas y enfoques que potencien la innovación.

Además de los referentes directos en mobiliario, se recomienda ampliar la búsqueda hacia fuentes provenientes de otros campos del conocimiento y la creación, tales como las artes plásticas, la arquitectura, el diseño gráfico, la literatura, la música, las artes audiovisuales, la cultura material y la naturaleza. Con esta última se hace referencia a los entes biológicos –como una hoja, un insecto o una estructura ósea– que pueden ofrecer modelos formales, funcionales o estructurales, pues son de gran valor proyectual. Estos referentes pueden ser considerados como artefactos fuente, cuando son creados por la humanidad, o entes fuente,

cuando provienen de la naturaleza. Ambos tipos de referentes tienen el potencial de inspirar la creación de nuevos artefactos, o artefactos destino, según Sonesson (2014), mediante procesos de reinterpretación, analogía y transformación proyectual.





Los ámbitos de conocimiento y creación mencionados ofrecen elementos formales, estructurales, funcionales y simbólicos que, al ser recontextualizados en el marco del diseño, pueden convertirse en soluciones innovadoras, ampliar el horizonte creativo del diseñador y enriquecer la propuesta con significados transversales. Esta apertura hacia lo interdisciplinario permite trascender los límites del objeto utilitario y explorar nuevas narrativas, lenguajes y experiencias de uso.



En cuanto a los referentes específicos de mobiliario, su análisis como fuentes de indagación proyectual debe abordarse desde múltiples dimensiones del diseño: funcional, estructural, estética, ergonómica, contextual y productiva. Por ejemplo, la estabilidad puede evaluarse considerando el comportamiento del artefacto ante posibles vuelcos hacia adelante, hacia atrás o hacia los lados, mientras que la rigidez estructural se relaciona con la capacidad del objeto para resistir deformaciones bajo carga. El peso, el confort, el estilo, la composición formal y la adecuación al usuario son variables igualmente relevantes, que requieren observación rigurosa y criterios de evaluación claros.

En este sentido, se propone revisar tempranamente las características que se presentan en la Tabla 2, donde se aprecia un análisis preliminar

cuantitativo de algunos prototipos de sillas en madera. Se trata de seis sillas desarrollados por estudiantes de Diseño Industrial. Cada prototipo fue sometido a un análisis general y a una ponderación de cinco criterios de diseño: rigidez estructural, resistencia mecánica, estabilidad, confort y valor formal-estético. Esta actividad tuvo como finalidad generar insumos críticos y comparativos que sirvieran como base para el desarrollo de nuevos proyectos de diseño y elaboración de prototipos de mobiliario, así como que permitieran a los proyectistas tomar decisiones más informadas y pertinentes en función de los aprendizajes obtenidos y fomentar una actitud reflexiva y argumentada frente al proceso creativo.

Tabla 2. Análisis preliminar cuantitativo de algunos prototipos de sillas en madera elaborados por estudiantes

Prototipo	Rigidez	Resistencia	Estabilidad	Confort	Valor formal-estético	Total	Comentarios
	4	4	1	2	3	14	Estabilidad muy baja por cruce de patas. Las áreas de contacto interfieren con la estabilidad.
	2	3	1	2	2	10	Baja rigidez por ensamble de pata trasera y unión mecánica por tornillos. La madera falla por cortante, no hay más puntos de apoyo.
	4	4	4	2	3	17	Diseño con una intención ornamental y reminiscencias clásicas. Las curvas en patas y brazos podrían comprometer la rigidez lateral si no están bien reforzadas.
	4	4	4	3	3	18	Maneja lenguaje de poltrona, hacen falta los descansa brazos. Líneas limpias y cortes geométricos evocan ligereza y dinamismo.

Prototipo	Rigidez	Resistencia	Estabilidad	Confort	Valor formal-estético	Total	Comentarios
	4	4	4	1	2	15	Muy pesada visualmente. El ángulo del espaldar resulta en extremo incómodo.
	3	4	3	1	1	12	Descansabrazos ausentes. Se genera encajonamiento del sedente. Ángulos peligrosos.

Nota. Los criterios se evalúan de 1 a 5, donde 1 es «nada (rígido, resistente, etc.)» y 5 es «muy (rígido, resistente, etc.)».

De manera más amplia, el análisis de referentes en mobiliario –o de artefactos de uso en general– exige la aplicación de criterios que abarquen múltiples dimensiones proyectuales. Esta diversidad de enfoques permite comprender no solo las características físicas del artefacto, sino también, como se ha señalado, su desempeño funcional, su lenguaje formal, su adecuación al usuario y su pertinencia contextual. El estudio de referentes constituye una fase exploratoria, divergente y analítica, orientada a abrir horizontes de comprensión antes de formular nuevas propuestas.

Para facilitar este análisis, se recomienda enfáticamente la elaboración de un instrumento estructurado que contemple dichas

dimensiones. Este instrumento debe iniciar con el identificador o nombre del artefacto y continuar con una serie de criterios específicos formulados como preguntas orientadoras. Estas preguntas deben invitar a una observación crítica y comparativa, que reconozca que algunas respuestas serán más accesibles que otras, dependiendo del tipo de referente y del nivel de documentación disponible.

Las siguientes son algunas preguntas orientadoras sugeridas:

- ¿Presenta rigidez estructural? ¿Se deforma bajo carga o uso?
- ¿Qué nivel de estabilidad tiene? (se puede utilizar una escala)
- ¿Cuál es su peso en kilogramos? ¿Es liviana o pesada?

- ¿Qué tan innovador es su diseño? ¿Qué potencial innovador posee?
- ¿Se distingue de otros artefactos similares en diseño y concepto?
- ¿Qué estilo de diseño presenta? (moderno, clásico, minimalista, industrial, artesanal, retro, vanguardista, etc.)
- ¿Está inspirado en algún movimiento artístico o tendencia específica?
- ¿Tiene equilibrio visual y simetría?
- ¿Qué tipo de líneas de composición predominan? (curvas, rectas, angulares)
- ¿Qué tipo o tipos de usuario pueden utilizarla? (edad, género, condición especial)
- ¿Para qué actividad fue diseñada?
- ¿Qué nivel de confort ofrece? ¿Cuál es el tiempo estimado de permanencia en uso?
- ¿Cuenta con soporte lumbar, soporte para las nalgas, soporte para los muslos?
- ¿Cómo es la altura, la profundidad y el ancho del asiento?
- ¿Qué ángulo tiene el asiento y el espaldar?
- ¿Para qué ambiente o contexto está diseñada? (hogar, oficina, institucional, interior, exterior, mixto)
- ¿Qué materiales la componen? (madera, metal, polímero, telas, tapicería, etc.)
- ¿Qué paleta de colores utiliza? ¿Qué contraste y armonía presenta?

- ¿Qué tipo de acabados tiene? (mate, brillante, lacado, crudo, tintilla, aceites, etc.)
- ¿Cuántas partes o piezas la conforman?
- ¿Cuáles son partes de diseño y cuáles son partes normalizadas o de catálogo?
- ¿Qué procesos de manufactura se emplearon para el artefacto completo y para cada parte?

Este conjunto de preguntas permite caracterizar el referente desde una perspectiva técnica, estética, simbólica y contextual, lo que facilita la identificación de oportunidades de mejora, reinterpretación o innovación. Además, conviene incluir un apartado para registrar las conclusiones particulares y globales de cada referente analizado, a la manera del observado en la Tabla 2. Estas conclusiones pueden ayudar al proyectista o al equipo a determinar qué dimensiones son más relevantes para su proyecto, o incluso a incorporar otras variables que no estén contempladas en este libro.³

Este enfoque sistemático fortalece la capacidad crítica del diseñador, o del equipo de diseño, promueve la toma de decisiones

.....
³ Resulta muy provechoso para el proyecto tener métricas de análisis para varias de las dimensiones consideradas. Una métrica de análisis es un parámetro utilizado para medir y evaluar una característica específica, en nuestro caso, la dimensión evaluada. En el contexto de análisis de datos, las métricas ayudan a cuantificar aspectos clave para facilitar la toma de decisiones informadas. Por ejemplo, si se está evaluando el rendimiento de un equipo de trabajo, una métrica podría ser el tiempo promedio que tarda cada miembro en completar una tarea. Esta métrica permite identificar patrones y áreas de mejora.

fundamentadas y enriquece el proceso proyectual con una base comparativa, contextualizada y metodológicamente estructurada.

A continuación, se comentan brevemente dos de los aspectos centrales (rigidez y estabilidad), y se contextualiza sobre lo que es una parte de diseño y una normalizada.

La rigidez estructural

La rigidez de la estructura de un artefacto implica observar estas características:

- Resistencia a la flexión o torsión: el mueble no debe ceder ni doblarse cuando una persona se sienta, se apoya o lo mueve.
- Estabilidad dimensional: las partes del mueble deben conservar sus proporciones y ángulos sin desplazamientos indeseados.
- Durabilidad estructural: una buena rigidez contribuye a que el mueble tenga una vida útil prolongada, sin fallas prematuras.
- Sensación de seguridad: el usuario percibe el mueble como sólido, confiable y bien construido.

La estabilidad de un mueble

Esta característica hace referencia a la capacidad de un mueble para mantenerse firme y seguro en su posición sin volcarse, tambalearse

o desplazarse involuntariamente cuando se utiliza. Es una propiedad esencial en el diseño de mobiliario, ya que está directamente relacionada con la seguridad del usuario, la funcionalidad del artefacto y la calidad estructural del producto.

Esta estabilidad implica:

- Resistencia al vuelco: el mueble no debe inclinarse ni caer cuando se le aplica una carga normal, como el peso de una persona o de objetos.
- Distribución equilibrada del peso: las proporciones, el centro de gravedad y el diseño de las patas o base deben evitar que el mueble se desplace o se incline.
- Comportamiento ante fuerzas externas: debe resistir movimientos laterales, empujes o inclinaciones sin perder su posición original.

¿Cómo se evalúa?

- Pruebas de vuelco: se aplican cargas en diferentes direcciones (frontal, lateral, posterior) para verificar si el mueble se mantiene estable.
- Observación del comportamiento en uso: se analiza si el mueble se tambalea, se desliza o genera sensación de inseguridad al interactuar con él.

Parte de diseño

Se denomina *parte de diseño* a aquella pieza única, concebida específicamente para un artefacto o producto determinado. Su desarrollo arranca desde cero, con base en criterios compositivos, formales, funcionales, estéticos, estructurales y técnicos propios del proyecto. Estas partes no se encuentran en catálogos comerciales ni responden a estándares universales, ya que son personalizadas y exclusivas para el artefacto en cuestión.

Su diseño implica procesos de ideación, modelado y validación, y suele requerir prototipado, pruebas de ajuste y documentación técnica detallada. En el ámbito del mobiliario, las partes de diseño pueden incluir componentes estructurales, superficies de contacto, elementos articulados o soluciones formales que responden a necesidades específicas del usuario o del contexto de uso.

Parte normalizada o parte de catálogo

Se entiende por *parte normalizada* o *parte de catálogo* aquella pieza estandarizada que se fabrica en grandes volúmenes y se utiliza en múltiples productos, incluso de diferentes categorías. Estas partes responden a normas y especificaciones técnicas establecidas por organismos internacionales como NTC, ISO, DIN, entre otros, o por fabricantes especializados.

Son desarrolladas por proveedores reconocidos, como Häfele (Alemania), que produce herrajes para la industria del mueble. Gracias a su estandarización, estas piezas pueden adquirirse fácilmente en el mercado, lo que facilita su integración en procesos de diseño, fabricación y mantenimiento.

En el ámbito del mobiliario, ejemplos comunes de partes de catálogo incluyen:

- Herrajes de unión y cierre
- Tornillos y pernos
- Tarugos y conectores
- Protectores de piso
- Ruedas, bisagras y soportes
- Mangos, jaladeras, etc.

Regla fundamental: Nunca diseñe una parte de catálogo. En lugar de reinventar componentes ya estandarizados, el diseñador debe integrarlos correctamente y asegurarse de su compatibilidad funcional, estética y normativa.

Translación semiótica

Para terminar este apartado, queremos remitir a un innovador método que guarda relación con el análisis amplio de los referentes y que abre caminos hacia la concepción de propuestas de diseño. Se trata de la traslación semiótica, un método de investigación/creación propuesto por Juan Mendoza-Collazos (2025) que busca la generación de la forma, o morfogénesis, a partir de

la transformación de artefactos comunicativos en nuevas formas de diseño, por medio de un análisis sistemático y una exploración intuitiva, que sucede de forma parcialmente aleatoria y libre. Este enfoque resulta valioso en particular para proyectos de mobiliario que buscan trascender lo funcional y lo convencional, al integrar referentes culturales, artísticos y simbólicos, denominados artefactos fuente, en su proceso de generación formal. El método «facilita los procesos creativos, promueve la generación de formas novedosas y entrena procesos cognitivos como la abstracción, la conceptualización y el pensamiento metafórico» (Mendoza-Collazos, 2025, p. 1).

Fundamentos de la traslación semiótica

Según Mendoza-Collazos (2025), la traslación semiótica consiste en estudiar las estructuras de sentido de un artefacto fuente (como una pintura, una novela, una escultura, una pieza musical, una obra arquitectónica, una obra de teatro, un videojuego, una obra fílmica, etc.) para traducirlas en un artefacto destino, que puede ser un artefacto de diseño, una obra arquitectónica, entre otros.

Este proceso implica:

- Identificar los recursos semióticos del artefacto fuente (color, ritmo, textura, narrativa, composición).

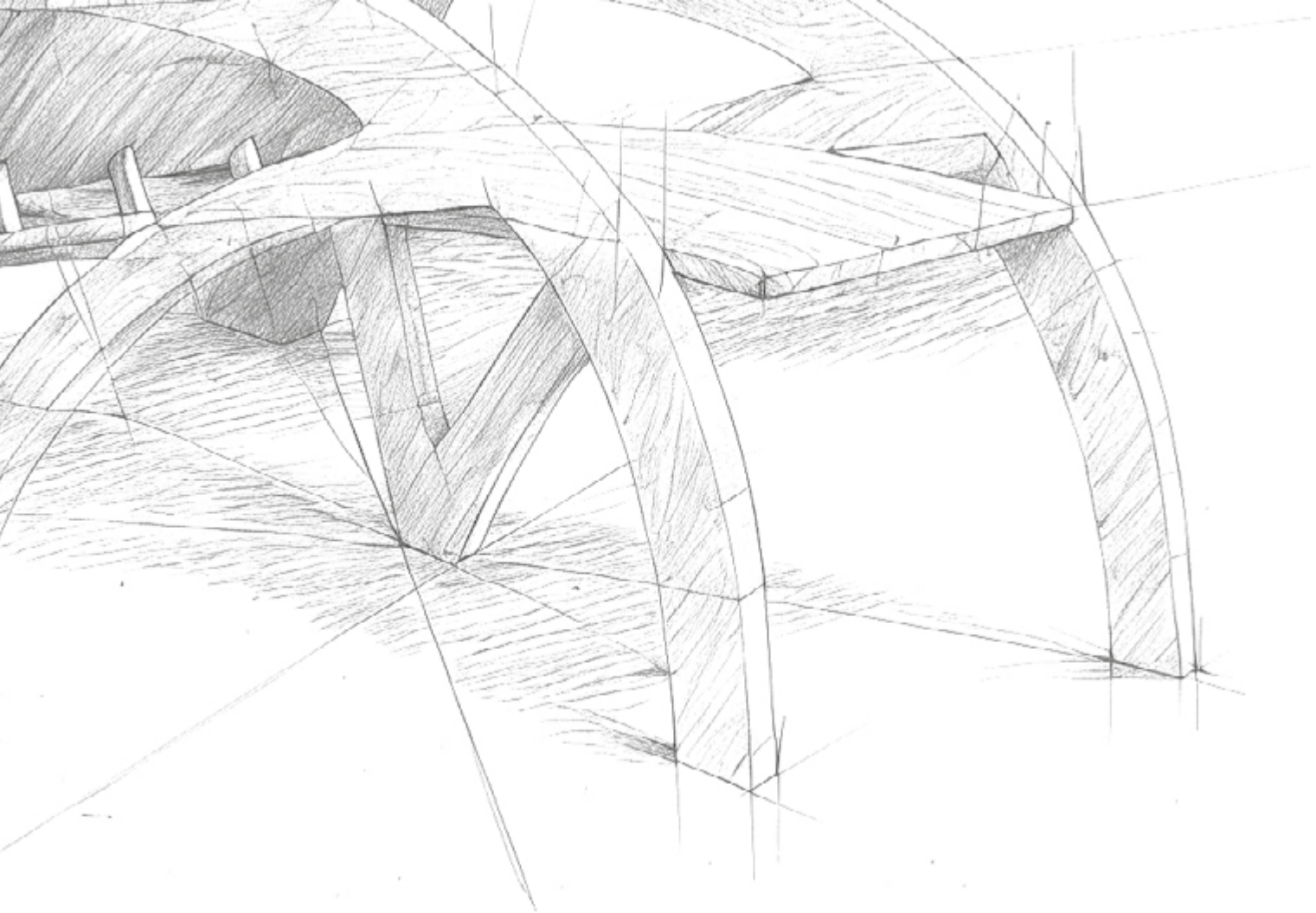
- Analizar las respuestas experienciales que genera (emociones, significados, evocaciones).
- Establecer gradientes de iconicidad, es decir, el grado de semejanza entre el artefacto fuente y el artefacto destino.
- Aplicar una estructura metodológica que equilibre la sistematización con la libertad creativa.

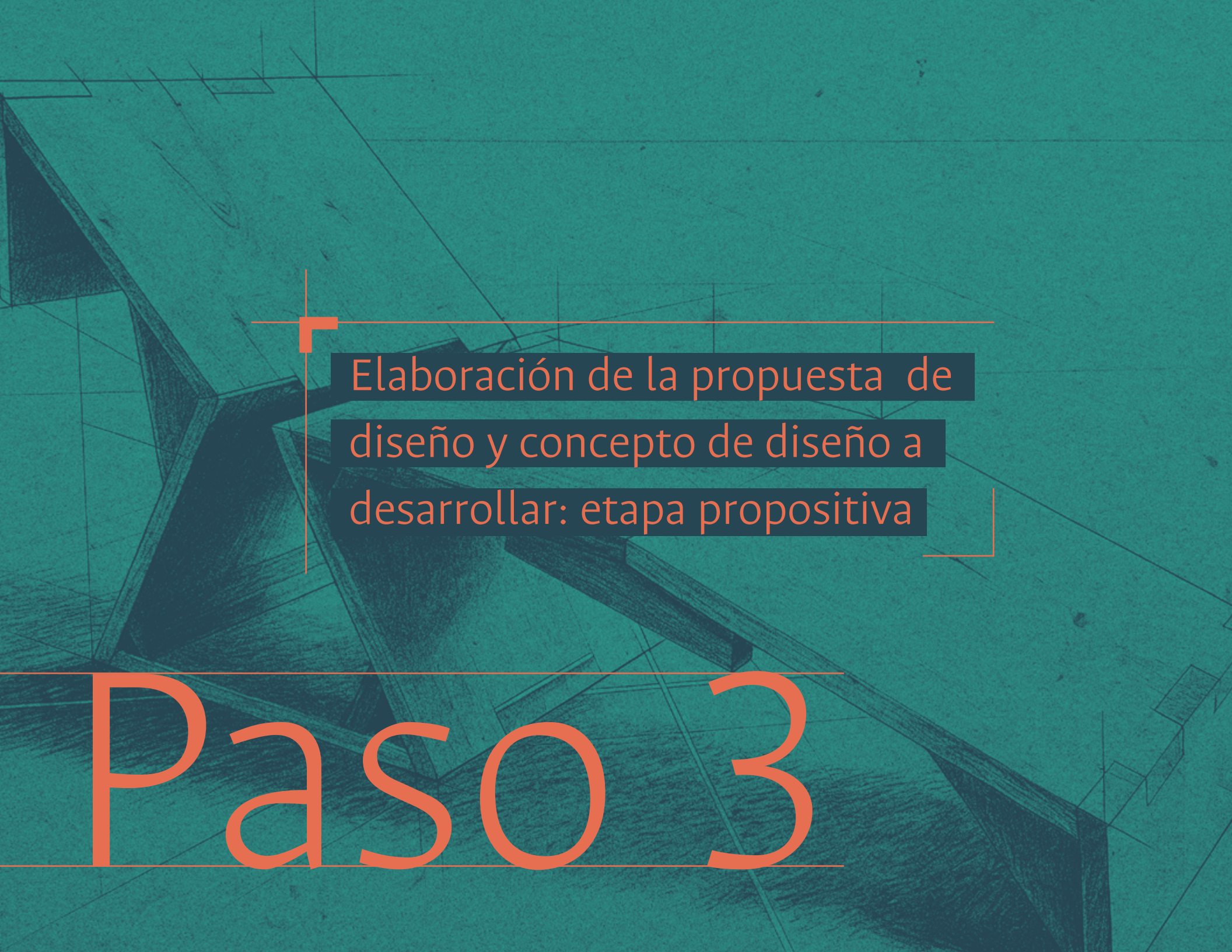
Aplicación en diseño de mobiliario

En el contexto del diseño de sillas u otros artefactos, este método permite:

- Superar el referente directo (por ejemplo, otras sillas) para incorporar influencias de otros campos del arte.
- Enriquecer la dimensión simbólica y expresiva del objeto, sin perder funcionalidad.
- Explorar nuevas morfologías inspiradas en artefactos culturales, naturales o artísticos.
- Fortalecer el fundamento conceptual del proyecto, articulando forma, significado y experiencia.

Por ejemplo, el diseño de una nueva silla prototipo puede inspirarse en la estructura narrativa de una novela, la tensión visual de una pintura abstracta o la cadencia de una pieza musical, con lo que es posible generar un diseño morfológicamente más rico y asombroso, que además comunica más allá de lo utilitario.



The background is a detailed architectural sketch of a building's interior or exterior structure, rendered in a dark teal color. The sketch shows various geometric forms, lines, and shading, suggesting a complex design. Overlaid on this is a semi-transparent teal rectangle that serves as a background for the text. The text is in a bold, orange, sans-serif font. There are also some orange lines and a small square symbol on the left side of the text area, resembling a corner bracket or a design element.

Elaboración de la propuesta de
diseño y concepto de diseño a
desarrollar: etapa propositiva

Paso 3

Podría afirmarse que, en este punto, el problema ha sido delimitado: se va a diseñar una silla, un artefacto de uso. Sin embargo, desde la perspectiva del diseño, el trabajo apenas comienza. Esta etapa exige establecer con claridad cuatro aspectos fundamentales que orientarán la propuesta proyectual:

1. Caracterización del usuario

¿Qué tipo de persona o grupo de usuarios utilizará el artefacto? Esta es una cuestión compleja y multidimensional, que debe abordarse de manera integrada. Se trata de diseñar un artefacto industrial que funcione adecuadamente para un conjunto de personas con características físicas, culturales y sociales específicas.

2. Actividad

¿Qué tipo de actividad será realizada con el artefacto o por medio de él? La función proyectual está directamente vinculada a la acción que se desea facilitar o potenciar.

3. Contexto de uso

¿En qué entorno se utilizará el artefacto? Este contexto debe analizarse desde dos perspectivas complementarias: la dimensión antropológico-cultural y la dimensión geoespacial.

4. Tipología del artefacto

¿Qué tipo de silla se diseñará? La tipología está determinada por la actividad a desarrollar, esta, a su vez, condiciona su morfología. Por ejemplo, una silla para descanso junto a una piscina, en la playa o una finca de descanso, puede adoptar la forma de una tumbona (ver la Figura 4, prototipo de silla tumbona Vinkel, concebida para el descanso y la lectura). Cada tipología responde a una lógica de uso, confort y adecuación formal.

Figura 4. Prototipo de silla tumbona Vinkel



Los cuatro aspectos mencionados se interrelacionan de manera simultánea y concurrente. La morfología de la silla –que comprende su generación, composición y las propiedades de su forma– debe responder a la actividad prevista. Una silla para lectura o una silla para descanso, por ejemplo, requieren configuraciones formales específicas que faciliten dichas acciones. En la Tabla 3 se presentan diferentes tipologías de sillas vinculadas con contextos de uso generales.

Tabla 3. Diferentes tipologías de sillas vinculadas con contextos de uso generales

Tipo de silla	Contexto de uso
Bancas	Social
Butacas	Hogar / Social
Poltrona	Hogar
Silla auxiliar	Hogar
Silla auxiliar	Oficina
Silla de descanso	Hogar / Social
Silla de oficina	Oficina
Silla interlocutora	Oficina
Silla mecedora	Social / Hogar
Silla para colegio	Estudiantil
Silla para comer en el hogar	Hogar
Silla para comer en restaurante	Social
Silla para eventos	Social
Silla para sala de hogar	Hogar
Silla para tomar el sol	Hogar / Social
Silla secretarial	Oficina
Silla tumbona	Social / Hogar
Sofás para sala de espera	Social / Oficina
Sofás para sala de hogar	Hogar / Social

El usuario como eje del diseño

El concepto de usuario es central en el diseño de artefactos de uso, como una silla, ya que abarca tanto aspectos biológicos como culturales del ser humano. Según Morin (2003), el ser humano es una combinación de individuo, sociedad y especie, lo que implica

que el diseño debe considerar simultáneamente la dimensión biológica y la dimensión cultural del usuario.

En la dimensión biológica se debe considerar:

- **Estudio antropométrico:** Evaluación de las medidas físicas del usuario o grupo de usuarios para asegurar la ergonomía y la usabilidad del artefacto.
- **Ergonomía y usabilidad:** Adaptación del diseño para maximizar el confort, la eficiencia y la seguridad del usuario.
- **Tiempo de utilización:** Análisis del tiempo estimado de uso, como indicador clave de confort y funcionalidad.

En la dimensión cultural se debe tener en cuenta:

- **Contexto de uso antropológico:** Consideración del entorno social y cultural en el que se utilizará el artefacto.
- **Preferencias del usuario:** Identificación de gustos, hábitos y necesidades; para lograrla deben abordarse aspectos psicológicos, simbólicos y culturales.

En la Tabla 4 se presentan elementos para la definición del usuario, que deben considerarse durante el proceso de determinación de este. Es fundamental completar de manera rigurosa cada uno de los elementos, entre los que es clave integrar variables físicas, sociales, culturales y simbólicas que inciden en la caracterización del perfil y las necesidades asociadas al proyecto de mobiliario.

Tabla 4. Elementos de la definición del usuario y su descripción

Elemento	Descripción
Grupo social	Clase social o grupo al que pertenece el usuario (por ejemplo, clase baja, media, alta).
Nacionalidad	País de origen o ciudadanía del usuario.
Grupo económico	Nivel económico del usuario (por ejemplo, ingresos bajos, medios, altos).
Grupo étnico	Identidad étnica del usuario.
Grupo cultural	Tradiciones y costumbres culturales del usuario.
Ocupación	Profesión o actividad principal del usuario.
Género	Género del usuario (masculino, femenino, no binario, etc.).
Edad	Rango de edad del usuario.
Características físicas	Aspectos físicos relevantes del usuario (altura, peso ⁴ , movilidad, etc.).

El contexto como determinante proyectual

El término *contexto* es clave para comprender el uso del artefacto desde tres perspectivas principales, que se presentan a continuación junto con criterios para considerar y sugerencia de preguntas:

.....
⁴ En términos estructurales, se suele asumir que el peso máximo que debe soportar una silla oscila entre 120 y 150 kg. No obstante, es posible diseñar para usuarios con mayor peso corporal, siempre que el artefacto responda adecuadamente a los requerimientos estructurales.

Lugar arquitectónico

- **Uso público o privado:** ¿Será utilizada en parques, plazas, hogares, oficinas, comercios?
- **Uso social o corporativo:** ¿Se empleará en cafeterías, salas de espera, espacios institucionales o corporativos?
- **Ambiente de uso:** ¿Se ubicará en interiores, exteriores o espacios mixtos?

Contexto cultural

- **Usuarios culturales:** ¿A qué comunidad pertenece el usuario? Por ejemplo, una silla diseñada para una comunidad afrodescendiente en San Basilio de Palenque, Colombia, tendrá consideraciones distintas a una diseñada para una comunidad germánica en Palanga, Lituania.
- **Contexto antropológico:** ¿Qué valores, prácticas y preferencias culturales influyen en el uso del artefacto?
- **Preguntas orientadoras:** ¿Qué características culturales tienen los usuarios? ¿Qué les gusta y qué les disgusta? ¿Cómo influye su entorno social en el uso del artefacto?

Contexto geoambiental

Es necesario identificar la posición geográfica y las condiciones ambientales del lugar de uso. Esto incluye:

- **Tipo de clima:** cálido, templado, frío
- **Estación del año:** invierno, otoño, verano, primavera

- Lluvias
- Temperatura ambiente (máxima, mínima, promedio)
- Nivel de irradiancia solar
- Humedad relativa
- Presencia de salitre, polvo u otros agentes ambientales

El concepto de diseño como visión proyectual

En esta etapa del proceso proyectual convergen todas las ideas, los valores y las decisiones que deberán materializarse en el artefacto final. El concepto de diseño constituye una síntesis creativa y reflexiva, una visión integradora que traduce la investigación, los referentes y las determinantes en una propuesta coherente. Como señala Archer (1981), diseñar es el proceso por el cual la información se transforma en una idea que guía la acción.

El concepto de diseño puede entenderse como una especulación creativa sobre la resolución del problema proyectual, nutrida por referentes culturales, naturales, históricos y tecnológicos. Su formulación no responde únicamente a la función o a la estética, sino a la búsqueda de sentido: es la *idea matriz* que orienta el proceso de ideación, bocetación y materialización del artefacto. En palabras de Cross (2006), los diseñadores piensan con los materiales del diseño, explorando la forma, la función y el significado por medio de su interacción.

El concepto puede surgir de fuentes tan diversas como la naturaleza, la cultura popular, la historia del arte o movimientos estéticos específicos. En este sentido, la analogía y la metáfora se convierten en herramientas fundamentales para construir significados y establecer puentes entre lo abstracto y lo tangible. Por ejemplo, un diseñador puede imaginar una silla inspirada en el pop art, con un lenguaje minimalista y contemporáneo, concebida para espacios de trabajo y ocio en una universidad colombiana. Este concepto orientaría las decisiones sobre la forma, el color, la composición, los materiales y la comunicación visual, en las que se integrarían los valores de funcionalidad, identidad y contemporaneidad.

Aunque el concepto no siempre se enuncie de manera explícita, debe contener de forma implícita los determinantes y los requerimientos del diseño, ya que de ellos deriva su coherencia estructural y conceptual. Así, un concepto sólido articula la visión estética con la función, la tecnología con la cultura y la sostenibilidad con la innovación.

Un segundo ejemplo puede observarse en la silla Llalin Kushe (ver Figura 5), un prototipo inspirado en la entomología y en la cosmovisión mapuche de Chile, donde la metáfora de la araña actúa como principio generador formal

y simbólico. «Los mapuches chilenos y argentinos recuerdan que una araña vieja llamada Llalin Kushe es la *nguen* (dueña) del hilado y del tejido, protectora, maestra, que cuida y protege a las *ñerefe* (tejedoras) de las fuerzas negativas, de los *weza newen* que las impulsan al error» (Equipo NAYÁ, s.f.). Este relato se convierte en una fuente poética y conceptual que orienta las decisiones de diseño y vincula el artefacto con un imaginario ancestral que da sentido a su forma y función.

Figura 5. Silla Llalin Kushe (diseño de DI Lucas Marcel Castaño Sarria)



Desde una perspectiva metodológica, el concepto de diseño puede asumirse como un punto de confluencia entre pensamiento divergente y convergente. En la fase divergente, el diseñador explora múltiples alternativas y metáforas posibles; en la fase convergente, selecciona y depura aquellas que expresan con mayor claridad la intención proyectual. En términos de Maldonado (1972), el concepto de diseño «no es una idea arbitraria, sino una síntesis operativa entre la imaginación y la razón técnica» (p. 15).

En síntesis, el concepto de diseño actúa como una visión proyectual que dota de sentido, coherencia y dirección al proceso creativo. No se trata de un simple recurso estético o narrativo, sino de una estrategia cognitiva y comunicativa que permite al diseñador pensar, argumentar y materializar su propuesta en relación con las determinantes y los requerimientos identificados. De esta manera, el concepto se convierte en el núcleo simbólico y operativo del proyecto, capaz de integrar la dimensión técnica, cultural y poética del diseño.

Determinantes y requerimientos de diseño

En todo proceso proyectual existen factores que influyen, condicionan o direccionan las decisiones del proyectista. Estas fuerzas –tanto internas al proyecto como externas a él– configuran el sistema de determinantes y requerimientos de diseño. Reconocerlas

explícitamente permite conducir el proceso de manera consciente, argumentada y coherente con los objetivos definidos.

En el contexto del diseño de mobiliario, y particularmente en el desarrollo de sillas, estas variables adquieren una importancia especial, ya que condicionan tanto la función ergonómica como la expresión formal del artefacto, al tiempo que determinan su equilibrio entre uso, confort, estructura y lenguaje simbólico.

Determinantes de diseño

Se entiende por *determinante de diseño* todo factor, condición o circunstancia que incide en el desarrollo del proyecto y en el resultado final del producto. Estas determinantes pueden ser de orden interno o externo, y abarcan dimensiones funcionales, técnicas, normativas, culturales, económicas, ambientales y simbólicas.

Su identificación temprana orienta las decisiones proyectuales y evita desviaciones respecto a los propósitos del diseño. Según Bürdek (1994), «el diseño es una actividad mediadora entre lo técnico, lo cultural y lo económico» (p. 13), y esa mediación se expresa precisamente en las determinantes que configuran cada proyecto.

Desde una mirada sistémica, Cross (2006) afirma que los diseñadores trabajan con restricciones, no a pesar de ellas, sino gracias a ellas, con lo que recuerda que las determinantes no deben entenderse

como limitaciones negativas, sino como condiciones estructurantes del proceso creativo, que delimitan el campo de acción y al mismo tiempo estimulan la innovación.

Un buen diseñador no evade las determinantes, sino que las interpreta creativamente para generar respuestas pertinentes y significativas.

Determinantes internas:

- **Estructurales y técnicas:** resistencia, estabilidad, rigidez, métodos de unión, sistemas de ensamble, tolerancias dimensionales, procesos de manufactura y tecnologías disponibles.
- **Funcionales y ergonómicas:** adaptación a la morfología humana, confort, facilidad de uso, seguridad, posturas de trabajo o descanso, esfuerzo físico requerido.
- **Materiales:** tipo de madera o material conexo, propiedades físico-mecánicas, disponibilidad, trabajabilidad, peso, textura, acabado, sostenibilidad. Específicamente, qué madera se usará en un proyecto: maciza, industrial, etc.
- **Estéticas y formales:** coherencia visual, proporciones, lenguaje morfológico y articulación entre función y forma.

Determinantes externas:

- **Económicas:** presupuesto asignado, costos de producción, costo de elaboración (en el caso de los prototipos), mantenimiento y ciclo de vida del producto.

- **Ambientales:** impacto ecológico, eficiencia energética, reutilización y reciclabilidad, durabilidad frente a condiciones de uso y clima.
- **Culturales y simbólicas:** significados estéticos, identidad local, lenguaje formal, relación con tradiciones o imaginarios sociales. Bonsiepe (2015) sostiene que todo objeto diseñado (artefacto diseñado), además de cumplir una función, comunica significados que lo vinculan con su contexto cultural y social, lo que subraya la dimensión simbólica de las determinantes culturales.
- **Normativas y aspectos legales:** regulaciones técnicas, estándares de seguridad, normas de accesibilidad, certificaciones de calidad y sostenibilidad.
- **Temporales y logísticas:** tiempo disponible para el desarrollo, cronograma de fabricación, transporte y montaje. El tiempo asignado a un proyecto de prototipado es crucial para su desarrollo.
- **Antropológicas:** relación del artefacto con el usuario en términos de identidad, pertenencia y experiencia cotidiana.

Cada uno de estos factores actúa como una fuerza condicionante y a la vez inspiradora del proceso proyectual. Por ejemplo, la determinante ambiental puede llevar a explorar materiales reciclados, la determinante cultural puede inspirar una forma que dialogue con las tradiciones del lugar y la determinante estructural puede orientar la selección de uniones o espesores óptimos para garantizar resistencia y estabilidad. Como advierte Margolin (2002), el diseño

no ocurre en el vacío, sino en un entramado de relaciones sociales y materiales que le dan forma y sentido.

Requerimientos de diseño

Los *requerimientos de diseño* son las condiciones específicas que el artefacto o producto debe cumplir para considerarse adecuado, eficiente y coherente con los objetivos del proyecto, en definitiva, exitoso. Mientras que las determinantes definen el marco de acción, los requerimientos constituyen parámetros verificables y medibles de desempeño del artefacto. En otras palabras, son características concretas que delimitan lo que el artefacto, producto, sistema o servicio debe lograr o hacer.

Así, los requerimientos traducen las determinantes en criterios concretos de diseño y evaluación. Por ejemplo, en el caso del diseño de una silla, los requerimientos pueden formularse así:

- **Funcional:** debe permitir sentarse y levantarse con facilidad.
- **Ergonómico:** debe adaptarse a un rango antropométrico del 5.º al 95.º percentil de usuarios, además de considerar tiempos prolongados en postura sedente en un contexto determinado.
- **Estructural:** debe soportar un peso máximo de 120 kg sin deformación permanente.
- **Material:** debe emplear maderas certificadas o de fuentes sostenibles.

- **Estético-formal:** debe expresar una identidad coherente con el contexto cultural y la intención del diseño.
- **Ambiental:** debe minimizar residuos en su fabricación y facilitar el desensamble para su reciclaje.
- **Económico:** el costo de elaboración o producción no debe exceder el presupuesto definido en el proyecto.
- **Tecnológico:** se debe poder elaborar con las tecnologías disponibles en el laboratorio o taller.

En el proceso metodológico, los requerimientos funcionan como instrumentos de validación y control, especialmente en las etapas de evaluación de modelos y prototipos. Así mismo, permiten determinar si la propuesta responde a los objetivos definidos, tanto desde el punto de vista técnico como conceptual.

Como recuerda Papanek (1971), todo diseño debe cumplir una función, responder a un contexto y servir a un propósito humano y social. Por tanto, los requerimientos no son simples especificaciones técnicas: son expresiones de una intención funcional, ética, cultural y ambiental, eminentemente contextualizadas, que definen la pertinencia del artefacto diseñado.

Relación entre determinantes y requerimientos

La relación entre determinantes y requerimientos puede entenderse como dialéctica, dinámica y recursiva. Las determinantes

configuran el marco del proyecto –lo que se debe considerar–, mientras que los requerimientos definen los criterios de logro –lo que se debe alcanzar–.

En conjunto, constituyen la matriz proyectual sobre la que se fundamenta la toma de decisiones y la evaluación del diseño. Esta relación no es lineal: el cumplimiento o incumplimiento de los requerimientos puede conducir a redefinir las determinantes iniciales, mediante el ajuste de materiales, costos o enfoques formales durante el proceso.

Así:


- Las determinantes son condiciones del proyecto y su entorno: los materiales, el usuario, el tiempo de desarrollo, el presupuesto del proyecto, la tecnología o el sistema de producción, la normatividad, etc.
- Los requerimientos son respuestas proyectuales concretas y verificables a esas condiciones.

Como sugiere Morin (2003), «todo proceso complejo requiere un pensamiento que sepa unir lo que está separado y distinguir sin desunir» (p. 21). Esta forma de pensar se refleja en la relación entre determinantes y requerimientos: dos niveles de pensamiento complementarios que garantizan la coherencia y la adaptabilidad del diseño frente a su contexto.

En síntesis, determinantes y requerimientos actúan como ejes reguladores del proceso de diseño y garantizan que la propuesta

final sea situada, técnicamente viable, ergonómicamente adecuada y culturalmente significativa.

Una silla debe ser segura, rígida, estable, cómoda y resistente durante su uso, amén de otros valores, tales como los estéticos que puedan ser percibidos y experimentados.

The background is a detailed architectural sketch of a room, possibly a bathroom or a small office, with a teal color overlay. The sketch shows a room with a window, a door, and a tiled floor. The text is presented in three stacked orange boxes with a dark teal background. The first box contains the text 'Bocetación de las propuestas', the second 'de diseño: etapa creativa', and the third 'divergente'. The text is centered horizontally and positioned in the upper-middle part of the image. There are also some orange lines and corner brackets around the text boxes.

Bocetación de las propuestas
de diseño: etapa creativa
divergente

Paso 4

El paso que se reseña en este apartado se integra a la base creativa y proyectual que permite visualizar, analizar y refinar las intenciones de diseño. Por medio del boceto, el diseñador explora posibilidades formales, compositivas y funcionales, y construye un puente inicial entre la idea conceptual y la materialización del prototipo. De acuerdo con Löbach (1976), «el boceto es pensamiento visual: una extensión de la mente en el espacio del papel» (p. 163).

Al comienzo de este paso –creativo divergente–, mediante bocetos rápidos y sin restricciones, se exploran visualmente diversas opciones de diseño. Aquí se produce una amplia variedad de alternativas bidimensionales con el objetivo de generar múltiples soluciones y visualizar formas, funciones y variaciones de estilo.

La bocetación ha sido, es y será una herramienta poderosa y esencial en el arsenal metodológico de los proyectos de diseño. Es un recurso creativo y comunicativo sin igual para los diseñadores, ingenieros, artistas y proyectistas en general. En esta etapa divergente, el diseñador comienza a desarrollar sus primeras aproximaciones visuales y formales de manera libre, objetiva o subjetivamente, mediante bocetos, en los cuales plasma sus intenciones y conceptos de diseño por medio de la creatividad.

La bocetación también sirve como un medio para comunicar ideas propositivas y creativas a integrantes del equipo de trabajo, asesores, observadores y aun usuarios y clientes finales. Es una etapa crucial que permite iterar rápidamente y refinar conceptos antes de pasar a fases más detalladas del diseño. Como lo dice Cross (2011), los diseñadores piensan con los materiales del diseño, explorando la forma, la función y el significado por medio de su interacción; con esto el autor se refiere no solo a materiales físicos, sino también a los medios simbólicos, conceptuales y técnicos con los cuales el diseñador piensa y construye soluciones.

La bocetación

Un boceto, también conocido como bosquejo, es un dibujo trazado con lápiz, bolígrafo, rotulador, tiza, carbón, lápiz digital, etc., ya sea sobre papel, cartón, tablero, pared, piso, soporte digital. Se compone de elementos preliminares, provisionales o exploratorios, y se lleva

a cabo en el desarrollo conceptual o creativo de proyectos artísticos o proyectos de diseño. Estos proyectos pueden incluir artefactos, obras artísticas en general (incluidos *performance* e instalaciones), productos, edificios, máquinas, instalaciones industriales, entre otros.

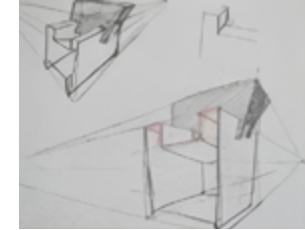
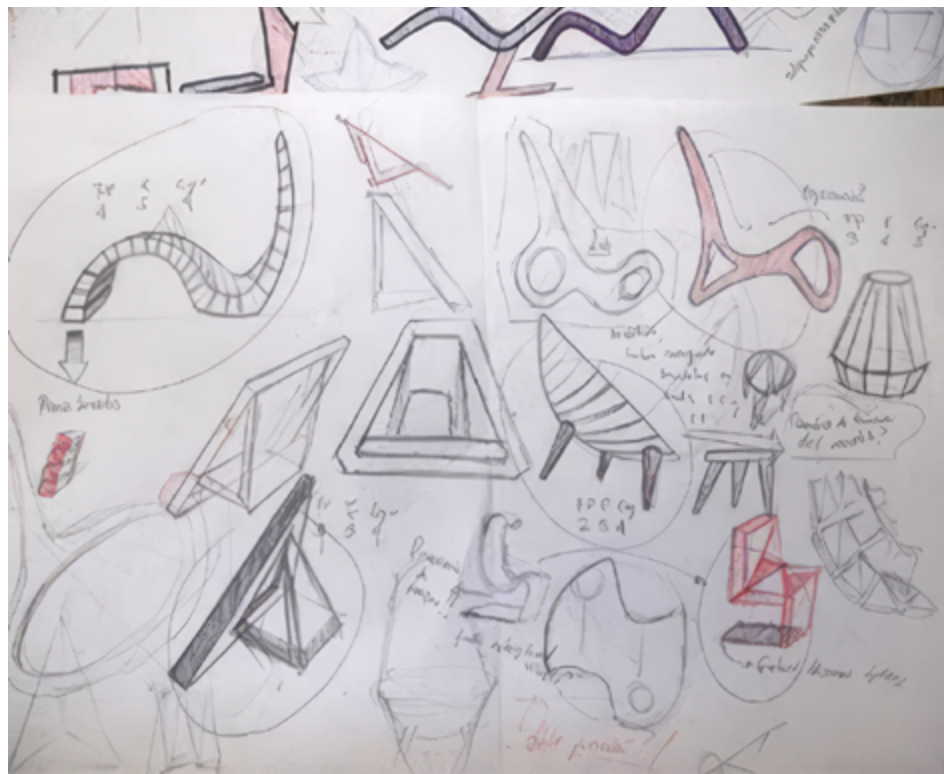
Además, el boceto se utiliza para presentar ideas de un proyecto en forma de esquemas o diagramas. Cabe destacar que el boceto, en su naturaleza proyectual, no posee una definición dimensional precisa, en esencia es adimensional y su escala es conveniente (para el proyecto). Más que plasmar medidas exactas, el boceto propone una composición formal basada en elementos primarios como el punto, la línea, el plano, el sólido y el volumen. Es una forma de pensamiento visual en la proyectación; siguiendo a Lawson (2005), bocetar no es simplemente una manera de representar ideas de diseño, es una forma de pensar. El dibujo cumple un papel cognitivo: no solo comunica ideas, sino que ayuda a descubrirlas y desarrollarlas; es una herramienta para el pensamiento proyectual, más que un mero medio de representación.

La etapa de bocetación debe, sin embargo, estar enfocada en el proyecto que se está desarrollando, como proceso intencional, útil y efectivo. Es decir, debe estar bajo el paraguas de los criterios de usuario/actividad/contexto, más el concepto de diseño planteado, incluido qué tipo de silla se está desarrollando. Si no se hace así, será un trabajo

estéril para el proyecto. Bocetar sin sentido ni dirección puede ser un buen ejercicio creativo, pero no un buen ejercicio proyectual.

Es así como el dibujo a mano alzada se constituye en el primer acercamiento a la forma del artefacto. El boceto se realiza con mayor o menor detalle dependiendo de la etapa de desarrollo del proceso. En este caso, un boceto al comienzo, en momentos de conceptualización, puede ser no más que unas simples líneas entrecruzadas, pero a medida que se avanza en el proyecto, el diseñador elabora y define mejor la forma y sus detalles constitutivos (ver Figura 6).

Figura 6. Ejemplos de bocetación exploratoria de varios proyectos de prototipado de sillas



La propuesta evoluciona para plasmar, entre otras cosas: intenciones de diseño, proporciones, simetrías, asimetrías, contrastes formales, ritmos, rupturas, equilibrios, tensión, texturas, colores, detalles de diseño, uniones, ensambles, mecanismos y acabados.

En la Figura 7 se puede observar la bocetación exploratoria de un proyecto, la silla prototipo Cáncer, donde se evidencia una bocetación desordenada, sin seguir un objetivo proyectual, concepto de diseño o un tipo de silla a desarrollar. En la Figura 8, como otro ejemplo, se presenta un primer boceto de la silla prototipo La Petite.

Figura 7. Bocetación exploratoria del proyecto silla prototipo Cáncer

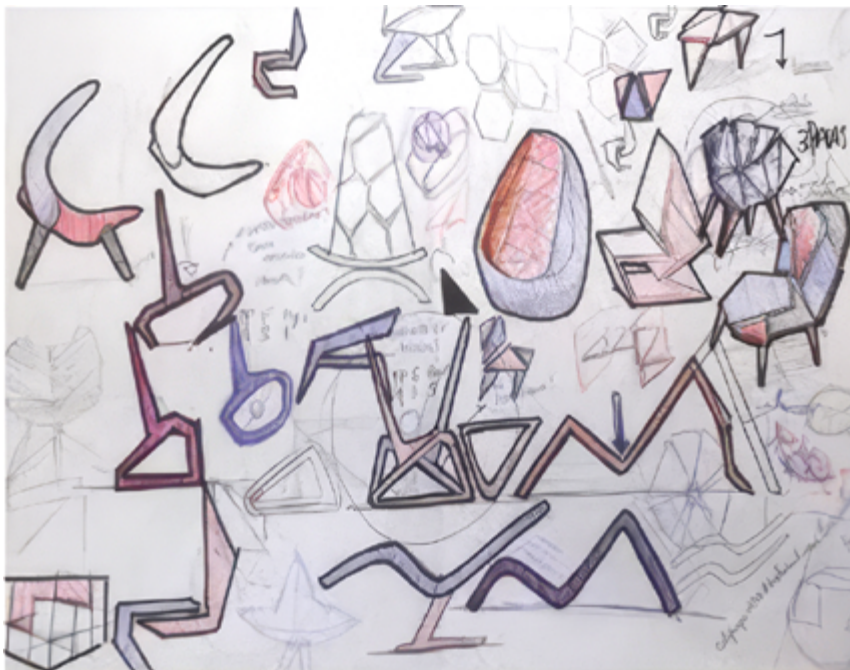
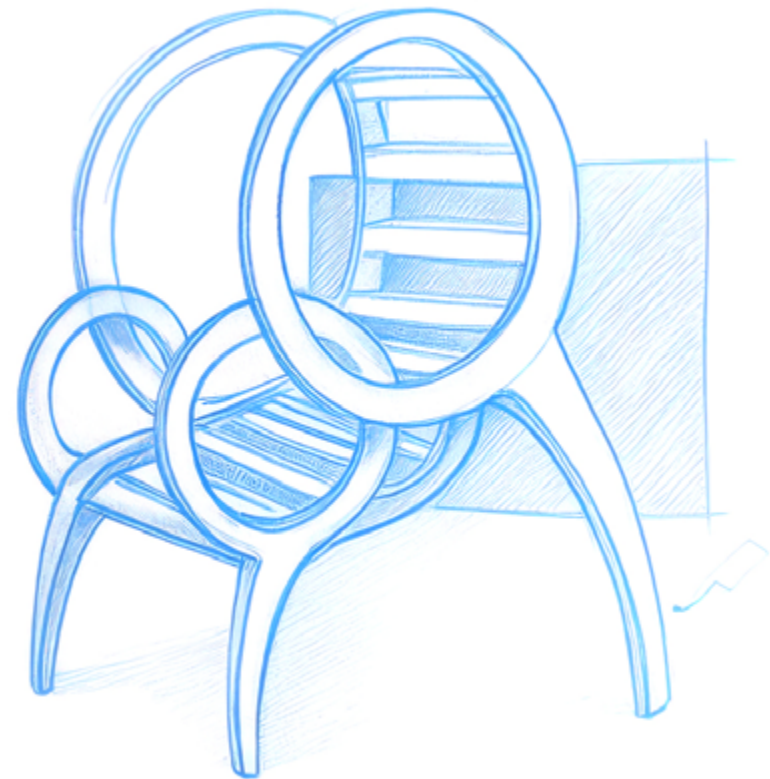


Figura 8. Boceto preliminar de la silla La Petite



Para el proyecto, los diseñadores deben realizar bocetos utilizando un papel a manera de lienzo, donde se plasme la idea creativa. Como instrumentos de dibujo se pueden usar acuarelas, marcadores, bolígrafos, lápices de color y negros, etc., con el fin de representar, definir, componer y resaltar los detalles más importantes de la propuesta. En la Figura 9, se observa la bocetación de una silla tipo tumbona, realizada de forma simple con lápiz de grafito sobre papel.

Así, se sugiere, como tarea fundamental, realizar una intensa actividad de bocetación, tanto en cantidad de propuestas como en calidad de la labor. Esto implica un buen volumen de trabajo, enfocado en la triada usuario/actividad/contexto, que incluya el concepto creativo o de diseño que propulsa la propuesta y, como es evidente, el tipo de silla que se quiere lograr.

En la Figura 10, se puede observar parte de la bocetación de la silla Vacoom, pensada para usuario adulto de ambos géneros, para descanso y lectura, en contexto de hogar. Se construyó formalmente a partir de figuras rectangulares y trapezoidales, con predominio de líneas rectas y ángulos definidos. Con presencia de simetría bilateral, el diseño mantiene equilibrio visual entre ambos lados, lo que refuerza su estabilidad estructural. El corte en V o notch superior del respaldo genera un punto focal, funcional y estético. El asiento se inserta dentro del volumen principal, con un recorte frontal en U que aporta dinamismo y facilita el acceso. Las caras laterales presentan una leve inclinación hacia adentro, lo que rompe la rigidez del prisma y aporta una sensación de ligereza.

Figura 9. Bocetación exploratoria de un proyecto de tumbona

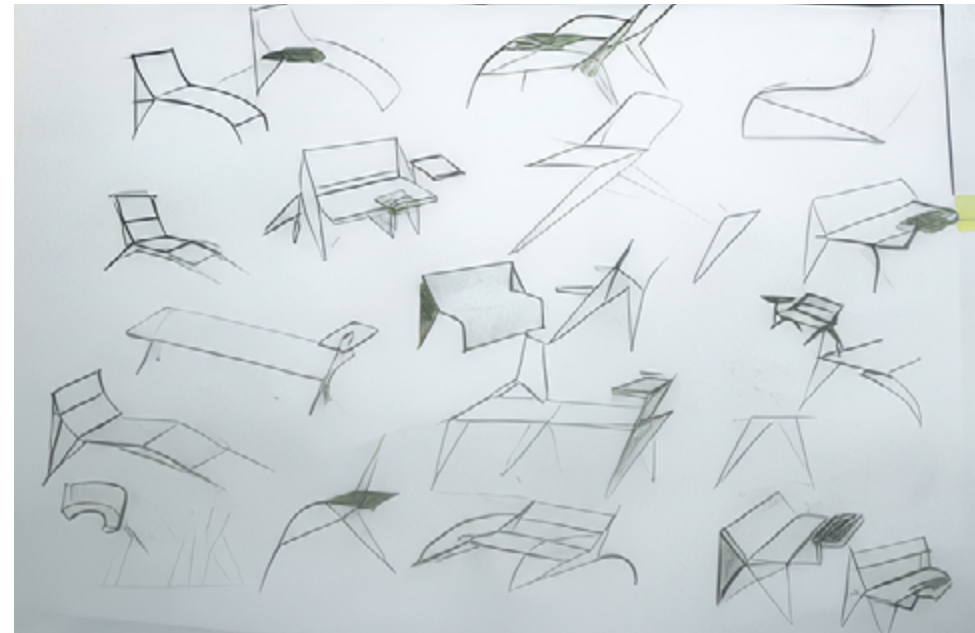
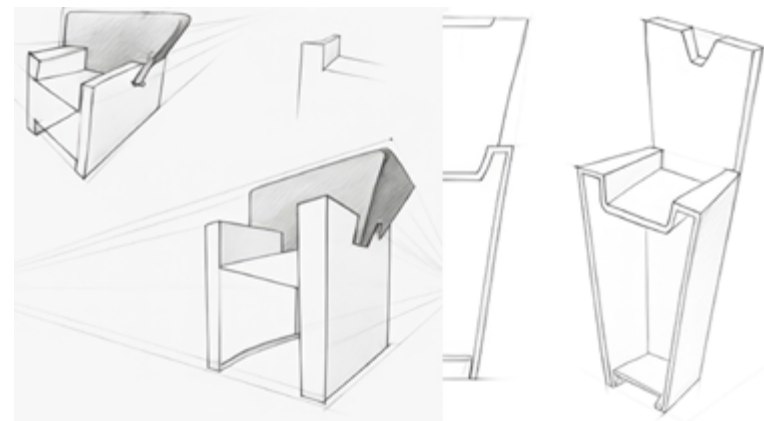


Figura 10. Bocetación silla Vacoom



La ausencia de ornamentos y la claridad estructural refuerzan el lenguaje contemporáneo de esta silla.

En la Figura 11, se muestra el boceto evolucionado del proyecto de la silla prototipo Hojaldre, con las líneas y los planos simples de su composición. El nombre se asignó al final del proyecto, con una simpleza conceptual asombrosa, fruto de varias repeticiones del ejercicio de bocetación, vinculado con el uso de un material industrial: madera contrachapada. A modo de contraste proyectual, se presenta en la Figura 12 el resultado final del proyecto, la silla prototipo Hojaldre. Allí se observa la evolución de la propuesta desde el punto de vista estructural.

Figura 11. Boceto evolucionado de la silla prototipo Hojaldre

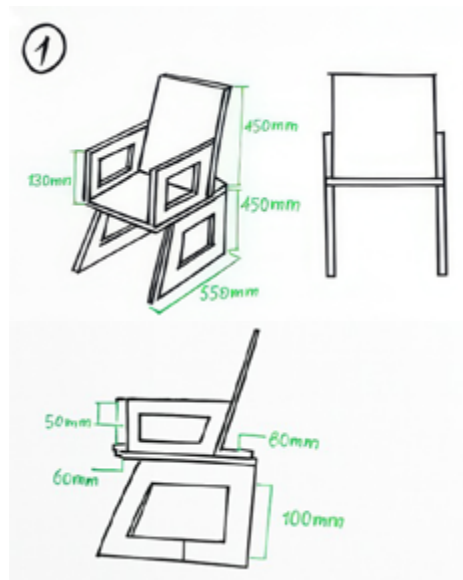


Figura 12. Silla Hojaldre versión prototipo



En la Figura 13, otro ejemplo de este paso, se detalla, en parte, el proceso de bocetación realizado para la obtención del prototipo de la silla Playita (nombre asignado tras su concreción como prototipo). Hubo cinco bocetos, denominados Alpha, Beta, Gamma, Delta y Épsilon, nombres clave para el proceso proyectual. En los bocetos se hicieron anotaciones relevantes, varias de ellas técnicas, algunas estéticas, otras funcionales, productivas algunas más, pues desde el comienzo se empieza a dirigir esta actividad hacia la obtención del prototipo.

Figura 13. Trabajo de bocetación de propuestas Alpha, Beta, Gamma y Épsilon, y anotaciones textuales relevantes

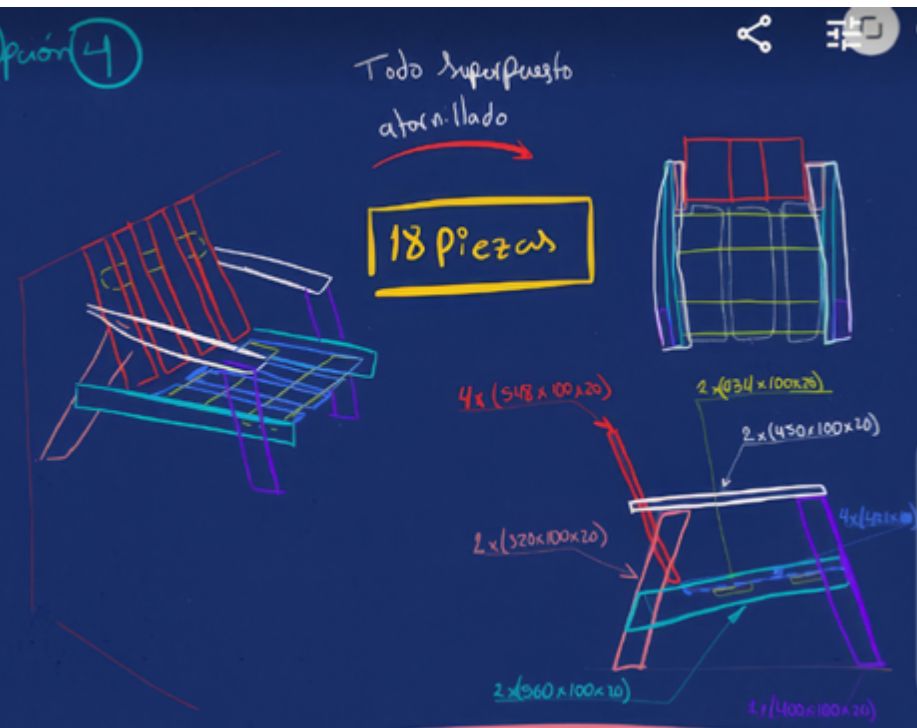


En este caso, la propuesta escogida a partir de la bocetación fue el borrador denominado como Delta, el cual llegará a convertirse en la silla Playita prototipo. Un boceto con detalles constructivos y dimensionales se presenta en la Figura 14.

Como se puede inferir de los esquemas presentados, el boceto es una herramienta de exploración visual que sugiere relaciones espaciales, gestos formales y configuraciones posibles. Un avance antes de llegar al modelo

Fuente: Imagen de Daniel Santiago Guevara Rodríguez.

Figura 14. Boceto de la propuesta de diseño Delta con detalles dimensionales y constructivos



Fuente: Imagen de Daniel Santiago Guevara Rodríguez.

físico –especialmente en escala 1:5, en primera instancia, donde estas intuiciones comienzan a transformarse, consolidarse y adquirir definición– es el de la creación de modelos digitales. El modelo digital permite empezar a materializar lo que en el boceto era solo sugerido, lo cual lo convierte en un medio clave para la evolución formal, técnica y estructural de la propuesta.

Como parte de las herramientas contemporáneas y del arsenal metodológico con que cuentan los diseñadores actuales para realizar modelos y/o bocetos digitales están modeladores como Fusion 360. En la Figura 15, se presenta a modo de ejemplo el modelo digital en tercera dimensión de la propuesta de diseño Delta.



Figura 15. Boceto o modelo digital de la propuesta de diseño Delta

Fuente: Imagen de Daniel Santiago Guevara Rodríguez.

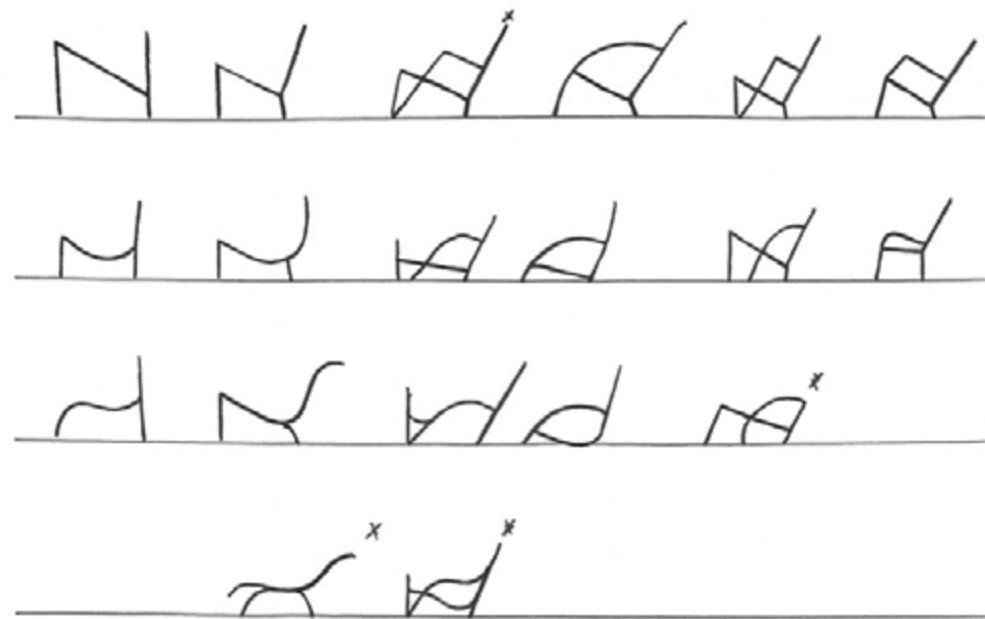
Anotaciones acerca de la composición en la bocetación de sillas

En el proceso de bocetación y desarrollo formal, la composición cumple un papel esencial: permite estructurar visualmente las ideas y convertirlas en configuraciones coherentes, expresivas y funcionales. Estas estrategias no se reducen a un aspecto estético, sino que inciden directamente en la ergonomía, la comunicación visual y la identidad proyectual del objeto (Wong, 1993; Lidwell, Holden y Butler, 2010).

El diseñador, al bocetar, piensa con los materiales del diseño –en este caso: línea, plano, volumen, textura, luz y sombra– y construye con ellos significados, tensiones, equilibrios, ente otros (Cross, 2011). Tal como señala Lawson (2005), el dibujo en el diseño no es solo una técnica de representación, sino una forma de pensar.

La Figura 16 permite observar un ejercicio de bocetación compositiva bidimensional utilizando líneas, con diecinueve variaciones, en un proyecto de prototipado de sillas.

Figura 16. Ejercicio de bocetación compositiva bidimensional utilizando puntos y líneas en un proyecto de prototipado de sillas



Algunas estrategias de composición

El proyectista puede hacer uso, de manera intencional, de las siguientes estrategias compositivas (aunque existen otras):

Unidad compositiva: constituye un principio esencial del diseño, orientado a lograr que todos los componentes de una obra –formas, colores, texturas, proporciones, ritmos y demás– se articulen de manera coherente dentro de una estructura visual integrada. Este principio es el que permite que el observador perciba la composición como un todo armónico y no como una simple suma de elementos aislados.

Cuando existe unidad compositiva

- los elementos no compiten entre sí, sino que colaboran para fortalecer el mensaje visual y el concepto de diseño;
- se facilita una lectura fluida del artefacto, al guiar de manera natural la mirada del espectador o usuario;
- se alcanza coherencia formal y conceptual, incluso en presencia de variedad o contraste.

Son técnicas para lograr unidad compositiva

- la repetición de formas, colores o patrones;
- la proximidad entre elementos relacionados;
- la alineación y organización en torno a ejes o retículas;
- el uso de simetría o equilibrio visual;
- la consistencia formal y cromática.

En sillas, se busca que el respaldo, el asiento, las patas, los apoyabrazos y demás partes, además de los materiales y los acabados, dialoguen entre sí, tanto formal como conceptualmente. La unidad compositiva está íntimamente relacionada con la proporción, el ritmo, la simetría y el contraste.

Proporción: establece relaciones armónicas entre las partes del artefacto y el conjunto total. En el diseño de sillas, regula dimensiones clave como la altura del asiento, el ancho del asiento, la altura del espaldar, la inclinación del respaldo o grosor estructural, para garantizar tanto equilibrio visual como confort ergonómico (Le Corbusier, 1948; Ching, 2007). Un famoso ejemplo de uso de la proporción áurea es el sistema de proporciones de Le Corbusier conocido como el *modulor*, que se convirtió en la base de las escalas antropométricas contemporáneas.

Contraste: introduce diferencia o variación entre elementos –forma, color, textura, tamaño, dirección o materialidad–. Su propósito es crear interés visual, jerarquía perceptiva y carácter distintivo (Arnheim, 2004).

En mobiliario puede expresarse, entre otros, mediante

- contraste de materiales (madera-metal, claro-oscuro, natural-sintético);
- contraste formal (orgánico-geométrico);
- contraste de acabados (mate-brillante).

Ritmo: se genera por repetición, alternancia o progresión de elementos. Produce continuidad visual y sensación de movimiento dentro del artefacto, en cuanto a su percepción espacial (Wong, 1993). En las sillas, puede observarse en la secuencia de listones, la repetición de perforaciones o las curvaturas estructurales del respaldo.

Arritmia: tomado del campo médico –en el que designa una alteración del ritmo cardíaco–, este concepto se aplica en diseño para describir composiciones donde los elementos visuales no siguen un patrón regular o predecible. Esto puede manifestarse en

- espaciados irregulares entre elementos;
- variaciones abruptas en tamaño, forma o color;
- distribución no simétrica o sin repetición clara.

Este recurso puede generar efectos como

- tensión visual: útil para captar la atención o romper la monotonía;
- sensación de caos o espontaneidad: en diseños expresivos o artísticos;
- énfasis en un punto focal: al contrastar con zonas de ritmo regular.

Simetría: crea equilibrio mediante la correspondencia entre partes opuestas o equivalentes, mientras que la asimetría introduce dinamismo, sorpresa o una sensación de movimiento controlado (Ching, 2007). En diseño de sillas, la simetría transmite estabilidad, solemnidad o clasicismo.

Asimetría: sugiere ligereza, innovación o informalidad.

Ruptura: consiste en interrumpir deliberadamente un patrón o estructura previsible. Permite romper la monotonía, introducir un punto focal o redefinir la identidad del artefacto (Lidwell, Holden y Butler, 2010). Es una estrategia habitual en el diseño contemporáneo y experimental, donde el objetivo es provocar nuevas lecturas formales y simbólicas.

Tensión: emerge de la relación entre fuerzas visuales o estructurales opuestas. Se percibe cuando las líneas o los volúmenes parecen empujar, equilibrarse o resistirse entre sí, generando con ello energía visual (Arnheim, 2004).

En mobiliario, la tensión puede aparecer, entre otras, en

- estructuras inclinadas o contrapuestas;
- ensambles que sugieren compresión o tracción;
- volúmenes en aparente desequilibrio.

Equilibrio dinámico: resulta de la coexistencia armónica entre fuerzas opuestas: estabilidad y movimiento, vacío y lleno, luz y sombra. No busca la quietud absoluta, sino la vitalidad estructurada de la forma (Kandinsky, 1996). Este principio está estrechamente relacionado con la morfogénesis del artefacto, pues el equilibrio entre orden y variación otorga vida visual y coherencia al diseño.

Dominar estas estrategias permite al diseñador no solo crear formas atractivas, sino también articular significados y experiencias. Cada

decisión compositiva refleja una intención cultural, funcional y estética (Lawson, 2005; Cross 2011). El boceto, en general, más allá del ámbito del mobiliario o de los artefactos, como espacio de exploración, se convierte así en el lugar donde estas estrategias se experimentan, se cuestionan y se refinan.

Exploración de herramientas de inteligencia artificial generativa a partir de la bocetación de sillas

La inteligencia artificial (IA) se ha convertido en una herramienta valiosa para potenciar los procesos de diseño, elaboración y fabricación de artefactos y productos, al permitir transformar bocetos preliminares en visualizaciones comprensibles que facilitan la comunicación de conceptos de diseño de manera efectiva, como en el caso que nos ocupa. Mediante algoritmos de generación de imágenes, es posible explorar rápidamente múltiples variaciones de materiales, acabados y configuraciones a partir de un mismo concepto, lo que acelera la toma de decisiones y reduce tiempos en las etapas tempranas del desarrollo. Sin embargo, es fundamental reconocer que el dibujo manual previo al uso de estas tecnologías no solo mantiene su vigencia,

sino que resulta indispensable como ejercicio de pensamiento creativo. El acto de bocetar a mano obliga al diseñador a reflexionar profundamente sobre proporciones, composición, funcionalidad, estética, entre otros, con lo que se establece una conexión directa

entre la mente y el papel que estructura las ideas antes de digitalizarlas. Esta práctica analógica constituye la base conceptual sólida sobre la cual la IA puede actuar como amplificador, no como sustituto, del proceso creativo humano. A modo de ejemplo, en la Figura 17 se muestra un boceto de taburete, y en las Figuras 18 y 19, una imagen con variaciones del mismo impulsado por la herramienta de IA llamada Nano Banana.

Nano Banana es una herramienta de IA desarrollada por Google, diseñada para generar y editar imágenes a partir de descripciones en lenguaje natural. Esta tecnología pertenece al ecosistema Gemini, concretamente al modelo Gemini 2.5 Flash Image, y se ha destacado por su capacidad para transformar ideas textuales en visualizaciones precisas, detalladas y creativas.

El boceto de la silla prototipo Anfy se subió a Nano Banana y allí se dieron instrucciones en forma de texto, directas y claras, sin ambigüedades. Esta instrucción o entrada se conoce comúnmente como *prompt*, y es el texto que se le da a

Figura 17. Boceto de silla prototipo Anfy



Fuente: Imagen de Maria Alejandra Pachón Ruiz.

una IA para que genere una respuesta. En la Figura 18 se recoge el primer *prompt*, simple y claro.

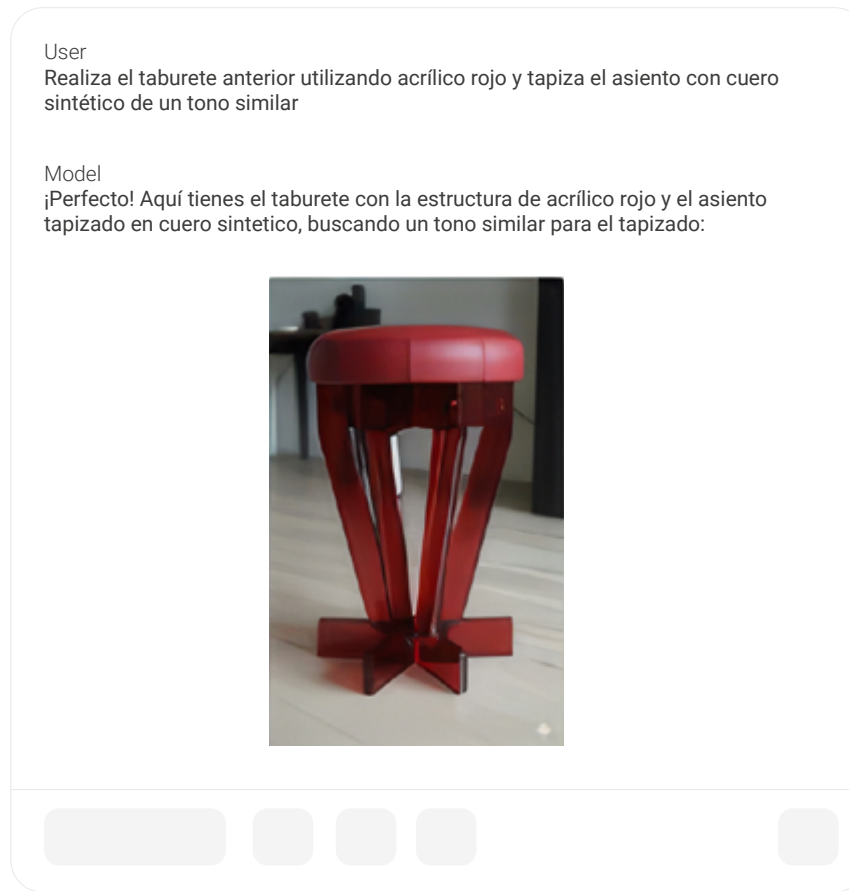
Figura 18. Captura de pantalla del primer *prompt* para la silla prototipo Anfy



Fuente: Imagen generada con Nano Banana por Maria Alejandra Pachón Ruiz de la silla prototipo Anfy.

El segundo *prompt* puede observarse en la Figura 19.

Figura 19. Captura de pantalla del segundo *prompt* para la silla prototipo Anfy

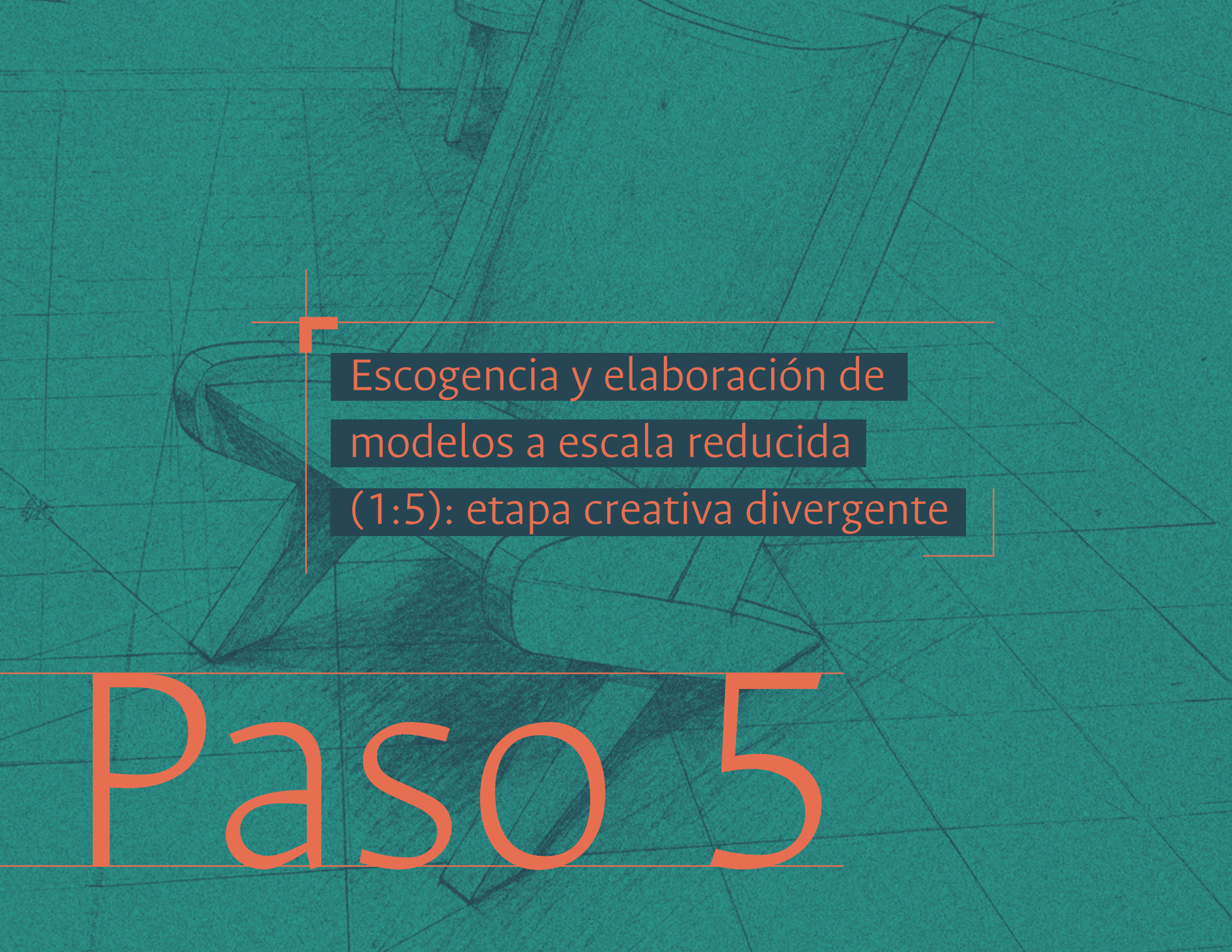


Fuente: Imagen generada con Nano Banana por Maria Alejandra Pachón Ruiz de la silla prototipo Anfy.

En las Figuras 18 y 19 se observan representaciones generadas por IA a partir del boceto inicial, utilizando el modelo multimodal Nano Banana. Este tipo de modelos se caracteriza por su capacidad de procesar diferentes tipos de datos de entrada –en este caso, texto e imagen–, lo que permite una interacción más rica y contextualizada con la herramienta.

Se debe señalar que para obtener resultados satisfactorios al trabajar con herramientas de IA generativa resulta fundamental dominar el arte del *prompting*, es decir, la capacidad de formular instrucciones precisas y estructuradas que guíen al sistema hacia los resultados deseados. Un *prompt* efectivo debe incluir elementos clave como la tarea a realizar y los requisitos específicos que definen el resultado esperado. En el caso presentado, el *prompt* empleado solicita la transformación del boceto en una imagen de un objeto tangible, y se especifican materiales concretos, acabados superficiales y contexto.

La calidad del *prompt* incide directamente en la precisión de los resultados generados: cuando está bien construido, no solo reduce iteraciones innecesarias, sino que garantiza que las imágenes producidas se alineen estrechamente con los objetivos de comunicación del proyecto, lo que facilita la evaluación de alternativas de diseño y la toma de decisiones informadas durante las fases divergentes del desarrollo del artefacto o del producto.



Escogencia y elaboración de
modelos a escala reducida
(1:5): etapa creativa divergente

Paso 5

Los modelos físicos a escala reducida constituyen una herramienta fundamental en la etapa creativa divergente del proceso de diseño. Su función principal es permitir la representación tridimensional de las propuestas, para facilitar la evaluación formal, espacial y constructiva de las ideas proyectadas. En esta fase, el objetivo no es validar una solución definitiva, sino explorar posibilidades, visualizar alternativas y detectar oportunidades de mejora.

Como señala Lawson (2005), el diseño es una actividad de pensamiento visual, por tanto, el diseño no se basa únicamente en procesos racionales o verbales, sino que involucra una forma de pensamiento que se manifiesta visualmente. Es, también, de pensamiento tridimensional. Los modelos permiten precisamente esa transición entre lo conceptual del dibujo -pensamiento visual,

plasmado en lo bidimensional- y lo tangible de la tercera dimensión. Por medio de la modelación, los diseñadores proyectistas transforman bocetos bidimensionales en artefactos tridimensionales que revelan estrategias de composición, relaciones volumétricas, posibles detalles constructivos, etc. que no siempre son evidentes en el plano gráfico, y en los que se piensa cuando se pasa de lo bidimensional a lo tridimensional.

Los materiales utilizados en esta etapa responden a criterios de facilidad de manipulación, bajo costo y capacidad de representación formal. Entre los más comunes se encuentran papel, cartón, cartón corrugado, cartón piedra, madera de balsa, láminas de contrachapado, espuma de poliuretano, poliestireno expandido, láminas de PMMA u otros polímeros como PVC, PP, PS, o incluso plastilina y arcilla. Las técnicas de trabajo varían desde el corte manual con bisturí hasta procesos asistidos como el corte láser.

El ensamblaje suele realizarse mediante diferentes tipos de unión, con adhesivos de contacto, colas basadas en acetato de polivinilo (PVA), disolventes orgánicos, pegantes instantáneos tipo cianacrilato o *hot glue*, entre otros, según el tipo de material y la forma de la unión requerida. Entre las herramientas más comunes se encuentran: cúter y bisturí de precisión, regla metálica, escuadra y compás, limas y lijas para ajustes finos, minibrocas y sierras de marquetería para cortes específicos.

La elaboración de modelos no solo cumple una función representativa, sino también cognitiva. Según Schön (1983), el diseñador

reflexiona en la acción, y el modelo, en consecuencia, se convierte en un medio para esa reflexión, con lo que permite la retroalimentación inmediata entre la idea y su materialización. Esta interacción favorece la toma de decisiones, la corrección de errores y la evolución del concepto de diseño.

Además, los modelos a escala reducida permiten anticipar aspectos del proceso de prototipado, como la selección de materiales definitivos, las técnicas de fabricación y los posibles desafíos estructurales. En este sentido, funcionan como una herramienta de prevalidación que orienta la etapa convergente del diseño.

El boceto, por su propia naturaleza proyectual –etapa previa a la que se trata aquí–, no pretende definir dimensiones exactas ni proporciones finales. Su función es explorar, mediante el trazo libre, las relaciones espaciales y las posibles configuraciones del artefacto. Por medio de los elementos básicos del lenguaje visual –punto, línea, plano, sólido y volumen–, el diseñador ensaya, realiza variaciones de las composiciones, gestos formales y soluciones estructurales sin la necesidad de resolver todavía el artefacto de manera definitiva. Algo que sí busca el prototipado.

Cuando estas intuiciones se trasladan al terreno físico, especialmente por medio de modelos tridimensionales, en este caso a escala 1:5, las ideas comienzan a adquirir cuerpo y precisión. Lo que antes era una intuición en el papel se transforma en materia y volumen: el modelo se convierte en el puente entre la imaginación y la realidad tangible. Esta instancia es fundamental para afinar proporciones,

evaluar la coherencia formal y prever las implicaciones técnicas y constructivas del diseño. En la Figura 20 se recogen varios modelos de diferentes propuestas de diseño.

En el ámbito académico, particularmente en el contexto de este proyecto de prototipado, se conforman equipos de trabajo integrados por cuatro o cinco estudiantes, quienes, como diseñadores en formación, desarrollan una extensa labor de bocetación. A partir de este ejercicio exploratorio, cada integrante selecciona la propuesta más prometedora, la cual materializa en un modelo a escala 1:5. Este modelo se presenta junto con otras tres o cuatro propuestas de sus compañeros y compañeras, también elaboradas a la misma escala y nivel de detalle.

Con el conjunto de modelos físicos, se lleva a cabo una dinámica de comparación y análisis, en la que se valoran aspectos formales, funcionales, ergonómicos, constructivos y conceptuales. Esta instancia, de carácter colaborativo y crítico, permite identificar las

Figura 20. *Varios modelos de propuestas de silla a escala 1:5*



alternativas más viables para su posterior desarrollo en escala real. Los criterios específicos de selección y los procedimientos de evaluación proyectual se abordan con mayor detalle en el paso 6 de este método, correspondiente a la evaluación, ponderación y selección de una propuesta para su desarrollo (también es importante revisar el paso 2, estado del arte y referentes).

En la Figura 21 se observa el primer modelo en cartón, a este nivel de representación, de la silla prototipo Vacoom.

Estos modelos, elaborados con un nivel de detalle y escala homogéneos, permiten realizar comparaciones significativas entre las propuestas de los distintos integrantes del grupo. Una vez presentados, se lleva a cabo una dinámica colaborativa de análisis crítico, en la que se valoran los aspectos antes mencionados. Este ejercicio fortalece tanto la mirada individual como el diálogo proyectual colectivo, lo que estimula la argumentación y la toma de decisiones fundamentadas.

Como indica Manzini (2015), el diseño es una actividad abierta, que se construye en diálogo con el contexto y los actores involucrados. En este sentido, los modelos físicos, como actores del proceso, facilitan ese diálogo tanto dentro del

equipo de trabajo como en la comunicación con usuarios, docentes y evaluadores.

Es importante señalar que en esta fase del proceso proyectual los modelos no se realizan a escala real (1:1) pues la propuesta final aún no ha sido definida; de hecho, elaborar modelos a escala real sería

prematureo e ineficiente, tanto en términos de recursos como de pertinencia metodológica. El diseño en este momento permanece abierto a la exploración, las ideas están sujetas a modificación y mejora, y la escala 1:5 ofrece un equilibrio adecuado entre nivel de detalle y economía de recursos.

Además, los modelos a escala reducida permiten anticipar aspectos del proceso de prototipado, como la selección de materiales posibles, las técnicas de elaboración y los posibles desafíos estructurales. En este sentido, funcionan como una herramienta de prevalidación que orienta la etapa convergente del diseño.

Los bocetos más prometedores se transforman en modelos tridimensionales a escala 1:5, lo que permite refinar las ideas iniciales, analizar proporciones, volúmenes y coherencia estética, para observar su primera materialización. Esta escala se elige por razones prácticas y dimensionales: la escala

Figura 21. Primer modelo en cartón a escala 1:5 de la silla prototipo Vacoom



1:10 suele ser demasiado pequeña para representar detalles esenciales, mientras que la escala 1:2 puede resultar excesiva en términos de costo, tiempo y viabilidad proyectual. La escala 1:5, en cambio, permite un nivel de detalle suficiente sin comprometer la eficiencia del proceso. Por ejemplo, si la altura del asiento en el modelo es de 80 mm, la dimensión real será de 400 mm (80 × 5), lo que demuestra la conveniencia de esta escala en términos procesuales.

En esta etapa, ni la calidad del modelo ni el material ni la técnica de elaboración son lo más relevante. Lo verdaderamente importante es el aspecto que el diseñador está explorando: una estrategia compositiva, un gesto estético, una proporción formal, una relación volumétrica o una solución estructural, entre otros.

Es recomendable realizar una primera selección entre las propuestas representadas en los bocetos, priorizando aquellas que integren de forma coherente el concepto de diseño en relación con la triada usuario/actividad/contexto. De esta preselección, se sugiere escoger cinco propuestas para su desarrollo en modelos físicos a escala 1:5. Una vez elaborados, es útil disponerlos físicamente en conjunto para generar contraste, diferenciación y valoración comparativa (ver Figura 22, donde se incluye el modelo de la silla prototipo XX, con tres propuestas más).

En la Figura 23, se observan modelos a escala 1:5 con buen nivel de detalle, correspondientes a las propuestas de las sillas Hojaldre y Delta (futura silla Playita). Estos modelos más elaborados pueden pertenecer a una subetapa posterior dentro del proceso divergente,

en la que las propuestas se enriquecen mediante iteraciones sucesivas, adición de detalles y maduración proyectual.

Figura 22. Grupo de modelos a escala 1:5, la silla XX aparece en el extremo derecho



Figura 23. Modelos a escala 1:5 de las sillas Hojaldre y Playita (nombre proyectual Delta)



Como se indicó, se sugiere reservar la escala 1:1 para una etapa avanzada, cuando se haya seleccionado una única propuesta para su desarrollo final. En ese momento, el modelo a escala real permitirá realizar pruebas ergonómicas, ajustes estructurales y validaciones funcionales antes de construir el prototipo definitivo (ver Figura 24, modelo en cartón de la silla XX, seleccionado a partir de cuatro propuestas desarrolladas a escala 1:5).

Figura 24. Modelo en cartón a escala 1:1 de la silla XX

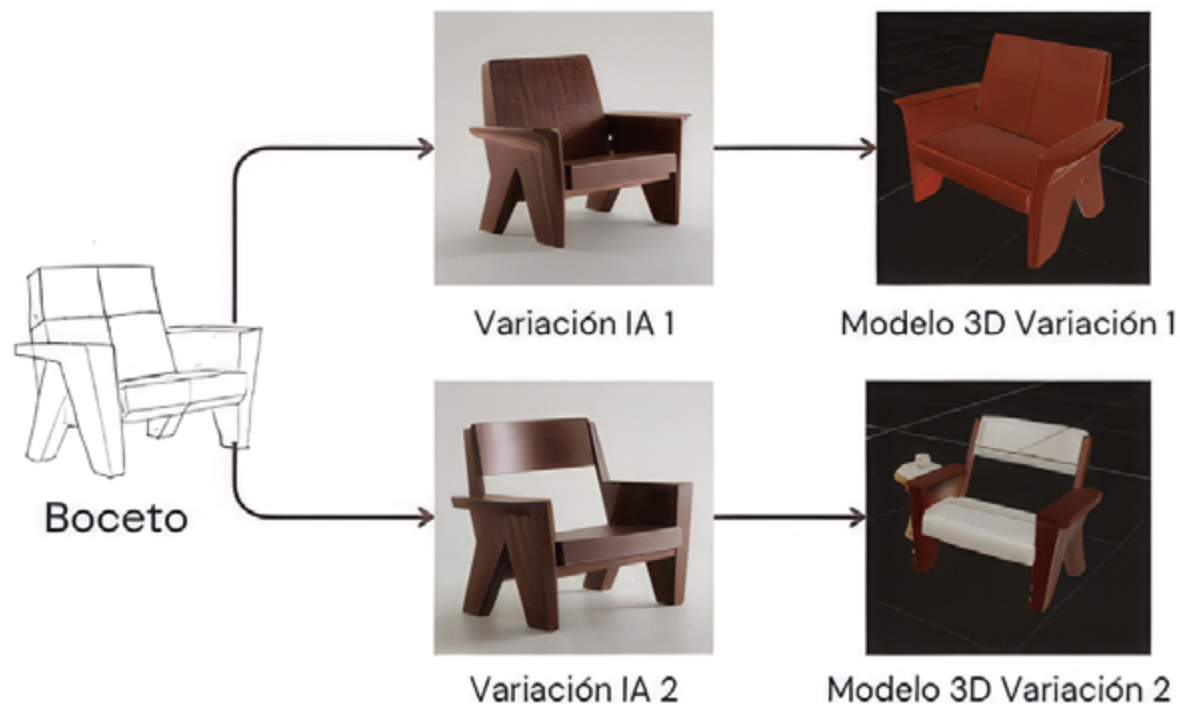


Exploración de herramientas de inteligencia artificial generativa para la obtención de modelos de sillas a escala

La IA generativa también permite dar el salto de la representación bidimensional a la visualización tridimensional, para transformar bocetos planos en modelos volumétricos que revelan la espacialidad y la complejidad formal del diseño. Esta capacidad de generar vistas 3D a partir de dibujos 2D resulta especialmente valiosa para comprender la tridimensionalidad del concepto desde múltiples ángulos, identificar posibles conflictos formales o funcionales y evaluar la viabilidad constructiva antes de invertir recursos en la fabricación física. Al facilitar esta transición dimensional, la IA se convierte en un puente eficiente entre la idea inicial y el prototipo tangible, y permite que el equipo de desarrollo visualice con mayor precisión cómo el producto final ocupará el espacio, cómo interactuarán sus componentes y cómo será percibido por el usuario, con lo que se optimizan los procesos de desarrollo y prototipado.

La imagen de la Figura 25 presenta el proceso para generar resultados tridimensionales, a partir del boceto manual o analógico, por medio de Vizcom AI y Tripo AI. Aunque existen múltiples herramientas de IA generativa disponibles en el mercado, para este caso se seleccionaron estas dos plataformas con funciones complementarias, donde el *prompting* resulta fundamental para guiar los resultados en cada etapa del flujo de trabajo.

Figura 25. Proceso con IA de boceto-rénder-modelo 3D



Fuente: Imagen de la estudiante Maria Alejandra Pachón Ruiz.

Vizcom AI se dedica a la renderización fotorrealista de bocetos, los cuales interpreta y transforma en representaciones visuales con mayor definición. Mediante *prompts* que especifican materiales y acabados, la plataforma procesó el boceto de la silla y generó dos interpretaciones: la primera variación (IA 1) es fiel a la propuesta original al respetar su configuración estructural; la segunda (IA 2) ofrece una lectura alternativa donde la línea del dibujo en el respaldo de la silla se interpreta como un vacío, lo que abre nuevas

posibilidades formales. Esta capacidad interpretativa enriquece la exploración de diseño al revelar variantes que emergen durante la traducción digital.

Una vez obtenidas las imágenes renderizadas, el siguiente paso consistió en comprender su dimensionalidad espacial. Para ello se empleó Tripo AI, una herramienta que transforma imágenes bidimensionales en modelos tridimensionales evaluables por rotación.

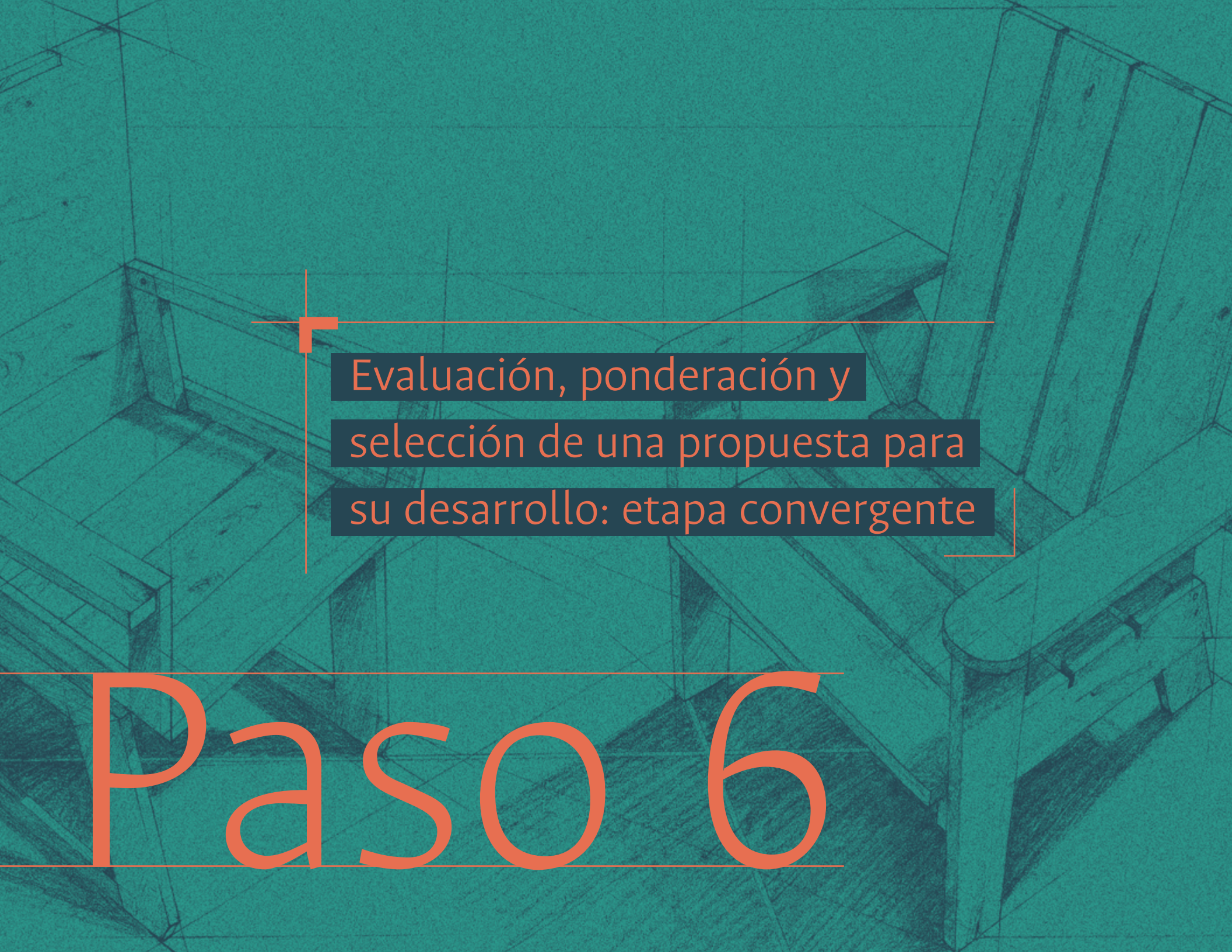
Al aplicar la herramienta sobre ambas variaciones generadas previamente en Vizcom, por medio de órdenes en *prompts* donde se especificaron las características del modelo 3D, se logró visualizar las propuestas (Modelo 3D, variación 1 y 2) desde múltiples ángulos, lo que facilitó la evaluación de composición: proporciones, relaciones volumétricas, coherencia formal del objeto, entre otras. Por ahora estos resultados no tienen carácter de archivo digital editable, son solo representaciones.

En resumen, los modelos físicos a escala –y en particular la escala 1:5 en mobiliario– son recursos que cumplen una doble función: representativa, al mostrar, estrategias de composición, proporciones, formas, detalles y un amplio etcétera; y cognitiva, al activar procesos de reflexión, aprendizaje y comunicación colectiva.

Para quien desee profundizar conceptualmente en los modelos, los prototipos y la experimentación en diseño en la proyectación, se comparten aquí algunas referencias. Los modelos constituyen, en palabras de Cross (2006), un modo propio de conocimiento proyectual que permite avanzar en la complejidad del diseño de manera progresiva y fundamentada. Desde la perspectiva de Ingold (2013) y Kolb (1984), el modelo se entiende como un espacio de aprendizaje práctico y experiencial; mientras que Kelley (2001), Plattner (2010) y Manzini (1993, 2015) lo reivindican como un recurso para la innovación, la exploración colectiva y la mediación cultural en los procesos de diseño.


Figura 26. Diseño y elaboración de un prototipo, parte 1



The background is a teal-colored architectural sketch of a room's interior, showing a grid of lines and perspective lines. Overlaid on this are three dark teal rectangular boxes containing orange text. A thin orange line runs horizontally across the top of the text boxes, and another runs horizontally below the 'Paso 6' text. A vertical orange line intersects the top horizontal line on the left side, and another vertical line intersects the bottom horizontal line on the right side, forming a frame around the text.

Evaluación, ponderación y
selección de una propuesta para
su desarrollo: etapa convergente

Paso 6



Si bien en el análisis de referentes (paso 2) se establecieron criterios similares a los que ahora se abordan –estéticos, estructurales, ergonómicos, entre otros– con fines exploratorios y de aprendizaje, en esta etapa convergente dichos criterios adquieren un carácter decisivo, pues permiten ponderar comparativamente las propuestas de diseño generadas en el proyecto, para seleccionar una única alternativa viable de desarrollo.

Tras la labor de bocetación y la posterior selección y elaboración de modelos a escala 1:5, se tiene una visión más clara de las propuestas de diseño en cuanto a sus valores estéticos, innovadores y propositivos, así como de las posibilidades de elaboración, que serán claves para la toma de decisiones. En este punto se deben establecer varios valores de ponderación de manera multidimensional, tales como: estética, coherencia formal del diseño, factor humano,

funcionalidad, aproximación estructural, ergonomía, eficiencia en el aprovechamiento del material, ética ambiental, tiempo de elaboración, costos, contemporaneidad, innovación, entre otros.

La evaluación debe hacerse con criterios o dimensiones de evaluación definidos, claros y bien comprendidos por el proyectista o el equipo de diseño; además, debe estar enfocada en el usuario objetivo (ver Tabla 4).

Las propuestas de diseño, aunque únicas, denotan también factores multidimensionales y multirreferenciales, por tanto son del tipo *unitas multiplex*⁵, es decir, la unidad de la propuesta corre paralela con la diversidad de factores o dimensiones involucrados.

Es decisión del diseñador o del equipo de diseño priorizar los aspectos que considere más importantes, teniendo en cuenta que algunos de ellos constituyen parte fundamental dentro de la disciplina del diseño y que necesariamente deben reflejarse en la evaluación de las propuestas, como la ergonomía y la relación con el ser humano y su entorno. La evaluación en el diseño es parte del proceso en sí, por tanto, se requiere construir una herramienta de evaluación de las propuestas. El propósito es poder ponderarlas y escoger una única propuesta.

.....
⁵ *Unitas multiplex* es un concepto del pensamiento complejo que se refiere a la idea de que la unidad y la diversidad no son opuestas, sino que están interrelacionadas de manera compleja. Según Solana Ruiz (1995), Morin propone que no podemos reducir el todo a las partes ni las partes al todo, sino que debemos concebir ambas de manera complementaria y antagonista.

Para llevar a cabo dicha tarea, los proyectistas deberán consultar o crear sus propios métodos de evaluación, que pueden estar basados en tablas, esquemas, gráficas, etc. Se puede escoger algo tan sencillo como una tabla de ponderación con los factores o dimensiones más importantes para evaluar, tales como los mostrados en la Tabla 5. A este instrumento se le pueden agregar o quitar criterios según convenga al proyecto.

Tabla 5. Algunos criterios de evaluación de las propuestas de diseño

N.º de criterio	Criterio de evaluación
1	Adecuación al usuario propuesto
2	Funcionalidad con respecto a la actividad propuesta
3	Conveniencia con el contexto de uso planeado
4	Evaluación formal estética
5	Valor estético de equilibrio
6	Valor estético de armonía
7	Factor de novedad o innovación
8	Fortaleza estructural
9	Estabilidad estructural
10	Número de partes presentes
11	Tiempo estimado de elaboración
12	Facilidad de elaboración
13	Cantidad de materiales necesarios
14	Número de procesos requeridos
15	Disponibilidad de los procesos requeridos

Se puede utilizar una escala de calificación de 1 a 10. Pero antes de evaluar hay que definir el significado de cada puntuación. Por ejemplo, un tiempo de elaboración rápido (con respecto al tiempo disponible del diseñador o del equipo) tendrá una calificación ideal de 10 y un tiempo largo de elaboración tendrá una calificación muy inferior. Mientras que otro criterio, por ejemplo con respecto al número de procesos de elaboración requeridos para elaborar una propuesta, otorgará una evaluación baja para una propuesta que requiera numerosos procesos, comparada con otra propuesta que solo requiera dos tipos de procesos, que tendría una calificación alta.

La cantidad de factores de evaluación depende de lo que decida el equipo de diseño. Si se tiene una propuesta perfecta, hipotéticamente hablando, con quince factores, que cumple a cabalidad con todas las dimensiones evaluadas de 1 a 10, la sumatoria de puntos dará 150. También se puede tomar la decisión de dar un peso diferente a algunas de las variables, de tal forma que en la evaluación se refleje su importancia. Si se hace esto, se sugiere dar más importancia a los factores que tengan que ver con el factor humano y el factor estructural; pero lo que se resuelva, como todo en un proyecto de diseño, tiene que ver con los criterios de decisión y las determinaciones que se toman durante su desarrollo.

La Tabla 6, que contiene una evaluación numérica de propuestas de diseño basada en criterios -y donde se incluyen cinco propuestas reales, además de una propuesta ideal (conceptual y no existente)-, realizada a partir de quince dimensiones, puede resultar útil. Cada

propuesta recibe una puntuación individual por criterio, en escala de 1 a 10, cuya sumatoria permite establecer un valor total de evaluación de cada una. En principio, se considera como seleccionada la propuesta que obtenga la mayor puntuación acumulada, pues eso refleja su grado de cumplimiento frente a los parámetros establecidos. Mas pueden existir criterios de selección subjetivos como el factor asombro, derivado de la posibilidad de una reacción de deslumbramiento frente a una propuesta.

Tabla 6. Evaluación numérica de propuestas de diseño basada en criterios

N.º de criterio	Criterio de evaluación	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4	Propuesta 5	Propuesta ideal
1	Adecuación al usuario propuesto	7	8	10	5	8	10
2	Funcionalidad con respecto a la actividad propuesta	7	8	4	5	8	10
3	Conveniencia con el contexto de uso planeado	5	8	4	5	8	10
4	Evaluación formal estética	8	7	8	5	8	10
5	Valor estético de equilibrio	7	7	8	5	8	10
6	Valor estético de armonía	8	7	8	5	8	10
7	Factor de novedad o innovación	8	6	8	5	8	10
8	Fortaleza estructural	5	8	4	5	8	10
9	Estabilidad estructural	6	8	4	5	8	10
10	Número de partes presentes	6	9	4	5	8	10
11	Tiempo estimado de elaboración	5	9	5	5	8	10
12	Facilidad de elaboración	7	9	4	5	8	10
13	Cantidad de materiales necesarios	8	8	9	5	8	10
14	Número de procesos requeridos	6	8	9	5	8	10
15	Disponibilidad de los procesos requeridos	4	8	4	5	8	10
Suma total		97	118	93	75	120	150

Se pueden utilizar otras herramientas de evaluación como la rueda de LiDS⁶ (semejante a un gráfico de telaraña), que es otra forma de valorar propuestas de diseño. Por medio de ella se puede asignar un valor numérico dentro de una escala de 1 a 10 a siete criterios de ponderación o dimensiones con respecto al producto top del mercado o un diseño ideal hipotético. Con esos valores se genera una figura dentro de una circunferencia: el producto ideal correspondería a un heptágono perfecto. Se debe elaborar una rueda de LiDS por cada propuesta, lo que permite ver claramente los campos en los que cada una tiene debilidades. Las figuras resultantes se superponen y la rueda que tenga una ponderación más alta en la mayor cantidad de campos deberá ser la propuesta elegida (ver Figura 27).

En tanto que existen un gran número de métodos que los diseñadores proyectistas pueden utilizar para evaluar las propuestas y llevar a cabo la toma de decisiones, lo más importante es que cada determinación esté justificada dentro del proyecto, sea consciente y esté asociada con una intención de diseño.

Aquí deben converger las propuestas de diseño para seleccionar una, que en principio no podrá ser cambiada, por rigurosidad proyectual. Sí podrá transformarse, pero en esencia deberá ser la misma de ahora en adelante, hasta finalizar el proyecto.

.....
⁶ La rueda de LiDS (*Life cycle Design Strategy*) era originalmente una herramienta para evaluar el impacto ambiental relativo de diferentes productos, pero ahora se ha extendido su uso y mecánica como herramienta de evaluación de propuestas de diseño.

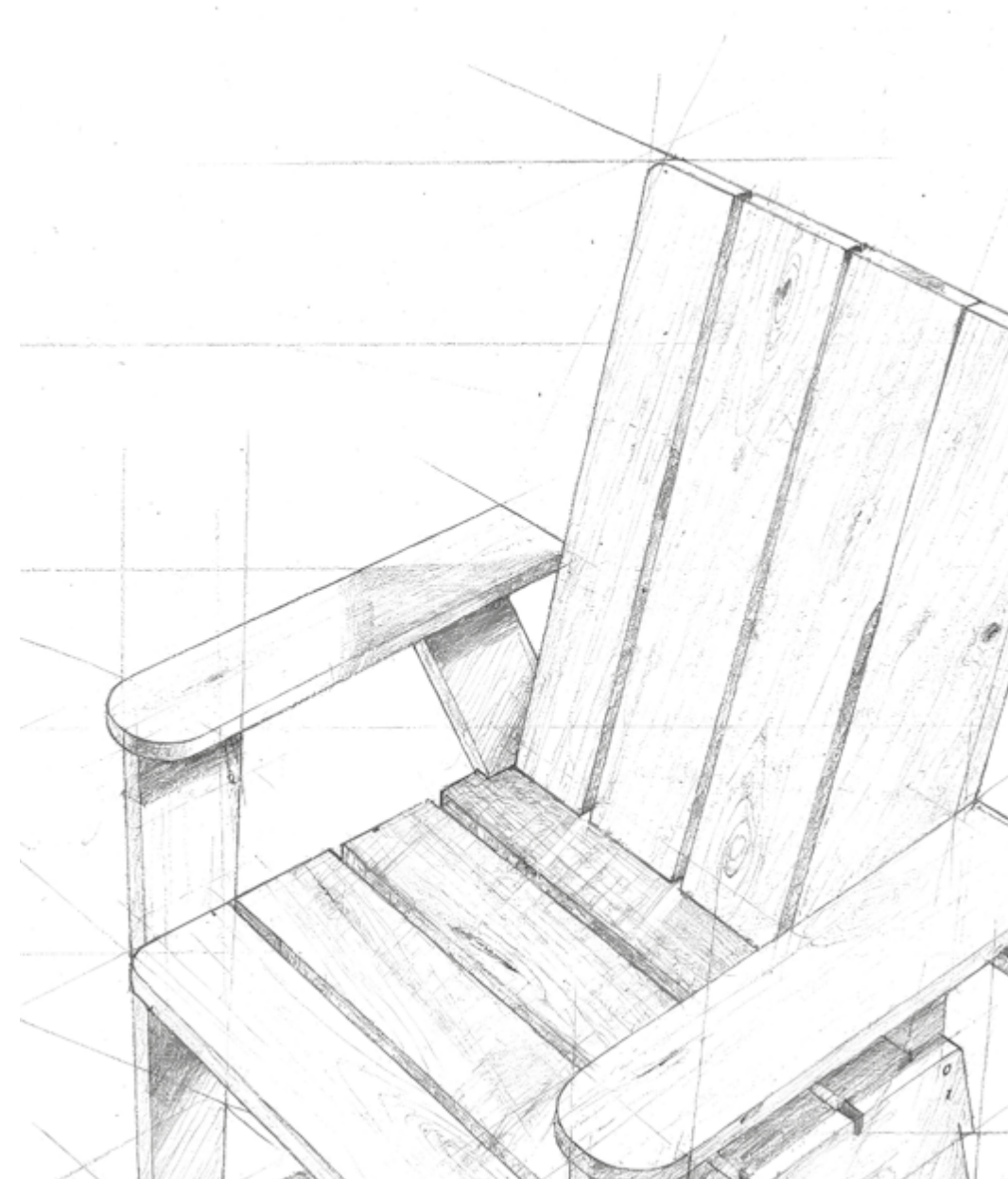
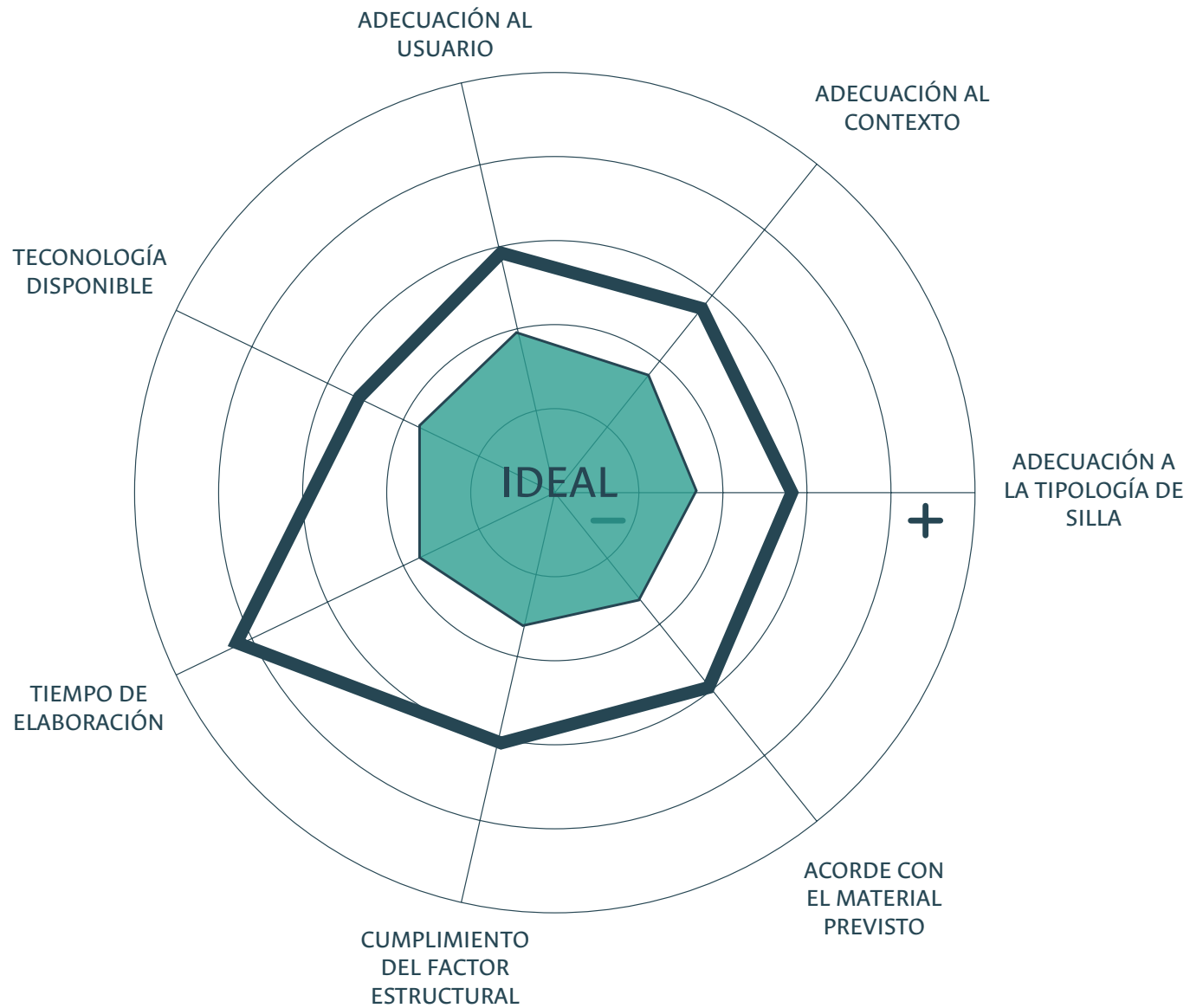
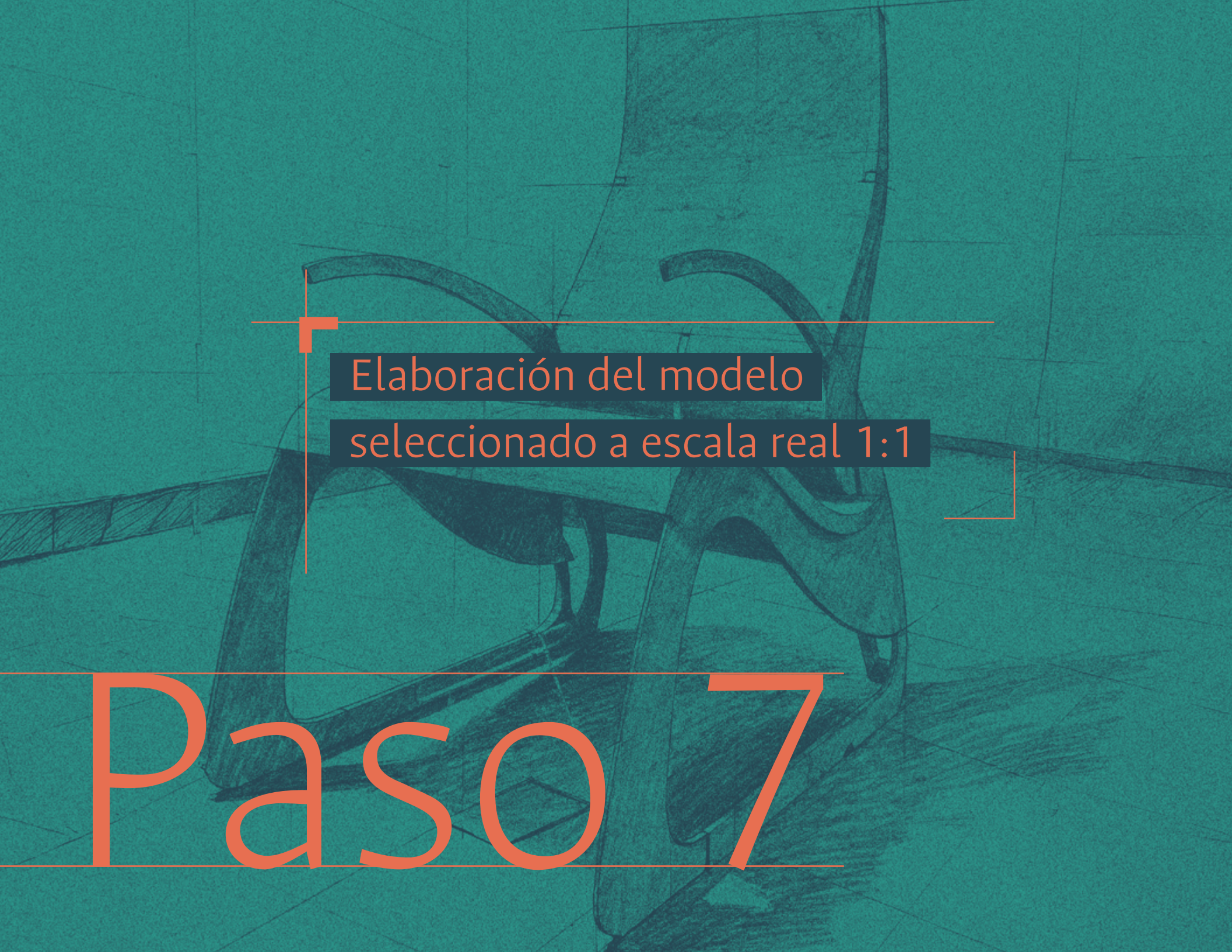


Figura 27. Ejemplo de una rueda de LiDS





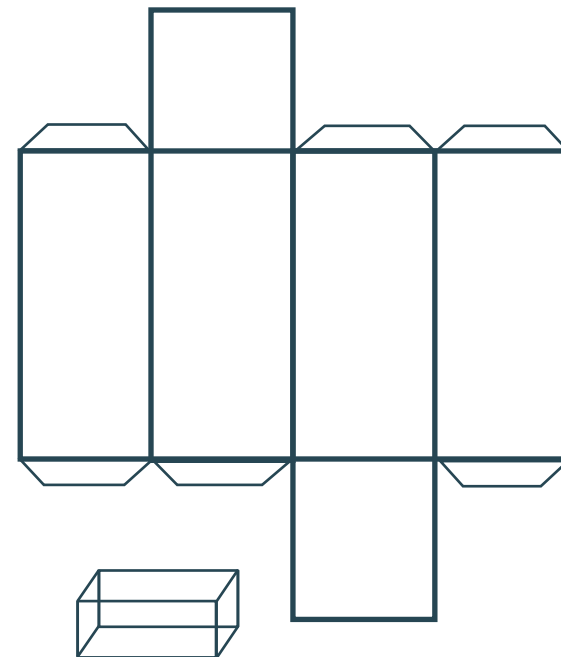
Elaboración del modelo
seleccionado a escala real 1:1

Paso 7

Esta etapa se inicia con una única propuesta de diseño para ser desarrollada, la cual deberá irse definiendo y redefiniendo de manera natural en la medida que progresa y muta hacia el prototipo. Con el fin de visualizar la propuesta de diseño en proporción y escala real, los diseñadores proyectistas deben elaborar un modelo a escala 1:1, proceso imprescindible en el cual se utilizan comúnmente láminas de cartón corrugado de diferentes grosores, cartón en general, cintas adhesivas de papel o de polímero y adhesivos basados en acetato de polivinilo (PVA) o disolventes orgánicos, pegantes calientes o adhesivos instantáneos tipo cianacrilato; en general, medios y materiales que permitan elaborar un modelo a esta escala en materiales blandos y, por tanto, modificables.

Las partes del modelo a escala se cortan con bisturí o tijeras, a partir de la propuesta plasmada previamente en forma de bocetos o modelos a escala reducida. Los bocetos previos y el modelo a escala 1:5 se convierten a una escala de 1:1 por un factor de multiplicación de cinco, que implica redefinir muchas veces dimensiones, proporciones y ángulos no contemplados antes. Si se parte de una lámina de cartón corrugado, el desarrollo geométrico de cada parte se debe dibujar en el cartón y posteriormente cortarlo, unirlo y ensamblarlo a otra parte de la propuesta. Una pata de forma prismática, por ejemplo, implica el corte de su desarrollo (ver Figura 28).

Figura 28. Desarrollo geométrico plano para la obtención de una pata prismática rectangular



La aplicación de este concepto: partes prismáticas en modelos, con desarrollos más complicados e intersecciones con mayor grado de dificultad, se puede observar en la Figura 29 con la silla prototipo Alta, donde vale la pena notar el acercamiento a la definición de ensambles y formas de unión.

Figura 29. Modelo a escala 1:1 de la silla prototipo Alta, hecho con cartón en desarrollos prismáticos



A modo de contraste y para poner en valor la importancia en el proyecto de prototipado de la elaboración de los modelos a escala 1:1, se muestra la misma pieza de mobiliario ya hecha en madera en la Figura 30.

Figura 30. Silla prototipo Alta



El modelo a escala 1:1 permite, además de apreciar las cualidades formales de la silla, estudiar el comportamiento estructural de la propuesta. Con él se logra, así mismo, identificar las partes constitutivas del artefacto y la cantidad de ellas; realizar un primer dimensionamiento de cada parte de la propuesta en desarrollo, tanto de su área como del espesor deseado en la madera, por tanto, su

volumetría; determinar posibles uniones de las partes y preseleccionar el material y hacer una primera aproximación a la cantidad necesaria de este, sus patrones de corte y su utilización general, así como a los procesos posibles de elaboración. Esta preselección del material permite estimar la cantidad necesaria para la elaboración de la silla, ya sea en forma de tableros, tablas o listones.

La Tabla 7 evidencia la utilidad multidimensional de los modelos a escala real.

El modelo 1:1 permite, adicionalmente, un acercamiento al factor humano, que se estudiará posteriormente, relacionado con las medidas y los ángulos presentes en la propuesta, tales como profundidad y altura de asiento, dos medidas importantes en el dimensionamiento de una silla; también ancho de asiento y ancho de espaldar, ángulo de asiento y ángulo del espaldar, y aun altura del apoyapiés, si está presente.

Por tanto, en conjunto, en medio del arsenal metodológico del proyectista, este modelo se erige como una poderosa herramienta y medio de desarrollo del prototipo.

Es frecuente que después de la elaboración de este modelo la propuesta sea modificada y los diseñadores proyectistas deban enfrentarse a nuevos problemas estructurales, formales, proporcionales, de ensamble, de elaboración, etc. Se deben, pues, tomar nuevas decisiones que modifican la propuesta. También es normal que se

Tabla 7. Aportes al proyecto de la elaboración de un modelo a escala 1:1

Dimensiones observadas en el modelo a escala 1:1	Aporte
Pruebas de ergonomía y confort	Permite evaluar en parte la ergonomía y la comodidad de la silla. Los usuarios pueden simular sentarse en la silla y proporcionar retroalimentación directa sobre su experiencia.
Evaluación de composición formal, proporciones, estética y detalles	Posibilita mostrar con más precisión cómo se verán y se sentirán la composición, las proporciones y los detalles en el prototipo.
Pruebas de funcionalidad y características	Brinda la oportunidad de probar funciones de la silla y características como la estabilidad, la rigidez, la resistencia y cualquier otra característica ajustable, en condiciones simuladas de uso.
Materiales, ruta de elaboración y partes constitutivas	Permite experimentar con los materiales, las técnicas y las tecnologías de elaboración del prototipo y del futuro producto. También identificar plenamente las partes del prototipo, descubrir las faltantes o no consideradas y aproximarse al diseño de detalles.
Presentación, retroalimentación y aprobación	Hace posible presentar el diseño en desarrollo al equipo de diseño, clientes, usuarios y partes interesadas. Así como comprender y evaluar la propuesta de diseño y facilitar el proceso de aprobación.
Identificación de problemas	Da la oportunidad de identificar y solucionar problemas que pudieron no ser evidentes en los modelos a escala 1:5, como opciones de ensamble o unión, u otros no contemplados en las demás dimensiones.

realicen varias versiones del modelo a escala 1:1, a medida que la propuesta de diseño madura y evoluciona. Pero lo más habitual es trabajar sobre un único modelo de cartón, transformándolo, modificándolo, gracias a la flexibilidad derivada del material, que puede ser cortado y unido de varias formas (ver Figura 31, donde se muestran cinco diferentes modelos a escala en cartón para igual número de artefactos en desarrollo).

Figura 31. Elaboración de modelos a escala 1:1



La Figura 32 muestra un modelo a escala 1:1, cortado y ensamblado a partir de cartón corrugado con manejo volumétrico de las partes constitutivas. A partir del modelo a escala real se debe realizar un listado preliminar de partes, que implica identificarlas, asignarles nombre y establecer la cantidad de ellas.

Figura 32. Modelo a escala 1:1 con manejo volumétrico de las partes constitutivas



Otro ejemplo se observa en la Figura 33, con el modelo en cartón a escala 1:1 del proyecto silla prototipo La Petite.


Figura 33. Modelo en cartón a escala 1:1 del proyecto silla prototipo La Petite



Para terminar, en la Figura 34, se puede observar el primer modelo en cartón corrugado y el resultado final con acabado superficial de la silla prototipo Neobiliaes, después del desarrollo proyectual, en donde se constata la importancia en el proceso de la realización del modelo a escala 1:1.

Figura 34. Primer modelo en cartón corrugado escala 1:1 y resultado final de la silla prototipo Neobiliaes





Aproximación al estudio
ergonómico y análisis
antropométrico

Paso 8

Los temas abordados en esta sección –el análisis antropométrico y la ergonomía– poseen una profundidad técnica e investigativa considerable. En particular, el estudio de la relación entre las dimensiones corporales y el diseño de mobiliario constituye un campo complejo, que exige tanto rigor metodológico como sensibilidad proyectual. Este apartado no pretende ofrecer una exploración exhaustiva de este tema; dada su complejidad y necesidad de meticulosidad, propone más bien una aproximación inicial que incentive su estudio en el contexto del diseño de piezas de mobiliario. Se trata, en efecto, de una contribución modesta, cuya única ambición es aportar al desarrollo metodológico del diseño de piezas de mobiliario y recordar la importancia de integrar criterios ergonómicos y antropométricos desde las primeras fases del diseño.

Para el diseño de todo artefacto, silla o pieza de mobiliario es necesario conocer la antropometría del grupo humano que lo usará,

además de realizar un estudio de las condiciones de adaptación del diseño a las características físicas y psicológicas del usuario. Así pues, el diseño deberá tener en cuenta las dimensiones y el tamaño del cuerpo humano y el contexto de uso, pues ellos se asocian al confort que experimenta quien utiliza el artefacto. En consecuencia, esta etapa debe fundarse en los datos antropométricos hallados y seleccionados, de acuerdo con la consulta de tablas antropométricas de las poblaciones.

Aunque una silla antropométricamente correcta no garantiza comodidad, parece haber un común acuerdo en que el diseño tiene que basarse en datos antropométricos seleccionados con acierto (Panero y Zelnik, 1979). Sus dimensiones dependen directamente de la antropometría de los usuarios. Así mismo, una silla debe responder a criterios antropomórficos: posee espaldas, como el cuerpo humano espalda; tiene patas, como el cuerpo humano piernas, tiene profundidad de asiento, como el cuerpo muslos y nalgas, etc.

En suma, la silla se fundamenta tanto en la forma como en las medidas del cuerpo del ser humano. Este paralelismo entre artefacto y cuerpo humano no solo orienta el diseño funcional, sino que también permite evaluar la adecuación ergonómica en contextos reales de uso. «La natural complejidad que encierra el confort de quien toma asiento, y el hecho que esta acción es dinámica, que no estática, ha inducido en ocasiones a reclamar una orientación antropométrica del asunto» (Panero y Zelnik, 1979, p. 56).

Dimensiones para la permanencia y el confort percibido

La permanencia prolongada sobre una silla en una misma postura durante actividades específicas –como la lectura, el trabajo en computador o la conversación– suele asociarse con una experiencia de confort. Esta condición indica que el usuario no percibe la necesidad de reajustar su posición de forma constante, lo cual sugiere una distribución adecuada de presiones, un soporte lumbar eficiente y una alineación ergonómica correcta.

Un número elevado de cambios posturales en un corto período de tiempo puede interpretarse como una respuesta del cuerpo ante incomodidades acumuladas. Estos ajustes, generalmente inconscientes, buscan aliviar tensiones musculares, redistribuir cargas o compensar deficiencias en el soporte ofrecido por la silla.

Para dimensionar o proporcionar una silla deben tenerse en cuenta las siguientes dimensiones y ángulos:

- Altura del asiento
- Ángulo del asiento (ángulo de inclinación)
- Ancho del asiento
- Ancho total de la silla
- Profundidad del asiento
- Profundidad total
- Altura apoyo lumbar del espaldar o respaldo

- Altura total de la silla
- Ángulo del espaldar o respaldo
- Ancho del espaldar o respaldo
- Altura del apoyabrazos
- Altura del descansapiés

Si bien es cierto que algunas tipologías de silla pueden tener presentes todas las dimensiones enumeradas, habrá otras que solo necesiten definir algunas de ellas. Sin embargo, existen cuatro dimensiones y dos ángulos vitales para cualquier proyecto:

- Altura del asiento
- Ancho del asiento
- Profundidad del asiento
- Altura del apoyo lumbar
- Ángulo del asiento
- Ángulo del espaldar o respaldo

Como trabajo introductorio básico sobre este tema, se incluye aquí parte de lo desarrollado por Julius Panero y Martin Zelnik en su libro fundacional *Las dimensiones humanas en los espacios interiores* (1979), en particular en el cuarto capítulo, sobre la antropometría del asiento.

Las dimensiones de una silla deben estar en armonía y concordancia con las medidas del usuario, a fin de garantizar condiciones óptimas de comodidad y ergonomía. Se trata de medidas resultantes del diseño del mueble –como la altura o la profundidad del asiento–,

Figura 35. Dimensiones de las sillas

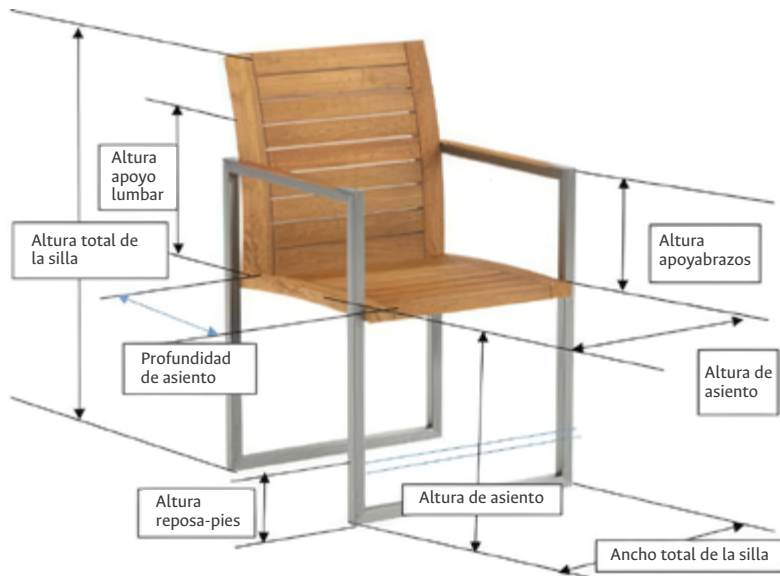
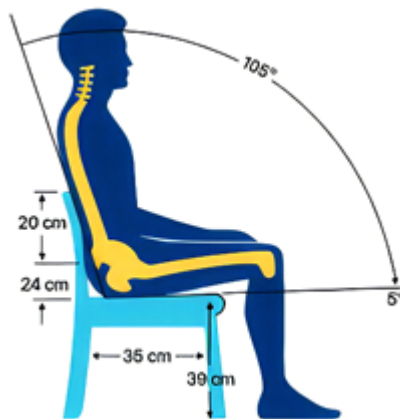


Figura 36. Ángulo del asiento y ángulo del espaldar



definidas específicamente para alojar la dimensión humana en función de los rangos antropométricos pertinentes.

Altura del asiento

Corresponde a la distancia vertical entre el piso y la superficie superior del asiento, medida en su borde anterior. Esta dimensión debe estar en armonía con la altura de la fosa poplíteica del usuario (depresión romboide situada en la parte posterior de la rodilla), para permitir una postura neutra y estable.

- **Criterio ergonómico:** para garantizar comodidad y evitar compresión vascular o tensión muscular, la altura del asiento debe ser ligeramente menor que la distancia del piso a la fosa poplíteica del usuario sentado. Esto permite que los pies reposen completamente en el suelo y que las rodillas mantengan un ángulo cercano a los 90° con la fosa poplíteica.

Ancho del asiento

Corresponde a la dimensión transversal útil del asiento, medida entre los límites internos del área de apoyo. Esta medida debe ser suficiente para que el usuario coloque cómodamente las caderas, sin generar compresión lateral ni interferencias con apoyabrazos o bordes acunados.

- Criterio antropométrico mínimo: en el caso de sillas diseñadas para usuarios adultos de ambos géneros, el ancho de asiento debe ser mayor que el ancho de caderas de una mujer adulta promedio, ya que este valor representa el mínimo antropométrico crítico en términos de confort lateral. Esto es especialmente relevante cuando:
 - el asiento tiene apoyabrazos fijos;
 - el diseño presenta formas acunadas o envolventes que limitan el espacio útil.
- Recomendaciones técnicas
 - Se sugiere trabajar con el percentil 95 femenino para definir el ancho mínimo del asiento, para garantizar inclusión y comodidad.
 - En sillas sin brazos o sin brazos ajustables, puede considerarse un rango más flexible, pero siempre respetando el espacio funcional.
- Criterio ergonómico: para garantizar comodidad y evitar interferencias vasculares o posturales, se recomienda que:
 - el usuario pueda sentarse con la nalga lo más atrás posible, con la espalda completamente apoyada en el respaldo;
 - quede un espacio libre de dos a cuatro centímetros entre el borde anterior del asiento y la parte posterior de las rodillas (fosa poplítea);
 - el asiento tenga una inclinación mínima de 0° respecto a la horizontal, para evitar deslizamientos hacia adelante.
- Aplicación antropométrica
 - La profundidad debe ajustarse al percentil cinco de la distancia nalga-fosa poplítea para evitar que el asiento sea demasiado profundo.
 - En sillas regulables, se puede considerar un rango de ajuste o el uso de cojines modulares.

Profundidad del asiento

Corresponde a la distancia horizontal entre el borde anterior del asiento y el respaldo, medida sobre el plano útil de apoyo. Esta dimensión debe estar en concordancia con la distancia nalga-fosa poplítea del usuario en posición sedente, con el fin de permitir una postura estable y sin compresión en la parte posterior de las rodillas.

Condiciones materiales

El asiento debe evitar materiales o acabados deslizantes, como superficies excesivamente lisas o pulidas. Se recomienda el uso de texturas adherentes o tapizados con fricción controlada para mantener la estabilidad postural. En las sillas de madera deben evitarse acabados muy lisos que estén en contacto con la persona sedente. En la Figura 37 puede verse un prototipo en madera maciza, con asiento y espaldar tapizados en tela con abullonado en poliuretano.

Figura 37. Silla prototipo SENA, desarrollada por el Centro Tecnológico de Mobiliario (Itagüí)



Evaluador postural: herramienta para la simulación dimensional en diseño de mobiliario

El evaluador postural es una herramienta de fácil construcción que permite estudiar, simular y ajustar las medidas y ángulos de un proyecto de mobiliario, especialmente sillas y mesas. Su uso facilita la verificación ergonómica de las proporciones proyectadas en relación con la postura del usuario y la actividad prevista. El Laboratorio de Ergonomía y Factores Humanos de la Facultad de Artes de la Universidad Nacional de Colombia posee uno de estos evaluadores en

sus instalaciones. Este laboratorio fue establecido por el profesor Manuel Ricardo Ruiz, quien hasta el momento de edición de este libro se desempeña como director.

El material base del evaluador es una estructura metálica en acero. Sus componentes principales son:

- Dos mallas metálicas posicionadas de forma paralela, separadas por una distancia fija de 1,5 m aproximadamente (estas mallas tienen cavidades dispuestas para posicionar barras).
- Barras transversales que atraviesan la estructura y se insertan en las separaciones de la malla, lo que permite configurar alturas, profundidades y ángulos.
- Superficies duras o lonas para simular áreas o zonas de apoyo de la silla.

En la Figura 38 se puede observar el evaluador postural para referencia visual y constructiva.

En cuanto a la aplicación proyectual, el evaluador:

- Permite a los diseñadores recrear ángulos posturales reales y simular la posición del usuario en relación con el mobiliario.
- Facilita la modificación de medidas clave (altura de asiento, profundidad, inclinación de respaldo, etc.) en función de criterios antropométricos y ergonómicos.
- Sirve como herramienta de verificación previa a la elaboración de prototipos, lo que permite optimizar el ajuste dimensional y funcional.

Así mismo, entre sus ventajas metodológicas se cuenta las siguientes:

- Favorece el aprendizaje activo en procesos de formación en diseño industrial.

- Permite una evaluación colaborativa entre proyectistas, equipo de diseño, docentes y usuarios simulados.
- Integra criterios de ergonomía aplicada, antropometría y diseño centrado en el usuario.

Figura 38. Evaluador postural



Estudio ergonómico y antropometría

La aplicación de criterios antropométricos y el correspondiente estudio ergonómico varían según tres dimensiones interdependientes y multidimensionales a las que ya se ha hecho alusión: usuario/actividad/contexto de uso. Es la actividad específica la que determina la postura corporal requerida, la cual debe garantizar

un respaldo adecuado para la espalda, un soporte eficiente para las piernas y una correcta alineación lumbar. Esta triada permite orientar el diseño hacia soluciones que respondan a las exigencias funcionales y morfológicas del usuario.

En este contexto, la propuesta de diseño se somete a validación mediante herramientas como el evaluador de postura, cuyos resultados tienen aplicación directa en el proceso proyectual. Los factores antropométricos y biomecánicos no son negociables ni susceptibles de modificación: constituyen parámetros estrictos y absolutos que inciden directamente en el confort del usuario y, por ende, en la calidad del mobiliario diseñado.

También es fundamental estudiar el tiempo durante el cual el usuario puede permanecer en condiciones de confort mientras desarrolla la actividad para la cual se diseña la silla. Como se señaló, el concepto de confort en el uso de este tipo de artefacto está estrechamente vinculado con la capacidad del usuario para mantenerse sentado sin experimentar incomodidad o dolor. Esta condición incide directamente en la eficiencia con que realiza sus tareas, al permitirle sostener la actividad sin interrupciones ni molestias, con lo que mejora su experiencia de uso.

De forma general, la altura de la fosa poplítea guarda correspondencia directa con la altura del asiento, mientras que la distancia nalga-fosa poplítea se relaciona estrechamente con la profundidad del asiento, ya que determina el límite funcional de apoyo sin generar compresión en la parte posterior de las piernas. Así mismo,

el ancho del asiento debe estar en concordancia con el ancho de caderas considerado, para garantizar una superficie de apoyo que respete la amplitud corporal sin provocar restricciones laterales ni interferencias posturales.

La altura del asiento constituye uno de los parámetros fundamentales en el diseño de sillas. Una altura excesiva puede generar compresión en los muslos y afectar el riego sanguíneo del usuario, mientras que una altura demasiado baja induce una extensión de las piernas hacia adelante, lo que compromete la estabilidad. Esta última condición también provoca un desplazamiento del cuerpo hacia el borde del asiento, que conlleva una pérdida de contacto con el respaldo y, por ende, la ausencia de soporte lumbar.

En términos generales, una persona alta puede adaptarse con mayor facilidad a una silla baja, mientras que una persona de baja estatura experimenta mayor incomodidad en una silla alta. Por ello, en procesos de diseño y dimensionamiento, resulta más pertinente priorizar la altura de asiento en función de los percentiles correspondientes a usuarios de menor estatura, para garantizar así condiciones mínimas de confort para una mayor proporción de la población.

La altura de la fosa poplítea –medida vertical desde el suelo hasta la cara inferior del muslo, justo detrás de la rodilla– constituye, desde un enfoque antropométrico, un parámetro fundamental para definir la altura adecuada del asiento. Esta medida debe extraerse de las tablas antropométricas correspondientes, ya que permite establecer

una relación directa entre las dimensiones corporales del usuario y las características funcionales del mobiliario, con el objetivo de asegurar condiciones mínimas de confort y evitar compresiones indeseadas en la zona poplíteica.

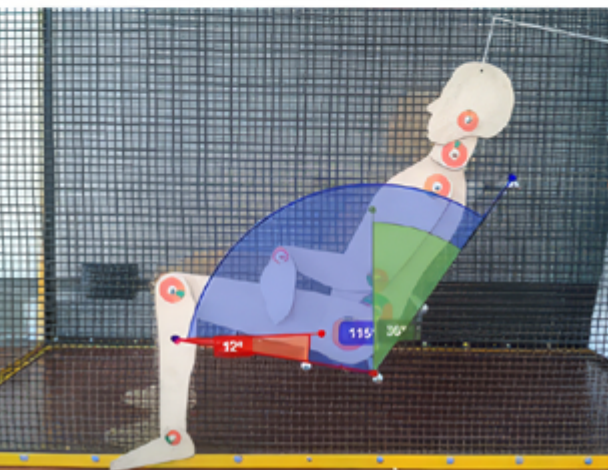
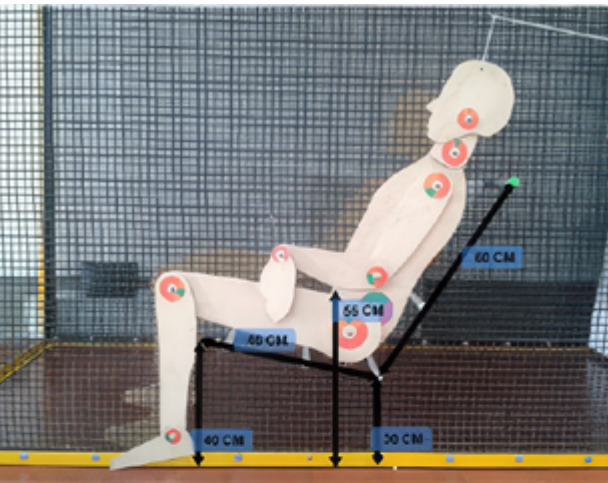
El ancho de una silla debe corresponder al mayor ancho de caderas registrado en la población usuaria, especialmente cuando el diseño del artefacto genera un espacio de confinamiento –como ocurre en sillas con apoyabrazos y patas altas–. En estos casos, es fundamental considerar los percentiles superiores de dicha medida, que suelen estar representados por usuarios del sexo femenino. El diseño debe permitir al sedente entrar y salir libremente, sin generar sensación de encajonamiento ni restricciones laterales, de modo que se garantice la accesibilidad, el confort y la libertad de movimiento.

Para el desarrollo del estudio y análisis que requiere este paso, es posible utilizar un evaluador postural junto con diversos recursos como personas reales, maniquíes o *dummies* a escala 1:1, una cámara digital para el registro fotográfico, pantallas de computador, *software* de uso general (puede ser tan básico como Paint) y programas especializados.

En la Figura 38 se observa una persona sentada en un evaluador de postura corporal, lo que permite representar y definir parámetros clave como el ángulo de respaldo, el ángulo de asiento, la altura y la profundidad del asiento, así como la altura del respaldo, todos ellos fundamentales para la propuesta de una silla de descanso.

Así mismo, en la Figura 39 se evidencia el uso de un *dummie*, herramientas digitales y un evaluador postural como parte del proceso de diseño de una silla. Esta configuración permite visualizar los procedimientos de medición y ajuste tanto de las dimensiones propuestas como de los ángulos del asiento y el respaldo. Dichas acciones resultan fundamentales para validar la configuración ergonómica del artefacto, y su adecuación al confort y a los parámetros antropométricos del usuario.

Figura 39. Uso de herramientas digitales junto con un evaluador postural en el diseño de una silla



El evaluador postural puede tomar un papel protagónico en el momento de iterar las propuestas de diseño, por su facilidad de cambiar dimensiones, proporciones, ángulos, apoyos, como ocurrió en el desarrollo antropométrico y ergonómico de la silla prototipo Aura (ver Figura 40).

Dimensiones de diseño

Cuando nos referimos a las medidas de los muebles, o sillas en nuestro caso, que se

Figura 40. Uso de evaluador postural en el desarrollo antropométrico y ergonómico de la silla prototipo Áurea o Aura



diseñan a partir de la información antropométrica, el término más preciso y utilizado es dimensiones ergonómicas o, simplemente, dimensiones de diseño (basadas en antropometría).

A continuación, a modo de ejemplos, se presentan tres tipos de tipología de sillas: tipo auxiliar de sala u oficina, silla de trabajo secretarial y silla de tipo poltrona.

Silla del tipo auxiliar de sala u oficina

Las dimensiones de diseño necesarias para el diseño de sillas del tipo auxiliar de sala u oficina se presentan en la Tabla 8.

La dimensión de la altura de apoyo lumbar (medida desde el asiento comprimido hasta el punto de mayor prominencia de la curva lumbar) es crucial para el diseño ergonómico de sillas. El diseño de la silla tipo auxiliar de sala u oficina debería tener un apoyo lumbar cuya posición vertical se encuentre idealmente en un rango ajustable entre el percentil 5⁷ (P5) de las mujeres y el percentil 95⁸ (P95) de los hombres (aproximadamente entre 16,5 cm y 23,9 cm).

En la Tabla 9 se presentan los rangos angulares fundamentales para el diseño ergonómico de sillas, en este caso del tipo auxiliar: el ángulo del asiento y el ángulo del espaldar. El ángulo del asiento, comprendido entre 0° y 5°, permite una postura relativamente

Tabla 8. Dimensiones de diseño necesarias para el diseño de sillas tipo auxiliar de sala u oficina

Dimensión de diseño	Hombres (P5)	Hombres (P95)	Mujeres (P5)	Mujeres (P95)
Altura de asiento	39.4 cm	49 cm	35.6 cm	44.5 cm
Profundidad del asiento	43.9 cm	54.9 cm	43.2 cm	53.3 cm
Altura descansabrazos	18.8 cm	29.5 cm	18 cm	27.9 cm
Altura total hombro	53.3 cm	63.5 cm	45.7 cm	63.5 cm
Altura sentado normal	80.3 cm	93 cm	75.2 cm	88.1 cm
Anchura codo codo	34.8 cm	50.5 cm	31.2 cm	49 cm
Ancho de asiento	31 cm	40.4 cm	31.2 cm	43.4 cm
Ancho de espaldar	43.2 cm	48.3 cm	33 cm	48.3 cm
Altura de apoyo lumbar	17.5 cm	23.9 cm	16.5 cm	21.6 cm

⁷ Representa el valor más pequeño (aplica a la persona más pequeña, generalmente para determinar el mínimo de ajuste, como la altura más baja del asiento).

⁸ Representa el valor más grande (aplica a la persona más grande, generalmente para determinar el máximo de ajuste, como la profundidad o el ancho del asiento).

Tabla 9. Medidas de ángulos para sillas auxiliares de sala u oficina

Dimensión de diseño	Mínimo	Máximo
Ángulo del asiento (inclinación)	0°	5°
Ángulo del espaldar (reclinación)	95°	110°

horizontal o con una ligera inclinación hacia atrás. Esta configuración contribuye a evitar presiones en la parte posterior de las rodillas y favorece una postura activa durante el trabajo. Por su parte, el ángulo del espaldar, que oscila entre 95° y 110°, ofrece dos condiciones complementarias: una inclinación de 95° proporciona una posición casi vertical, ideal para tareas que requieren concen-

tración y soporte postural firme; mientras que una inclinación de 110° reduce la presión sobre los discos lumbares, lo que propicia una postura más relajada y adecuada para pausas breves o momentos de descanso.

Silla secretarial

En el proceso de dimensionamiento y definición de un artefacto de uso, desde la perspectiva del factor humano, resulta pertinente recurrir a referentes reales que hayan demostrado su eficacia en contextos laborales concretos. Por ejemplo, al diseñar una silla para uso secretarial, es recomendable medir directamente un artefacto existente –utilizado como artefacto fuente– con el fin de

extraer directrices dimensionales que puedan contrastarse con parámetros normativos establecidos, como los consignados en la Tabla 10, correspondiente a las medidas para silla de trabajo secretarial.

Además, resulta recomendable complementar el análisis técnico con entrevistas breves a usuarios reales del artefacto, con el propósito de registrar información cualitativa sobre la experiencia de uso, las percepciones ergonómicas y la interacción cotidiana entre el cuerpo y el objeto en situación de uso.

Tabla 10. Medidas para silla tipo secretarial

Medidas	Mínimo	Máximo
Altura del asiento	35.6 cm	50.8 cm
Profundidad del asiento	39.4 cm	40.6 cm
Ancho del asiento	43.2 cm	48.3 cm
Apoyo lumbar (altura desde el asiento)	15.2 cm	22.9 cm
Ángulo del asiento	0°	5°
Ángulo del espaldar	95°	105°

Silla tipo poltrona

La silla tipo poltrona representa una tipología de mobiliario diseñado específicamente para proporcionar comodidad y relajación, en la que se prioriza el bienestar físico y emocional del usuario. Su configuración formal y dimensional responde a criterios de uso prolongado en contextos de descanso, lectura o contemplación.

En cuanto a su enfoque proyectual:

- Se privilegia una postura semirreclinada, con ángulos amplios en respaldo y asiento.
- Los materiales suelen ser acolchados, envolventes y térmicamente confortables. Las sillas de madera pueden estar recubiertas de acolchados o recibir elementos acolchados para lograr este enfoque.
- La estructura favorece una experiencia sensorial positiva, vinculada al descanso y la introspección.

Hay que tener en cuenta que para esta silla, como para cualquier otra, las sensaciones de comodidad y relajación son inherentemente subjetivas, y pueden variar según la morfología corporal del usuario, sus preferencias posturales, el contexto de uso (hogar, sala de espera, espacio público) y factores culturales y simbólicos asociados al mobiliario.

Al momento de diseñar una poltrona hay que tener también en cuenta estas implicaciones:

- Es necesario considerar rangos antropométricos amplios, especialmente en profundidad y ancho de asiento.
- Se recomienda integrar criterios de adaptabilidad, como apoyabrazos envolventes, respaldo inclinado y superficies suaves. En las sillas de madera que carezcan de acolchados es difícil ajustar esta recomendación.

- La evaluación del confort debe incluir instrumentos subjetivos (escalas de percepción) y observación postural.

En la Tabla 11 se encuentran las medidas encontradas para una silla del tipo poltrona.

Tabla 11. Medidas para silla tipo poltrona

Medida	Dimensión
Altura de asiento	35.5 cm
Profundidad de asiento	38 cm
Ancho del asiento	43.2 cm
Apoyo lumbar	15.2 a 22.9 cm
Ángulo del asiento	15°
Ángulo del espaldar	105°

¿Cómo probar una silla?

La forma correcta de probar un modelo escala 1:1, un prototipo de silla o una silla, con respecto a la posición postural del sedente, es la siguiente: las nalgas deben colocarse lo más atrás posible y hay que apoyar la espalda contra el espaldar. Los pies deben estar apoyados sobre el piso, no deben quedar colgando del asiento. La fosa poplítea no puede estar en contacto con el borde delantero del asiento. Se sugiere realizar pruebas de uso prolongado (mínimo 30 minutos) para observar ajustes posturales espontáneos.

Los siguientes tipos de silla no resultan recomendables cuando el propósito es obtener un artefacto que favorezca la higiene postural:

Silla corta: es aquella cuyo diseño presenta una profundidad de asiento reducida, es decir, una distancia limitada entre el borde anterior del asiento y el respaldo. Esta característica puede afectar directamente la ergonomía postural, pues no permite un apoyo completo de los muslos y, en casos extremos, tampoco de las nalgas.

Silla larga: el diseño de este tipo de silla presenta una profundidad de asiento excesiva, es decir, una distancia entre el borde anterior del asiento y el respaldo que supera la medida antropométrica, definida desde la nalga hasta la fosa poplítea (parte posterior de la rodilla). Esta condición puede comprometer la ergonomía postural del usuario al generar contacto directo entre el borde del asiento y la fosa poplítea, dificultad para apoyar completamente la espalda en el espaldar y la posibilidad de fatiga muscular en muslos y zona lumbar en usos prolongados.

Silla alta: es aquella cuyo diseño presenta una altura de asiento superior a la medida antropométrica, definida desde la fosa poplítea (parte posterior de la rodilla) hasta el piso. Esta condición puede generar incomodidad postural y riesgos ergonómicos, especialmente si no se acompaña de un reposapiés o ajuste adecuado.

Silla despedidora: en el argot técnico y académico del diseño es aquella que no está diseñada para sostener adecuadamente la posición sedente o semisedente del usuario, ya sea por errores en la ergonomía y antropometría, en la estructura o en sus proporciones, ángulos, materiales o ensamblajes. En términos coloquiales, «le da la despedida» al usuario tan pronto se sienta, lo que implica

inestabilidad estructural y desajuste ergonómico. Es decir, la postura resultante es incómoda, insegura o insostenible, con falta de apoyo postural. El respaldo, el asiento o los apoyabrazos no cumplen su función y generan deslizamientos o pérdida de contacto, con altura, profundidad y distancias inadecuadas que impiden apoyar los pies, la espalda o los muslos correctamente. También pueden faltar a otros factores del diseño que la hagan inadecuada para mantener la posición durante un tiempo prolongado.

El modelo a escala 1:1 como propuesta que se transforma

Una vez completada la etapa antropométrica y ergonómica, el prototipo a escala 1:1 debe reflejar en dimensiones y ángulos el trabajo realizado desde la perspectiva del factor humano. Ese modelo, preferiblemente construido en material blando y fácilmente modificable (cartón, espuma u otro material de fácil corte y unión), sirve para ajustar la geometría y la experiencia de uso antes de pasar a soluciones rígidas y definitivas.

Con las condiciones ergonómicas estudiadas –pendientes de validación final mediante prototipo en materiales reales y uso– se procede a garantizar la estabilidad estructural del diseño. Esto implica iterar sobre el modelo blando (o construir uno nuevo) de forma que conserve los avances ergonómicos e incorpore soluciones que aseguren rigidez, estabilidad frente a vuelcos (verificar el centro de

gravedad y la base de sustentación) y resistencia mecánica a cargas puntuales (peso del usuario y desplazamientos).

Es una buena práctica combinar el trabajo sobre el modelo en cartón con un estudio estructural simultáneo que permita evaluar comportamientos frente a cargas estáticas y dinámicas, evaluar transiciones constructivas entre elementos (asiento-patas, respaldo-asiento) y diseñar refuerzos en puntos de mayor esfuerzo. Se debe aprovechar esta etapa para proponer y ensayar uniones y refuerzos (ensambles, travesaños, refuerzos internos).

El modelo a escala 1:1 permite así mismo explorar la composición formal del objeto diseñado. A partir de la unidad formal es posible identificar, si es el caso, una silueta dominante (vertical, reclinada, compacta, flotante), así como establecer relaciones de peso visual entre respaldo, asiento y patas. También puede definirse un punto focal o un criterio de ruptura que articule la lectura compositiva. Estas decisiones dependen directamente de la composición formal planteada en el concepto de diseño. Para ampliar esta reflexión, se recomienda revisar el subapartado «Algunas estrategias de composición», en el paso 4.

Hechos el estudio y el análisis, es también tiempo de definir proporciones básicas formales, es decir: relación asiento-respaldo, altura total/altura de asiento, profundidad/asiento, ancho/asiento y su correspondencia con el apoyo al piso. En este punto es clave garantizar que las relaciones respeten medidas antropométricas relevantes (fosa poplítea, ancho de caderas, apoyo lumbar).

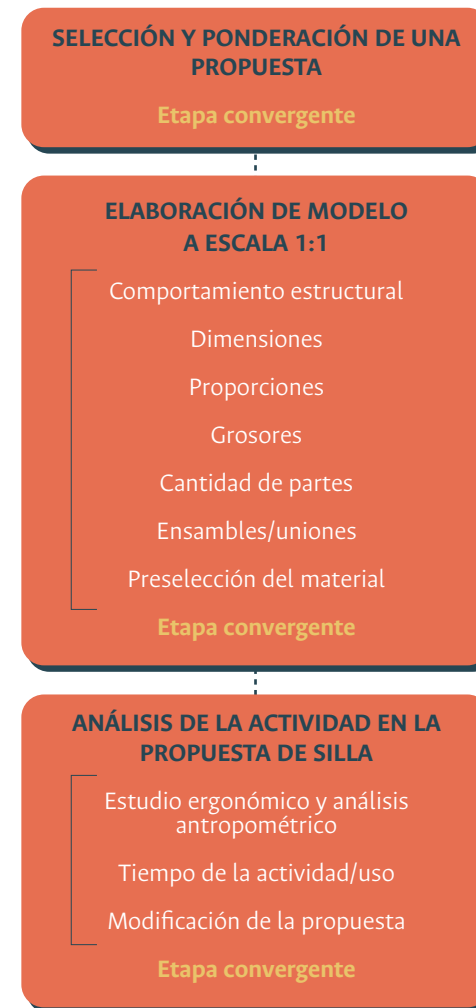
Igualmente, es necesario decidir la articulación entre partes (si existe una continuidad visual, como líneas que fluyen), generar contraste o no (con materiales o detalles formales que lo detonen) o proponer modulación (elementos repetidos). A esto se suma la opción de introducir ritmo mediante repetición y variación (listones, costillas, nervios), estudiar proporciones moduladas para unidades repetibles y disposición en serie, y buscar, o no, controlar la lectura de líneas para guiar la mirada.


Tampoco se puede olvidar considerar la escala relativa entre componentes para lograr equilibrio y legibilidad según la intención de diseño y el concepto, asegurar (o no, según se decida) transiciones suaves en planos de apoyo y evitar aristas en contacto con el cuerpo, y validar la legibilidad formal con vistas de planta, alzado y sección en el modelo 1:1.

Además, resulta muy importante la trazabilidad del proceso, por eso es deseable mantener registro de cambios del modelo a escala 1:1 (versión, fecha, motivo y responsable), registrar las modificaciones mediante fotografías, croquis con anotaciones y una breve ficha de cambio, y conservar evidencias que justifiquen decisiones ergonómicas, estructurales y formales.

Para terminar, en la Figura 41 se resume la segunda parte del proyecto de diseño y elaboración del prototipo de silla en madera, que reúne los pasos 6 a 8.

Figura 41. Diseño y elaboración de un prototipo, parte 2





Selección de materiales
y tecnología

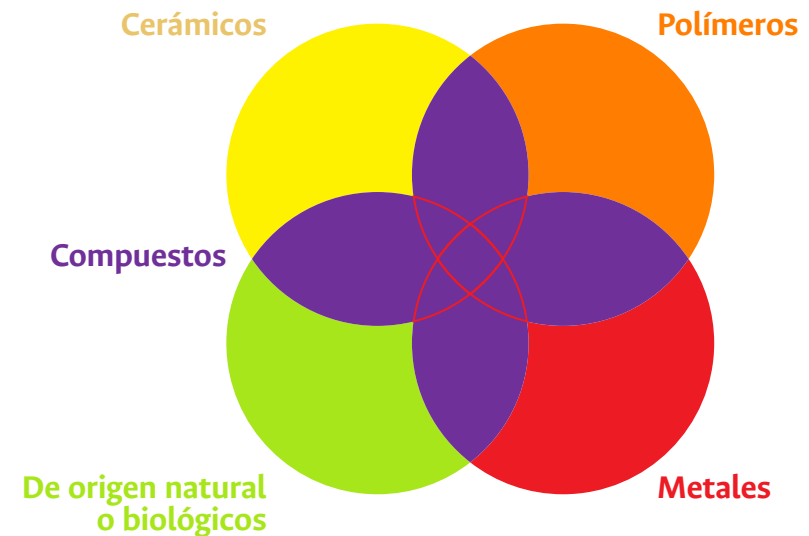
Paso 9

La primera consideración al seleccionar un material es su adecuación al diseño propuesto, es decir, que sea apropiado o esté en consonancia con él, según la triada usuario/actividad/contexto. Contamos con una extensa variedad de materiales entre los cuales elegir el adecuado para nuestro proyecto. Estos, para su estudio, se agrupan en cinco familias: metales, polímeros, cerámicos, compuestos y biológicos o de origen natural, tal como se muestra en la Figura 42. En el caso específico de nuestro objeto de estudio, existen numerosas maderas que podrían ser utilizadas para el diseño de la pieza de mobiliario y la elaboración del prototipo. Para seleccionarla es fundamental evaluar cuidadosamente los tipos, pues la madera elegida debe cumplir con los requisitos funcionales, estéticos y de manufactura necesarios para el proyecto.

Una silla tumbona diseñada para usar en climas cálidos con alta irradiancia, por ejemplo, no debe fabricarse en metal debido a su

alta conductividad térmica. Elegirlo en ese caso sería muestra de una selección de material inadecuada, pues no cumple con la triada usuario/actividad/contexto.

Figura 42. Familias de materiales



La actividad y el contexto de uso son cruciales para la selección de materiales. Un alto nivel de irradiancia y una temperatura ambiente elevada hacen que los metales, debido a su alta conductividad térmica, se calienten significativamente, lo que podría causar quemaduras en la piel del usuario. Por lo tanto, es fundamental elegir materiales que no se calienten excesivamente en estas condiciones para garantizar la seguridad y el confort del usuario.

La selección del material tiene dos niveles íntimamente relacionados. Primero, se selecciona el material más apropiado para la

triada usuario/actividad/contexto. Luego, se elige el material que pueda ser transformado en artefacto producto con criterios de elaboración o fabricación. Es posible que un material cumpla con los primeros criterios, pero resulte impracticable como prototipo o producto final para los segundos. En ese caso, habrá que trabajar para encontrar el material que se adecúe a todos los criterios.

La selección de materiales para una aplicación determinada, como un artefacto de uso o una de sus partes, se realiza en función de sus propiedades, contempladas en el marco del proyecto. En términos generales, estas propiedades pueden clasificarse en dos categorías principales: propiedades mecánicas y propiedades físicas. Las propiedades mecánicas, aplicación de cargas o fuerzas, incluyen: la resistencia, la dureza, la rigidez, la elasticidad y la tenacidad, mientras que las propiedades físicas, más diversas, abarcan, entre otras: la densidad, la conductividad térmica, la conductividad eléctrica, el comportamiento ante la humedad, etc.

Las propiedades mecánicas hacen referencia a las fuerzas mecánicas, es decir, a la capacidad de soportar o experimentar cargas como: tracción, compresión, flexión, dureza, impacto (ver Tabla 12). Muchas veces están relacionadas con la resistencia del material a este tipo de cargas. Esta resistencia está cuantificada en una escala y unidades adecuadas; sobre esto se pueden consultar libros de materiales como el del Groover (2007). Varias de estas propiedades están relacionadas, por otro lado, con la manufactura o los procesos de elaboración del material estudiado. Por ejemplo, la dureza de un

Tabla 12. Algunas propiedades mecánicas de las maderas

Propiedad mecánica	Descripción
Dureza	Capacidad de la madera para resistir la penetración o rayado superficial.
Resistencia a la compresión	Capacidad para soportar fuerzas que tienden a reducir su volumen sin colapsar.
Elasticidad	Habilidad para deformarse bajo carga y recuperar su forma original al cesar la fuerza.
Plasticidad	Capacidad para deformarse permanentemente sin fracturarse (la madera natural no tiene buena resistencia a la tracción, comparada con la madera industrial).
Resistencia a la tracción	Capacidad para soportar fuerzas que tienden a estirla o alargarla.
Isotropía	Comportamiento uniforme en todas las direcciones (poco común en madera natural y presente en los tableros de madera industrial).
Anisotropía	Comportamiento variable según la dirección de las fibras o vetas (muy común en madera natural).
Comportamiento acústico	Capacidad para transmitir, absorber o reflejar ondas sonoras.
Comportamiento vibratorio	Respuesta frente a vibraciones; importante en instrumentos musicales y estructuras.

material se relaciona con la facilidad de remoción que tenga; así, un material con alta dureza será un material más difícil de mecanizar que otro con baja dureza. Sin embargo, un material duro, más rígido que otro, puede resistir mayores cargas. Por tanto, la selección de

un material debe hacerse con criterios bien definidos tanto de uso como de elaboración, lo que hace que sea una tarea complicada.

Las propiedades físicas, por su parte, son más amplias de estudiar por su cantidad y complejidad. Entre ellas se cuentan: la densidad, la conductividad térmica, la conductividad eléctrica, el color, el olor, la resistencia a los rayos ultravioleta. En la Tabla 13 se recogen algunas propiedades físicas de las maderas para tener en cuenta.

Dada la amplia variedad de propiedades que pueden influir en la selección de un material para una aplicación específica, el análisis debe centrarse en aquellas que afectan directamente el comportamiento funcional del artefacto, su componente correspondiente y su proceso de industrialización o elaboración. Por eso, además de observar las propiedades mecánicas y físicas en sí, se deben incluir las propiedades asociadas con el pensamiento industrial y las de carácter ambiental, que se vinculan de manera directa con el diseño del artefacto.

Y es que no todas las propiedades son relevantes en todos los contextos. Por ejemplo, evaluar la translucidez de un material en el diseño de una silla para una sala de espera carece de sentido práctico. En cambio, esa misma propiedad resulta crítica al seleccionar el material para el difusor de una lámpara, donde la interacción con la luz es esencial.

Este enfoque permite optimizar la selección de materiales desde una perspectiva funcional, tecnológica y contextual, evitar análisis innecesarios y favorecer decisiones informadas en diseño y manufactura.

Tabla 13. Algunas propiedades físicas de las maderas

Propiedad	Aplicabilidad a la madera
Conductividad eléctrica	Muy baja; excelente aislante eléctrico, especialmente en estado seco.
Punto de fusión	No aplica; la madera se carboniza y se quema, no se funde.
Resistencia a los xilófagos	Variable; depende de la especie, el tratamiento y las condiciones de almacenamiento.
Temperatura de ablandamiento	Aplica en maderas industriales (ej. MDF, aglomerado) por presencia de resinas adhesivas.
Contenido de humedad	Crítica; afecta peso, estabilidad dimensional y comportamiento mecánico.
Color de la veta	Muy relevante; influye en la estética del mueble y su aplicación, clasificación y valor comercial.
Color del material	Varía por especie, edad, tratamiento y exposición a la luz; aplica en la estética y el lenguaje formal del mobiliario.
Facilidad de limpieza	Alta en superficies tratadas; depende del acabado y la porosidad.
Durabilidad	Variable; depende de la especie, el uso, la exposición y los tratamientos protectores.
Translucidez	No aplica en madera.
Comportamiento frente al fuego	Combustible; puede ser retardante si se trata con productos ignífugos.

Existen propiedades que se relacionan únicamente con ciertas familias de materiales. Por ejemplo, en las maderas es fundamental considerar la resistencia a los xilófagos y el contenido de humedad. Por otro lado, en los materiales metálicos, no se consideran estas

propiedades, pero sí son cruciales para ellos la resistencia a la corrosión, la conductividad eléctrica y la conductividad térmica.

Los comportamientos macro del material derivados de sus propiedades deben de ser conocidos y tenidos muy en cuenta. Los metales tienen una alta conductividad térmica como también eléctrica, pero resisten cargas elevadas de compresión y de tracción. La madera natural tiene una fuerte limitación ante cargas de tracción, razón por la cual los elementos estructurales de una silla en madera deben de ser estudiados para disminuir esta situación; no obstante, este tipo de material tiene una muy baja conductividad térmica y eléctrica. De hecho, estas dos últimas propiedades no resultan prioritarias de estudiar en una aplicación normal de mobiliario.

Aunque se tiene un universo de propiedades a ser consideradas, solo se requiere estudiar las que están relacionadas directamente con el proyecto, con el artefacto de uso o con una o varias de sus partes. Si bien el artefacto puede estar constituido de un solo material –como es el caso de una silla para jardinería fabricada en un polímero, específicamente polipropileno–, en la mayoría de los casos se requieren varios tipos de materiales para fabricar o elaborar las partes de un producto.

Siempre que se aborda un proyecto de diseño de producto, resulta imprescindible formular la pregunta sobre la afectación ambiental que dicho artefacto podría generar en su contexto de uso y su disposición. En consecuencia, es un deber metodológico contemplar las propiedades ambientales del producto, así como sus potenciales

impactos en el entorno, tanto en fases de producción como en su ciclo de vida completo.

Para orientar este análisis, se sugiere revisar la Tabla 14, que ofrece una guía inicial sobre criterios ambientales relevantes de la madera. No obstante, es importante señalar que este campo es amplio, complejo y lleno de matices, por lo que se recomienda complementar dicha tabla con fuentes especializadas y estudios de caso pertinentes al tipo de producto-mobiliario en desarrollo.

Existen otras propiedades que suelen estar ausentes en los libros de texto tradicionales, pero que son fundamentales en contextos industriales. Estas propiedades están vinculadas con la trabajabilidad del material y su grado de industrialización.

Incluyen aspectos como el costo, la disponibilidad comercial, la compatibilidad con procesos tecnológicos y la fiabilidad operativa. En conjunto, pueden denominarse propiedades de pensamiento industrial, ya que responden a las lógicas que rigen la producción de bienes en entornos industriales (ver Tabla 15).

Estas propiedades permiten evaluar la madera desde una perspectiva de eficiencia productiva y económica, adaptabilidad tecnológica y desempeño funcional, que son elementos clave en el diseño, la manufactura y la sostenibilidad.

Como característica clave, una silla –o cualquier artefacto destinado a soportar cargas mecánicas–, debe ser estructuralmente segura. Esto implica que no debe presentar movimientos indeseados ni

Tabla 14. *Propiedades ambientales aplicables a la madera*

Propiedad ambiental	Madera natural (maciza)	Maderas industriales (procesadas)
Renovabilidad	Alta, si proviene de fuentes certificadas o bosques gestionados de forma sostenible.	Media; depende del origen de las fibras y adhesivos utilizados.
Biodegradabilidad	Alta, especialmente si no está tratada con químicos.	Baja a media, por presencia de resinas sintéticas y aditivos.
Reciclabilidad	Alta; puede reprocesarse en tableros o biomasa.	Media; reciclaje limitado por adhesivos y mezclas de materiales.
Reutilización	Alta, especialmente en muebles, estructuras o restauración.	Media; depende del estado del material y el tipo de unión.
Huella de carbono en fabricación	Baja, si se usa energía renovable y procesos eficientes.	Media a alta, por procesos industriales y uso de resinas sintéticas.
Huella de carbono durante el uso	Muy baja; no requiere energía para mantenerse funcional.	Baja, aunque puede liberar compuestos volátiles si no está bien sellada.
Emisión de gases de efecto invernadero	Baja; puede absorber CO ₂ durante su vida útil.	Media a alta, por emisiones de CO ₂ , NO _x y formaldehído en procesos de fabricación.

deformaciones plásticas, es decir, deformaciones permanentes. En particular, la silla debe ser capaz de sostener el peso del cuerpo sentado sin romperse ni desbaratarse. Su característica fundamental debe ser la resistencia. La silla como artefacto de uso: «debe sostener el peso del cuerpo sentado sin romperse, ni desvencijarse. Su rasgo fundamental debe ser la resistencia» (Wilhide, 2012, p. 13).

Por tanto, las propiedades mecánicas son cruciales a la hora de seleccionar un material, tanto para su uso, como se mencionó, como para la fabricación de la parte. Si un material es muy duro, por ejemplo, será necesario emplear herramientas más fuertes que el material y maquinaria robusta y rígida para trabajarlo. Estas

consideraciones son fundamentales para garantizar que el material no solo cumpla con los requisitos funcionales, sino que también pueda ser procesado de manera eficiente y efectiva.

Este caso resalta nuevamente el carácter multidimensional y multirreferencial del diseño, en especial en la selección del material acorde con la propuesta de diseño. Es necesario pensar de manera relacional entre las propiedades y características de la madera y el diseño en desarrollo para lograr el prototipo adecuado. La selección del material se realiza desde una perspectiva técnico-tecnológica-ingenieril-formal-estética, sin perder de vista varios criterios como sus propiedades, disponibilidad comercial o facilidad de acceso, factores

Tabla 15. *Propiedades de pensamiento industrial aplicables a la madera*

Propiedad	Madera natural (maciza)	Maderas industriales (procesadas)
Costo del material	Variable según especie; puede ser alto en maderas finas y/o escasas.	Generalmente más económico por uso de residuos y producción en masa.
Cantidad de material necesario	Eficiencia media si se optimiza la selección de los bloques, el acondicionamiento y los cortes; puede generar desperdicio por vetas, nudos, torceduras, alabeos y otras condiciones.	Mejor aprovechamiento volumétrico; menor desperdicio por homogeneidad e isotropía.
Disponibilidad del material	Limitada por especie, abundancia o escasez, vedas, región y certificación forestal. Se compra en depósito de maderas.	Alta por producción industrial. Se compra en centros de venta diversos (por ejemplo, Madecentro en Colombia).
Disponibilidad de procesos	Requiere maquinaria especializada para secado, acondicionamiento, corte y ensamblado.	Poco exigente al ser compatible con procesos automatizados y maquinaria tradicional.
Tecnología necesaria	Herramientas manuales, electromanuales, tradicionales e incluso CNC; requiere conocimiento técnico para trabajar condiciones de la madera: vetas, dureza, nudos, alabeos, torceduras, pandeos, grietas, etc.	Procesos estandarizados; no es necesario acondicionar para el trabajo. Fácil integración en líneas de producción tradicionales y CNC.
Curvabilidad	Limitada; depende de la especie y la humedad. Requiere experticia y equipos.	Alta en tableros delgados o laminados, especialmente con calor y presión; en los gruesos no es viable.
Pulido al corte	Excelente acabado si se trabaja correctamente; sensible a herramientas desafiladas.	Uniforme, sensible a herramientas desafiladas, en contrachapado rompen las chapas.
Acabados industriales	Compatible con barnices, aceites, lacas, tintillas; requiere preparación previa.	Alta compatibilidad con recubrimientos tipo chapillas de: madera, melaminas, PVC, papel. Reciben pinturas industriales.
Fiabilidad de funcionamiento	Muy alta en estructuras y muebles bien diseñados; comportamiento predecible según especie.	Alta en aplicaciones interiores; limitada en exteriores sin protección adecuada. La humedad las afecta.

económicos (precio), junto con los del diseño del producto (Arias, 2007). Así, es fundamental entender el proyecto como un todo, como un conjunto tejido que culmina en la creación de una silla.

Para la selección de material o materiales apropiados para el diseño en desarrollo del prototipo, el proyectista debe utilizar una herramienta que sea similar a la que se utilizó previamente para seleccionar la propuesta de diseño (ver Tabla 5).

Se recomienda, para realizar un acercamiento vivencial y sensible a cualquier familia de materiales, realizar como ejercicio previo a la elaboración de un mueble o artefacto de uso una recopilación y documentación de información tanto digital como física sobre los materiales estudiados. Este proceso debe incluir la presentación comercial de los materiales, con el fin de comprender sus formatos disponibles, acabados, tratamientos y condiciones de adquisición.

Esto permite establecer criterios técnicos y sensoriales que enriquecen la toma de decisiones proyectuales.

Por ejemplo, en un caso específico de diseño y elaboración de mobiliario en tubo de acero, resulta especialmente útil contar con un catálogo actualizado y muestras físicas de los tubos disponibles en el mercado. Esto facilita la evaluación directa de dimensiones, grosores de pared, acabados superficiales y posibilidades de unión, aspectos fundamentales para garantizar la viabilidad técnica y la coherencia formal del proyecto.

En el campo de las maderas, que nos ocupa en este texto, es conveniente elaborar un catálogo de maderas a modo de pequeña xiloteca, cuestión que se abordará en el siguiente apartado. Este trabajo permite conocer las maderas con algo de detalle, ya que involucra en su elaboración el corte de muestras físicas prismáticas y el uso de maquinaria adecuada para lograrlo.

Paso 9A Revisión de materiales y catálogo de maderas

Realizar un acercamiento a las familias de materiales que serán utilizados en la elaboración del prototipo es esencial, pues, de hecho, el tipo de prototipado está relacionado directamente con el material en el que se propone realizar el artefacto. Para la elaboración de una pieza de mobiliario se puede decir que básicamente se utilizan tres familias de materiales: metales, polímeros y materiales de origen

natural como la madera, la bambusa y las fibras. Algunas veces se utiliza el concreto, sobre todo en mobiliario urbano.

Grosso modo, los materiales metálicos más utilizados en la fabricación y elaboración de sillas son: aceros simples de bajo carbono, aluminio estructural, fundición gris y fundiciones de aluminio. Los aceros, como los aluminios, se pueden conseguir en el mercado en forma de láminas y en forma de perfiles, como tubos cuadrados, rectangulares, redondos y oblongos. Las láminas y los perfiles tienen la gran ventaja de tener buena conformabilidad a la vez que resistencia mecánica, con la posibilidad de ser unidos por medio de procesos de soldadura o ensamble mecánico tipo unión roscada o similar. Por ejemplo, una antigua silla metálica plegable de producción industrial, totalmente fabricada en acero, como la que se puede observar en la Figura 43, requirió la utilización de varios tipos de maquinaria para metales, como cizallas, troqueladoras, prensas de conformado, máquinas de soldadura.

La fundición gris, como el aluminio fundido, involucra trabajos previos, al necesitar la obtención de positivos en madera, conocidos como modelos, para la subsecuente elaboración de moldes en arena y un posterior vertido de metal líquido en el molde (el proceso de fundición como tal), con lo que se obtienen objetos no terminados, que requieren intervenciones posteriores de desbarbado y pulido, es decir, implican mayor complejidad industrial que otros materiales. Cabe mencionar que existe mobiliario, incluidas sillas, realizado en fundición de hierro o aluminio, en molde permanente,

Figura 43. Antigua silla plegable de producción industrial



die casting, que requiere molde metálico y una máquina de inyección a presión, respectivamente.

Las patas de la banca de la Figura 44 fueron fabricadas en fundición gris. Los prototipos en metal de sillas metálicas involucran un trabajo e inversión en la elaboración de los moldes, matrices y

dispositivos, además de una infraestructura en maquinaria apropiada para su transformación.

Los polímeros como el polipropileno (PP) o las poliamidas (PA) están destinados principalmente a la producción en masa de productos

Figura 44. Banca de uso exterior/interior, fabricada con tres materiales diferentes



finales, es decir, más de diez mil unidades, o hasta millones. Las sillas industriales fabricadas en polímeros involucran la elaboración de moldes metálicos con una alta inversión, a menudo de veinticinco mil dólares o más, además del servicio o arriendo de la máquina, incluso la inversión en la compra de la máquina de inyección, que es donde se monta el molde para la obtención de una silla como la que se muestra en la Figura 45, inyectada en polipropileno. Por otro lado, realizar un prototipo de una silla en polímero es, hoy en día, relativamente fácil, pues se tienen las tecnologías de manufactura aditiva, como la impresión 3D por FFF (*Fused Filament Fabrication*).

Conviene decir, así mismo, que las piezas de mobiliario pueden ser fabricadas con varios materiales. En la Figura 44, por ejemplo, se puede observar una silla tipo banca que tiene en su constitución tres materiales: las patas laterales son fabricadas en material fundición gris (por el proceso de fundición en arena), los travesaños son de madera dura y rígida (tal vez sapán) y los tensores son en acero de bajo contenido de carbono (presumiblemente AISI 1020 o ASTM A500).

La tercera familia es la madera, material en que está enfocado este libro sobre la elaboración de prototipos. Se concentra en él por su gran facilidad de trabajo, a la que se hace también alusión con la expresión *nobleza de la madera*, que no es otra cosa que su gran capacidad de transformación unida a sus adecuadas propiedades mecánicas, incluida su baja dureza, que la hacen fácilmente transformable por

proceso de manufactura con desprendimiento de viruta, comparada con los metales, de transformación mucho más difícil.

La madera, como material de origen natural, admite diversas formas de clasificación según criterios técnicos y de uso. Entre los más comunes se encuentran: dureza; origen geográfico; trabajabilidad, dureza o resistencia al mecanizado; origen de producción y uso final.

Estos cinco criterios permiten una comprensión más integral de las maderas disponibles en el mercado y sus aplicaciones potenciales. En la Tabla 16 se presentan estos criterios de clasificación de la madera de forma comparativa.



Figura 45. Silla plástica industrial

Tabla 16. Criterio de clasificación de la madera

Criterio	Clasificación
Según su dureza	Duras Medias Blandas
Según su densidad	Livianas Medias Pesadas
Según su origen	Exóticas (introducidas) Nativas (locales)
Según su naturaleza	Naturales (macizas) Industriales (procesadas)
Según su uso (por estética y técnica)	Finas (para acabados, mobiliario de calidad) Ordinarias (para estructuras, embalajes, usos generales, mobiliario común)

Maderas naturales

Las maderas naturales se extraen directamente del tronco de los árboles. Después de la tala y el descortezado, el tronco se corta en forma de bloques o piezas prismáticas, tablas, etc. Los bloques pueden también ser trabajados para obtener tablones, y ellos pueden ser posteriormente unidos para formar tableros más grandes utilizando adhesivos y prensas. Este proceso no solo permite aprovechar al máximo la madera obtenida, sino que también facilita su uso en una variedad de aplicaciones, desde muebles hasta construcciones. Además, las maderas naturales destacan por su belleza y durabilidad, atributos que las hacen muy valoradas en carpintería y ebanistería. Como se dijo antes, las maderas naturales se pueden clasificar según su dureza en maderas duras, medias y blandas, característica importante en el momento de trabajarlas en las máquinas.

Las maderas presentan condiciones inherentes a su estado de entrega, visibles en bloques, tablones u otras presentaciones. Entre estas características se encuentran vetas, nudos, curvaturas, torceduras, alabeos, huellas de impacto por rayos y posibles afectaciones por xilófagos.

Estas manifestaciones no deben considerarse defectos: forman parte de su historia material y natural. Al realizar el acondicionamiento para el trabajo, se establece un diálogo con la madera, en el que se reconocen sus particularidades y se adapta el diseño y el corte para minimizar el desperdicio y potenciar su expresividad estructural y estética.

Maderas duras: provienen de árboles de crecimiento lento, lo que les permite desarrollar troncos muy gruesos y compactos. Estas características les confieren una alta densidad y durabilidad, lo que las hace ideales para la fabricación de muebles de calidad y elementos de construcción, como puertas, ventanas, suelos y vigas. Su resistencia y belleza natural las convierten en una elección popular para proyectos que requieren tanto funcionalidad como estética. Aportan robustez, por su resistencia mecánica, y longevidad, por su dureza.

Entre las maderas duras más conocidas y utilizadas, y como introducción a este amplio y fascinante tema, se presentan a continuación algunas especies naturales:

- **Caoba:** valorada por su rico color (tonos rojizos, marrón oscuro y matices cálidos anaranjados) y su grano fino.
- **Roble:** conocido por su fuerza y durabilidad, familia con amplia variedad cromática, con tonos blanquecinos, amarillos, cobrizos y marrones claros, dependiendo de la especie y el tratamiento.
- **Nogal:** apreciado por su color oscuro y su elegancia.
- **Cerezo:** destacado por su color rojizo y su grano liso.
- **Sapán:** color oscuro y veteado acentuado, difícil de aserrar y de elaborar con herramientas normales.
- **Almendra:** reconocido por su dureza y atractivo visual.
- **Ébano:** famoso por su color negro intenso y su textura suave.
- **Teca:** resistente a la intemperie, perfecta para exteriores.
- **Olivo:** con un grano distintivo y un tono cálido.

Maderas blandas: proceden de árboles de crecimiento rápido, por lo que sus troncos son menos compactos y más fáciles de trabajar. Se utilizan en carpintería, embalajes, revestimientos de muebles. Son maderas como: pino, abeto, chopo, tilo, álamo, entre otros.

Maderas artificiales o industriales

Cuando la madera se transforma industrialmente, es decir, dentro de una instalación industrial dedicada a su producción, en forma de tableros, se conoce como madera industrial. Se trata de maderas obtenidas a partir de la transformación de madera natural y de los

restos o desperdicios de maderas naturales. Resultan más baratas que las naturales, son fáciles de trabajar y se comercializan en tableros de diversos tamaños, aunque son de diferente carácter que las naturales. Ejemplos de este tipo de maderas son: los tableros de madera contrachapada, los tableros aglomerados, los tableros de astillas, los tableros de fibras de mediana densidad y los tableros de fibras de alta densidad.

Las maderas prefabricadas o industriales más empleadas son:

Maderas contrachapadas: formadas por chapas delgadas de madera unidas con adhesivos entre sí y prensadas (ver Figura 46). El número de chapas siempre es impar (3, 5, 7...) y estas se colocan de manera que las fibras de la madera de una chapa y la siguiente formen ángulo de 90° para darle mayor resistencia mecánica. Es la madera empleada en marquetería, fabricación de muebles (mesas, armarios, fondos de cajones) y construcción (paneles, paredes, encofrados). La madera contrachapada es capaz de soportar cargas a tracción y compresión y se considera un material isotrópico en sus caras. No es posible adquirirla en bloques, como es el caso de la mayoría de los tableros industriales.

Figura 46. Madera contrachapada



Se la conoce también como madera terciada, multicapa o *plywood*, su nombre en inglés. En Colombia, de forma popular, se le llama a la madera contrachapada tríplex, debido a que Pizano S.A. la comercializaba como Tríplex Pizano.

Maderas aglomeradas: están conformadas por mezcla de virutas de madera y carga con adhesivo o colas, con un posterior proceso de prensado (ver Figura 47). Se comercializan en distintos grosores y a veces van recubiertas con una lámina de madera natural (chapilla), plástico (melamina o PVC) o con un papel duro decorativo, con el fin de mejorar su aspecto y resistencia a la humedad, en una amplia paleta de colores y acabados. Se emplean para hacer muebles en general, muebles tipo RTA⁹, para hogar y oficina, y en construcción (tabiques y paneles).

Figura 47. Madera aglomerada



Tableros de fibras: son formados por fibras de madera (obtenidas por molido de las astillas) que se comprimen y pegan mediante

.....
⁹ RTA (*ready to assemble*) es un tipo de mueble que viene en partes y requiere ensamblaje por parte del usuario o cliente. Son de bajo costo, comparados con los de madera natural, y fáciles de transportar debido a su empaque en cajas de cartón. La compañía sueca Ikea es el líder mundial en el diseño, producción y comercialización de muebles RTA, los cuales sobresalen por su funcionalidad, asequibilidad, sostenibilidad y facilidad de armado.

una resina (ver Figura 48). Según su densidad reciben el nombre de HD (tablero de fibras de alta densidad), DM (media densidad) –conocido en Colombia como MDF, del inglés *medium density fiber board*– y BM (baja densidad). De superficie muy lisa, se utilizan en carpintería, muebles (de cocina y de baño, en especial para las puertas en relieve), molduras y construcción (tabiques, prefabricados, suelos).

Los tableros de fibras no son resistentes a la humedad, por el contrario, se deterioran ostensiblemente en presencia de ella.

Tableros OSB o tablero de astilla: con paneles técnicos compuestos por virutas de madera orientadas, conocidos también como de astillas, utilizados principalmente en construcción y diseño estructural. El término correcto es OSB, que proviene del inglés *oriented strand board*. Tienen una textura rugosa y visible, con un patrón de virutas que les da un carácter distintivo.

Las medidas comerciales de la madera contrachapada, o los tableros de madera industrial, suelen variar en dimensiones y espesores para adaptarse a diferentes aplicaciones. Aquí un resumen de las medidas más comunes:

Figura 48. Tablero de fibras de mediana densidad



Dimensiones estándar

244 × 122 cm: medida más habitual en la industria

244 × 210 cm: frecuente en aplicaciones de construcción

250 × 122 cm: utilizada en diversas aplicaciones

Espesores comunes

De 5 a 50 mm de espesor: los espesores pueden variar ampliamente, pero los más comunes son 10, 12, 15, 16, 18, 19 mm.

Hay que señalar que en este punto de consideración de la madera a elegir es indispensable comenzar a pensar y proponer los tipos de unión para las partes de la pieza de mobiliario, como los mostrados en las Figuras 84 a 92.

Catálogo de maderas

Como ejercicio introductorio, se propone la elaboración de un catálogo de especies de madera, a modo de pequeña xiloteca, que permita contextualizar esta familia de materiales en relación con sus ambientes de trabajo y aplicaciones industriales.

Este ejercicio busca fomentar el reconocimiento técnico y sensorial de las distintas especies, sus propiedades, comportamientos y potenciales de uso.

Para construir el catálogo es necesario recopilar e identificar tipos de maderas en aserraderos y depósitos de madera (al menos veinte clases de maderas del mercado colombiano). Con ellas se deben elaborar muestras de 50 mm × 50 mm × 10 mm a manera de probeta, con buen acabado superficial. Se deberá pulir una cara con acabado industrial y dejar la otra cara cruda o sin acabado, con el fin de observar el acabado superficial posible de la muestra de madera.

Es conveniente elaborar un módulo de clasificación y exhibición para las diferentes clases de maderas con criterios de: portabilidad, tamaño adecuado, facilidad de extracción. Las muestras deberían poderse extraer, con el fin de compararlas entre ellas y luego devolverlas al archivo.

Cada muestra de madera debería tener una ficha con al menos la siguiente información.

- Nombre científico y comercial
- Distribución geográfica
- Generalidades: tamaño del árbol, diámetro del tronco, etc.
- Descripción de la madera (dureza, trabajabilidad, etc.)
- Propiedades físicas y mecánicas
- Propiedades y dificultades de manufactura
- Propiedades estéticas

- Secado y resistencia al medio ambiente
- Usos posibles
- Costo y medidas de la pieza comercial de madera

Puede verse un ejemplo de catálogo bien elaborado en la Figura 49.

Figura 49. Catálogo de maderas



Maderas en Colombia

En Colombia existen alrededor de setenta y tres especies de madera diferentes, que también se encuentran en algunos otros países de Suramérica, las cuales se listan a continuación de forma alfabética con su nombre y densidad relativa básica en la Tabla 17.

Tabla 17. Maderas colombianas

Nombre	Densidad	Nombre	Densidad
Abarco	0.55	Ciprés	0.4
Aceite de María	0.46	Cocuelo blanco	0.34
Aceituno cedrillo	0.36	Copaiba	0.6
Achapo	0.37	Damagua	0.37
Algarrobo	0.77	Dinde o palo mora	0.71
Aliso cerezo	0.35	Diomate gusanero	0.87
Arenillo	0.5	Dormilón	0.43
Balata nisperillo	0.87	Eucalipto	0.55
Bálsamo	0.81	Eucalipto salina	0.4
Balzo	0.12	Flor morado o muerillo	0.47
Bonga ceiba	0.21	Fresno cedrillo	0.4
Camajón	0.43	Guáimaro	0.65
Canelo de páramo	0.44	Guayabillo	0.73
Caoba palo santo	0.43	Guayabo colorado	0.74
Caracolí aspave	0.34	Guayabo o palo prieto	0.65
Carbonero	0.6	Guayacán hobo	0.58
Cedro	0.42	Guayacán polvillo	0.92
Cedro macho	0.42	Guayacán trébol	0.78
Ceiba amarilla/blanca	0.41	Guino tangare	0.49
Ceiba tolúa	0.39	Hobo colorado o jobo	0.31
Chanul	0.69	Indio desnudo	0.32
Chaquiro sano	0.69	Jagua	0.6
Chingale escobillo	0.35	Macharé	0.58
Choiba	0.85	Mora ají	0.46
Chuguaca pantano	0.69		

Nombre	Densidad
Nato alcornoque	0.63
Nazareno	0.89
Nogal canaleta	0.39
Oloroso	0.68
Otobo	0.35
Pategallina o yarumo	0.36
Peine de mono	0.3
Perillo blanco	0.56
Perillo negro o popa	0.51
Pino chaquiro o romerón	0.44
Pino de oreja	0.39
Pino patula	0.43
Pino radiata	0.39
Punte candado	0.76
Punula	0.49
Roble flor morado	0.54
Sajo	0.37
Samán	0.49
Sande	0.42
Sapán	0.82
Soroga dormilón	0.37
Soto virola	0.4
Tamarindo	0.88
Teca	0.53

Proceso de obtención de la madera desde la tala

El proceso que se sigue desde la extracción de la madera de los bosques o cultivos de madera hasta la obtención de bloques, tablas, listones o tablones, como materia prima, para ser trabajada en partes, es el que se explica a continuación.

La tala es el proceso mediante el cual se cortan o derriban los árboles, para obtener madera para ser utilizada en: construcción, estructuras, fabricación de muebles o productos de madera, o como leña. Se realiza por medio sierras mecánicas o máquinas cosechadoras, que también realizan la poda y el descortezado. El objetivo es obtener troncos o madera rolliza

(ver Figura 50). En la poda se cortan o eliminan otras partes del árbol, como ramas, brotes o raíces.

La tala puede tener un impacto significativo en el medio ambiente, pues contribuye a la deforestación, la erosión, la pérdida de biodiversidad y el cambio climático. No obstante, en el diseño de mobiliario en madera contemporáneo, la clave reside en la gestión forestal sostenible. Bajo este modelo, la madera deja de ser un recurso meramente extractivo para convertirse en un material renovable y un sumidero de carbono: cada silla diseñada, prototipada y posiblemente fabricada, conserva el CO₂ que el árbol absorbió durante su vida.

Al preferir maderas con certificaciones como la FSC¹⁰ o provenientes de plantaciones forestales controladas –frecuentes en regiones productoras como Colombia¹¹ y Brasil–, el diseñador asegura que el ciclo productivo sea regenerativo. A diferencia de polímeros derivados del petróleo o metales con alta huella energética, la madera posibilita un prototipado y una producción sustentables, lo que integra el oficio de la carpintería en una economía circular que protege el ecosistema en lugar de agotarlo.

¹⁰ El Forest Stewardship Council (FSC) publicó en 2021 el Estándar Nacional de Manejo Forestal Responsable FSC de Colombia, aplicable tanto a bosques naturales como a plantaciones comerciales, el cual garantiza criterios legales, sociales y ambientales en la extracción de madera (FSC, 2021).

¹¹ En Colombia existen programas de reforestación comercial apoyados por el Certificado de Incentivo Forestal (CIF), gestionado por el Ministerio de Agricultura y Finagro, que financia hasta el 50 % de los costos de establecimiento y mantenimiento de nuevas plantaciones forestales (Fedemaderas, 2023; MADR, 2022).



Figura 50. Troncos de madera

Para el inicio del transporte de los troncos, se construyen o adecuan deslizadores de pendiente que los conducen por gravedad, arrastre o halado, con tractor o vehículos con tracción en las cuatro ruedas, a zonas de fácil acceso y carga. También se utilizan máquinas que elevan los troncos. Estos son transportados de forma multimodal por agua o carretera a su destino, sean aserraderos o depósitos. En Colombia no es usual el transporte por ferrocarril (común en otros países), el tradicional es por camión (ver Figura 51).

En el tratamiento de los troncos en un aserradero, el descortezado es el proceso inicial. En la fase de transformación primaria, esta es la operación preliminar crítica. Su función principal es la eliminación de la corteza del fuste, la cual suele actuar como receptáculo de impurezas -tierra, sílice y restos orgánicos- que comprometen la

vida útil de las herramientas de corte y la integridad de los procesos de manufactura posteriores.

Más allá de la protección mecánica de las sierras, esta etapa es esencial para la valoración técnica del tronco: al exponer la superficie de la madera, se facilita una inspección visual precisa para identificar nudos, grietas o desviaciones estructurales que determinan el aprovechamiento volumétrico y cualitativo de la pieza. La integración de tecnologías como las descortezadoras de rotor, de tambor o de cuchillas permite automatizar esta tarea y asegurar una remoción uniforme que minimiza la pérdida de fibra útil y reduce residuos. Así, el descortezado trasciende la prevención para convertirse en un paso estratégico que garantiza la calidad, la eficiencia y el aprovechamiento máximo de la materia prima dentro de un marco de producción sostenible.

Figura 51. Transporte de troncos de madera



Seguidamente, los troncos se cortan en trozos o bloques, según la longitud deseada, con sierras circulares. Después, los bloques son cortados en piezas macizas, tablas o tablones de determinadas medidas, según planos paralelos a su eje, generalmente de longitudes específicas, para facilitar su transporte, almacenamiento o procesamiento. Si bien el tamaño de los árboles varía, una dimensión estándar de tablón es 3 m de largo × 30 cm de ancho × 15 cm de alto.

El siguiente momento es el secado. La madera se seca en mayor o menor grado dependiendo del tipo de empleo posterior. Se reduce el contenido de humedad presente en la madera para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, y hacerla más adecuada para su uso en construcción, mobiliario, carpintería o cualquier otra aplicación. El contenido de humedad adecuado para fabricar muebles tipo silla de madera debe estar entre el 8 % y el 12 %, dependiendo del clima y del uso previsto del mueble.

La última operación es el cepillado. Mediante este proceso se eliminan las irregularidades y se da a la madera un buen acabado y las medidas óptimas (Centro Autónomo de Formación e Innovación, 2015).

Paso 9B Maquinaria para transformar la madera y procesos de carpintería

A continuación, se describen algunas máquinas para la elaboración de productos de madera. Ellas están presentes usualmente en carpinterías o talleres de maderas, sitios ideales para la elaboración

de prototipos de sillas en ese material. En todas las máquinas abordadas en este apartado, máquinas de remoción de material, el subproducto obtenido (restos o residuos) por medio de ellas se llama *viruta*.

La *sierra circular de banco* es una máquina utilizada para realizar cortes rectilíneos, ya sean estos longitudinales o transversales, de diferentes tipos de materiales, entre ellos madera, materiales conexos o derivados. Estos cortes pueden ser inclinados o escuadrados, lo que la hace una maquinaria muy versátil y de gran valor. Además, cuenta con sistemas de reglajes y medidas, tales como graduación de grosor de corte, gracias al movimiento de posicionamiento vertical de la sierra: entre más expuesta esté la sierra, mayor altura de corte se obtiene. En la Figura 52 se puede observar un ejemplo de este tipo de sierra.

Figura 52. Sierra circular contemporánea marca Hollywood



Figura 53. Sierra escuadradora marca OAV



La *sierra escuadradora* es una máquina diseñada para realizar cortes lineales precisos y a escuadra en tableros o tablones de madera. Es especialmente útil en carpintería y fabricación de muebles. Es una variante especializada de la sierra circular, equipada con una mesa móvil que permite deslizar el material con precisión frente al disco de corte. La posibilidad de realizar cortes rectos y perpendiculares con gran exactitud la hace esencial para ensamblajes y piezas modulares. En la Figura 53 se puede observar un ejemplo de este tipo de sierra.

Otro tipo de máquina es la *sierra circular vertical*, también llamada *panel saw* o sierra mural, diseñada para realizar cortes rectos en tableros grandes (como MDF, OSB, contrachapado, etc.), colocados

en posición vertical (Figura 54). Con ella se pueden realizar cortes rectos, longitudinales y transversales de las partes a partir de tableros. Por su forma, esta sierra permite optimizar el espacio de trabajo.

Figura 54. Sierra circular vertical



Tradicionalmente, el proceso de planeado de la madera, es decir, la obtención de superficies planas y uniformes, se realizaba mediante el uso de cepillos manuales de gran tamaño, operados por carpinteros que requerían de una destreza y un esfuerzo físico considerable. Actualmente, la tecnología ha transformado este procedimiento mediante el desarrollo de máquinas *planeadoras* o

canteadoras, que permiten realizar el trabajo de forma más eficiente, precisa y segura. Una planeadora moderna para madera cuenta con dos superficies principales: el plano de entrada y el plano de salida, también conocidos como mesas. Entre estas se encuentra una cuchilla rotatoria o fresa lineal, ubicada en el desnivel entre ambas mesas.

La diferencia de altura entre el plano de entrada y el de salida es lo que determina el espesor del desbaste. Cuanto mayor sea esta diferencia, más expuestas estarán las cuchillas y, por tanto, mayor será el material removido en cada pasada. Este principio permite regular el espesor de planeado ajustando la altura del plano de entrada en relación con el de salida.

Este mecanismo convierte a la planeadora en una herramienta clave para el trabajo en madera, especialmente en contextos de producción donde se requiere obtener planos con precisión dimensional y buen acabado superficial. Las dos operaciones principales que se realizan en esta máquina son el planeado y el canteado de los bloques, tablas o tablones de madera maciza. En la Figura 55 se puede observar una máquina planeadora.

La máquina conocida como *cepillo* o *regruesadora* se utiliza para reducir progresivamente el espesor de una tira o pieza de madera, con el objetivo de obtener elementos de dimensiones homogéneas, listos para etapas posteriores del proceso de fabricación (ver Figura 56). Esta operación permite alcanzar el grosor exacto deseado y

una escuadra precisa entre las caras, lo cual es fundamental para el ensamblaje y la estabilidad estructural del producto.

Para que una pieza pueda ser trabajada correctamente en la regruesadora, es indispensable que haya sido previamente planeada en dos de sus cuatro caras (cara y canto) utilizando una planeadora o canteadora. Este paso inicial garantiza un apoyo estable sobre la mesa de avance de la regruesadora, que permite que el material sea retirado de manera uniforme desde la cara superior, hasta alcanzar un espesor parejo en toda la pieza.

La reducción del espesor ocurre de forma gradual y depende de la potencia de la máquina. El desbaste puede regularse desde fracciones de milímetro (décimos) hasta varios milímetros, según las necesidades del proyecto. En trabajos seriados, es fundamental que todas las piezas sean igualadas antes de ajustar la máquina a una medida inferior, para evitar inconsistencias dimensionales.

Figura 55. Máquina planeadora marca Bull Equipment



Un aspecto técnico crucial al operar esta máquina es insertar la madera en el sentido de las vetas o venas, es decir, trabajar en la dirección del hilo. Esto evita que las fibras se deshilachen, se encrespen o se fracturen, con lo que se preserva la calidad superficial y estructural del material.

Es común que se confunda la planeadora con la regruesadora, pero existe una diferencia clave: en la planeadora, las cuchillas o fresas atacan la superficie inferior de la pieza; mientras que en la regruesadora, el trabajo se realiza sobre la cara superior. Por ello, se recomienda siempre utilizar primero la planeadora para generar superficies planas y escuadradas, y luego la regruesadora, que permite ajustar el espesor final con precisión.

Figura 56. Máquina cepillo o regruesadora marca Bull Equipment



La sierra sin fin o sierra de cinta es una máquina esencial en carpintería, destacada por su versatilidad en la fabricación de mobiliario y objetos artesanales. Está compuesta por dos ruedas –una superior y otra inferior–, entre las cuales se monta una hoja continua en forma de cinta. El diámetro de las ruedas y la distancia entre sus centros determinan la longitud de la hoja, que se desplaza en un movimiento circular constante al girar ambas ruedas sincronizadas.

Los dientes de la cinta están orientados hacia la mesa, lo que permite cortes descendentes seguros, al tiempo que se mantiene el material estable sobre la superficie. A diferencia del taladro, esta máquina genera mínimas vibraciones, lo que favorece la precisión y el control durante el corte.

La sierra sin fin admite hojas de distintas anchuras, lo que amplía sus posibilidades operativas:

- Estrechas: permiten cortes curvos, detallados o circulares.
- Anchas: adecuadas para cortes rectos y profundos, tanto longitudinales como transversales.

Además, la máquina incorpora dos guías –una sobre la mesa y otra debajo– que estabilizan la hoja durante el trabajo. La guía superior es regulable, lo que permite ajustar la profundidad de corte según el espesor del material.

Con una misma máquina pueden realizarse cortes rectos, curvos e inclinados en diversas direcciones. Por ejemplo, una hoja estrecha con dientes grandes permite cortar piezas gruesas con formas

amplias y complejas. En la Figura 57 se pueden ver dos máquinas de este tipo.

Figura 57. Sierras sin fin contemporáneas marca OAV Equipment (en primer plano) y marca Makita (en segundo plano)



La sierra radial o sierra de árbol es una máquina de corte que consiste en una sierra circular montada en un brazo deslizante horizontal. Las piezas de trabajo para cortar se montan sobre la mesa. Las longitudes de corte se miden y gradúan sobre dicha mesa, por tanto, ofrece cortes a medida. La sierra de brazo radial se puede configurar como una sierra especial para cortar ranuras, juntas de rebaje y juntas a media madera. Además, algunas sierras de brazo radial se pueden girar paralelamente a la defensa principal para obtener un corte longitudinal (según la veta de la madera). La profundidad o espesor de corte se logra graduando la altura de la columna o árbol donde se monta la sierra; su limitación de corte está definida por la dimensión longitudinal del brazo donde corre la sierra. Se puede observar una sierra radial en la Figura 58.

La máquina *ruteadora* o *tupi* fue diseñada para crear perfilados, como los de los marcos de las puertas, molduras o cantos de muebles,

Figura 58. Sierra radial contemporánea marca Maggi, referencia Junior 640



cuenta con herramientas intercambiables, llamadas fresas, que sobresalen hacia fuera y giran velozmente para eliminar una porción de madera de un elemento escuadrado y darle el perfil deseado. Esta misma máquina puede ser emulada por medio del montaje adecuado de una ruteadora de mano eléctrica colocada o acondicionada sobre un banco de carpintería. Puede ver una ruteadora en la Figura 59.

Figura 59. Ruteadora o tupi contemporánea marca Hollywood



El torno para maderas, como toda máquina que involucre la remoción de material, tiene un principio de funcionamiento sencillo, basado en mecanizar piezas de madera por revolución desbastando el material con una herramienta de corte, conocida como gubia. En el torno la potencia de corte se realiza por rotación de la pieza y no por la rotación de la herramienta, a diferencia de tantas otras máquinas. Se puede observar un torno para madera contemporáneo, con pieza de revolución obtenida y herramientas de corte, en la Figura 60.

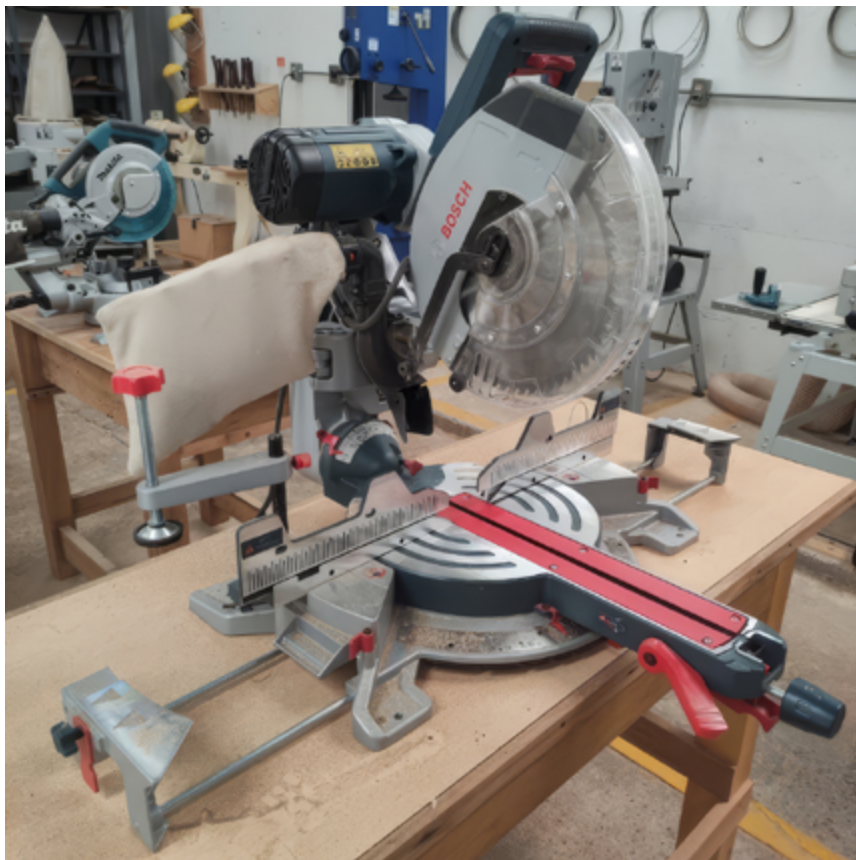
La ingleteadora, también conocida como acolilladora, es una máquina que cuenta con una sierra circular montada sobre un brazo con una

mesa de apoyo. El brazo puede inclinarse y ajustarse en ángulos específicos; la mesa también permite graduar ángulos de corte, lo que da la posibilidad de realizar cortes en bisel y en inglete con gran precisión. Es muy útil para hacer cortes en listones, tablas, molduras y marcos que requieran angulaciones precisas. Su diseño compacto y su tamaño relativamente pequeño la hacen ideal para espacios de trabajo reducidos, y aun portable, aunque existen también modelos más grandes y robustos para trabajos más exigentes. Además, muchas ingleteadoras cuentan con funciones adicionales como sistemas de iluminación LED, guías de corte láser y ajuste rápido de ángulos, que facilitan el trabajo. En la Figura 61 se puede ver una máquina ingleteadora.

Figura 60. Torno para madera contemporáneo



Figura 61. Ingleteadora o acolilladora contemporánea marca Bosch



Herramientas de mano eléctricas para madera

Las herramientas portátiles eléctricas para madera tienen la ventaja de que pueden ser trasladadas hasta cualquier punto con la

condición de que haya un enchufe y el cable de alimentación sea lo suficientemente largo, o, en su defecto, cuenten con batería. Este último caso es cada vez más común, pues las baterías de litio que hoy existen son más potentes y duraderas, lo que permite prolongar el tiempo de trabajo en campo. Algunas herramientas de mano eléctricas son:

- Taladros eléctricos (alámbricos e inalámbricos)
- Sierras circulares
- Sierras sables
- Sierras caladoras
- Sierras de inglete
- Lijadoras de banda
- Lijadoras rotoorbitales
- Cepillos eléctricos
- Fresadoras, ruteadoras manuales o *routers* manuales

Herramientas de mano

Hay una amplia variedad de herramientas de mano, que se usan para: medición y trazado, corte, desbaste y talla, perforado y armado, sujeción, acabado y ajuste, trazado y comprobación de nivel. En las Tablas 18 a 22 se recogen las principales herramientas por categoría.

Tabla 18. Herramientas manuales de medición y trazado

Herramienta	Descripción/uso principal
Metro plegable o cinta métrica	Para medir longitudes y dimensiones de piezas de madera.
Escuadra de carpintero	Para verificar ángulos rectos y a 45°, y marcar cortes.
Regla metálica	Para medición precisa y trazado de líneas rectas.
Compás de puntas	Para trazar circunferencias o arcos.
Calibre o vernier	Para medir espesores y diámetros con precisión.
Gramil	Para marcar líneas paralelas al borde de una pieza.
Falsa escuadra o escuadra ajustable	Para copiar y trasladar ángulos irregulares en piezas de madera.
Transportador	Para medir y marcar ángulos; útil en uniones y cortes inclinados.
Goniómetro o medidor de ángulos ajustable	Instrumento con fulcro, escala graduada y regla móvil que permite medir y trazar ángulos con gran precisión; ideal para verificar cortes compuestos y uniones no ortogonales.

Tabla 19. Herramientas manuales de corte

Herramienta	Descripción/uso principal
Cuchilla de carpintero o bisturí de trazo	Para cortes finos y limpieza de juntas.
Serrucho de punta o de marquetería	Para cortes curvos o detallados.
Serrucho japonés (<i>nokogiri</i>)	Serrucho de hoja delgada que corta al tirar, lo que permite cortes muy finos y precisos con menor esfuerzo; ideal para uniones y acabados de precisión en ebanistería.
Sierra de arco o segueta	Para cortes curvos en piezas delgadas.
Sierra de San José	Sierra de bastidor con hoja tensada entre dos brazos de madera que permite cortes largos, rectos y precisos en madera maciza; muy usada en carpintería tradicional y ebanistería artesanal.

Tabla 20. Herramientas manuales de desbaste y talla

Herramienta	Descripción/uso principal
Cepillo manual	Para aplanar, desbastar, alisar o ajustar superficies de madera.
Formón	Para tallar, rebajar o ajustar uniones (como cajas y espigas).
Garlopa	Cepillo largo usado para desbastar y nivelar superficies grandes.
Gubia	Para tallado en relieve o trabajo escultórico en madera.
Limas y escofinas	Para desbaste y ajuste de contornos o curvas.
Rasquetas	Para acabado fino: elimina marcas del cepillo.

Tabla 21. Herramientas manuales de perforado y armado

Herramienta	Uso principal
Berbiquí	Para taladrar manualmente con brocas.
Barrena	Para hacer agujeros pequeños en madera.
Destornillador	Para introducir o extraer tornillos.
Martillo de carpintero	Para clavar, ajustar o desmontar piezas.
Mazo de madera	Para golpear formones sin dañar el mango y golpear para armar partes.
Tenazas y alicates	Para sujetar, doblar o extraer clavos.

Tabla 22. Herramientas manuales de sujeción, acabado y ajuste, trazado y comprobación de nivel

Categoría	Herramienta	Uso principal
Sujeción	Mordazas	Para sujetar piezas pequeñas o irregulares.
Sujeción	Sargentos o prensas	Para sujetar piezas durante el encolado o corte.
Sujeción	Tornillo de banco	Para fijar piezas de trabajo a la mesa.
Acabado y ajuste	Brochas y trapos	Para aplicar tintes, barnices o aceites.
Acabado y ajuste	Espátula	Para aplicar pastas o masillas para reparación.
Acabado y ajuste	Papel de lija	Para suavizar y preparar superficies.
Trazado y comprobación de nivel	Nivel de burbuja	Para verificar horizontalidad o verticalidad.
Trazado y comprobación de nivel	Plomada	Para comprobar alineación vertical.

Figura 62. Rénder de una silla tipo



Paso 9C Cálculo de la madera necesaria

A partir del modelo a escala 1:1 depurado, es decir, con todas las modificaciones de uso y antropométricas, se planea la elaboración de las partes del prototipo. Para explicar de forma simple las partes constitutivas y el cálculo de la madera, se toma como ejemplo la silla de la Figura 62.

Con la ayuda de un flexómetro u otro instrumento de medida, a partir del modelo a escala 1:1, se toman las medidas dimensionales de las partes. También es conveniente tener un modelo digital, o modelo 3D por computador, pues entrega las medidas de forma precisa, aunque no es absolutamente necesario.

Identificación y nomenclatura de partes del artefacto

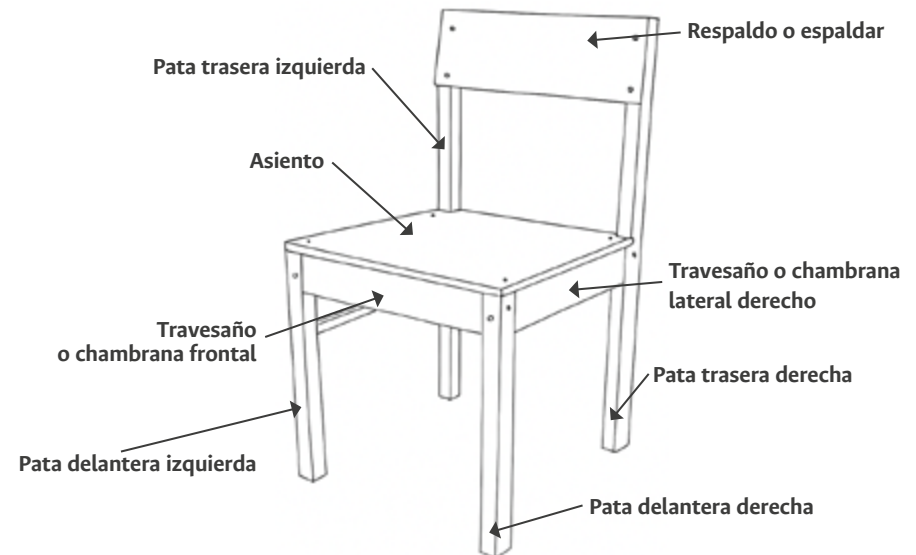
Como parte del proceso de documentación técnica, se requiere establecer previamente los nombres funcionales de cada componente del artefacto, atendiendo a criterios de uso, ubicación y diseño. Esta nomenclatura permite una lectura clara del objeto, facilita la comunicación entre equipos de diseño y manufactura, y asegura coherencia en la elaboración de planos, fichas técnicas y procesos de ensamblaje.

Entre los nombres sugeridos, según el ejemplo de referencia que se recoge en la Figura 61, se incluyen:

- **Asiento:** superficie donde se apoya el usuario
- **Espaldar o respaldo:** parte posterior donde reposa la espalda
- **Patas:** elementos verticales de soporte
- **Travesaños:** piezas horizontales que conectan las patas (cuando estén presentes)
- **Refuerzos:** componentes adicionales que aportan rigidez o estabilidad

Es probable que la pieza de mobiliario tenga mayor cantidad de partes. Si es así, cada una debe ser identificada con un nombre particular; esta denominación no debe ser caprichosa, sino que el nombre debe estar relacionado con la función del elemento. Es conveniente aplicar una sensibilidad semántica en la asignación de nombres, de modo que se respete tanto el lenguaje técnico como la función real de cada componente. Por ejemplo, la parte donde reposa la espalda se nombra espaldar o respaldo, para evitar ambigüedades y ganar claridad, y así se ha de procurar con todos los elementos. Esta lógica debe extenderse tanto a partes de diseño como a partes normalizadas, de modo que se garantice precisión y coherencia en toda la documentación.

Figura 63. Nombres de las partes de una silla genérica



Además de la denominación, es necesario establecer la cantidad de partes y asignar un número identificador a cada una. Este número debe ser único y podría corresponder al orden de aparición o función estructural. Se recomienda, así mismo, que el largo de cada parte se defina como su dimensión mayor, lo cual facilita la estandarización y el corte de materiales.

Para consolidar esta información, se debe elaborar una tabla de partes que consigne:

- Nombre funcional
- Número de parte
- Cantidad requerida
- Dimensiones (largo, ancho, espesor)
- Material asignado
- Tipo de unión o fijación

Adicionalmente, es de provecho considerar que, una pieza de madera natural, como medida comercial, corresponde en Colombia a 30 000 cm³. Cuando se trabaja con madera artificial o industrial deberán tenerse en cuenta las medidas comerciales de ellas, por ejemplo, las de los tableros contrachapados o aglomerados, tanto en sus dimensiones de área como en su grosor.

Una pieza de mobiliario puede ser fabricada por medio solamente de maderas macizas, con mezcla de madera maciza y maderas industriales, o solo con maderas industriales.

En este punto es necesario comenzar a proponer los tipos de unión para las partes, como los mostrados en el apartado «Algunas formas de unión: ensamblajes, encajes y uniones roscadas», que se encuentra en el paso 10.

Cálculo de madera maciza necesaria para un mueble

En este apartado se propone una forma de calcular la cantidad de madera necesaria en el caso de usarla en su forma maciza en la elaboración de un mueble.

Para calcularla, se parte de las dimensiones finales de cada componente, expresadas en centímetros: largo, ancho y grosor. A estas medidas se les debe sumar una sobremedida técnica para compensar las pérdidas inevitables durante el proceso de transformación y manejo del material. Esta sobremedida responde tanto a operaciones de acondicionamiento, como el planeado, cepillado y cortes, como a las condiciones de entrega de la madera, que puede incluir combas, torceduras, alabeos o presencia de nudos, entre otras. En la Tabla 23 se presentan los datos requeridos para calcular la madera necesaria.

En términos prácticos, se recomienda añadir tres centímetros al largo, dos centímetros al ancho y un centímetro al grosor. Si una sección es de cuatro centímetros de ancho por tres centímetros de

grueso (4×3 cm), quedará de 5×4 cm. En el caso de elementos con sección cuadrada, donde el ancho y el grosor son iguales, se sugiere aumentar un centímetro adicional por lado, de modo que, por ejemplo, se deje una sección final de 6×6 cm cuando originalmente era de 5×5 cm.

Una vez ajustadas las dimensiones en bruto, se calcula el volumen de cada parte multiplicando largo por ancho por grosor, y luego por la cantidad de piezas iguales. La suma de todos los volúmenes individuales da el volumen total bruto del mueble, al cual se le aplica un incremento del 30 % como sobremedida general para cubrir pérdidas adicionales por errores, ajustes y descartes. Este volumen corregido se divide entre $30\,000\text{ cm}^3$, que corresponde a

una pieza comercial de madera maciza en Colombia. El resultado indica el número de piezas necesarias para fabricar el prototipo. Por ejemplo, si el cálculo arroja $29\,096\text{ cm}^3$, se requerirá adquirir una pieza completa, aunque el volumen sea inferior. Cabe anotar que los depósitos de madera solo venden piezas enteras.

Cuando se utiliza madera industrial, como contrachapado o aglomerado, el cálculo se simplifica, ya que se trabaja con áreas planas y espesores definidos. El cálculo se realiza en función del área (largo \times ancho) de las partes, ya que el grosor es estándar. En estos casos, se consideran las dimensiones comerciales de los tableros, como largo y ancho, es decir, su área útil, y se optimiza el despiece según el diseño del mueble (ver Figuras 77 y 80).

Tabla 23. Cálculo de la madera necesaria

Nombre de la parte	Dimensiones finales			Dimensiones en bruto			Cantidad	Volumen cm^3
	Largo	Ancho	Grosor	Largo	Ancho	Grosor		
				Sumar 3 cm	Sumar 2 cm	Sumar 1 cm		
Asiento	43.5	41	0.9	46.5	43	1.9	1	3799.05
Pata delantera	44	4.3	3.5	47	6.3	4.5	2	2664.9
Pata trasera	79.5	4.3	3.5	82.5	6,3	4.5	2	4677.75
Espaldar	43	33	0.9	46	35	1.9	1	6118
Travesaños (chambranas) laterales	37.3	7	2.5	40.3	9	3.5	2	2538.9
Travesaño (chambrana) frontal y posterior	34	7	2.5	37	9	3.5	2	2331
Refuerzos	4	4	2	7	6	3	4	252
Sumatoria de volúmenes								22 381.6
Porcentaje de sobre medida 30 %								29 096.08
Número de piezas de madera								0.9698

En ocasiones, el tipo de madera adquirida ofrece nuevas posibilidades al diseño debido a sus cualidades físicas y mecánicas, lo que puede llevar a modificaciones, además de la planeación de detalles y formas de ensamble entre las partes.

A partir del modelo 1:1, depurado, se planea la elaboración de las partes del prototipo. Es conveniente realizar planos preliminares de elaboración del prototipo o esquemas constructivos por cada parte constitutiva del mueble, además de planos explosivos para mostrar el orden en que se ensamblan las partes, así como esquemas de detalle para determinar el funcionamiento y la forma de obtención de los ensambles (ver Figuras 77 y 80, y Tabla 25, como muestra de este enfoque proyectual).

Paso 9D Obtención de las maderas

Como parte del proceso proyectual, los diseñadores deben realizar visitas de exploración, selección responsable y compra de las maderas más apropiadas para ser transformadas en mobiliario, en este caso una silla, según los requerimientos específicos del diseño en desarrollo. Estas visitas se llevan a cabo en depósitos o centros de comercialización de madera, donde es posible evaluar directamente las características físicas, técnicas y comerciales del material.

En la ciudad de Bogotá, es común encontrar este tipo de establecimientos en barrios como Boyacá Real y 12 de Octubre, aunque existen otras zonas con oferta especializada. Estas visitas permiten

un acercamiento directo al proceso de aserrío, almacenaje y comercialización, lo que facilita la comprensión de las condiciones reales del material y su viabilidad constructiva.

Durante estas exploraciones, los proyectistas pueden identificar:

- Diferentes presentaciones comerciales (tablas, listones, bloques, cilindros)
- Técnicas de corte aplicadas según especie y uso previsto
- Métodos de secado (natural o en horno), que afectan la estabilidad dimensional
- Sistemas de exhibición y almacenamiento, que influyen en la conservación del material

Es importante enfatizar que, durante la selección y la adquisición de maderas, se debe evitar el uso de especies amenazadas, como las consignadas en la obra *Especies maderables amenazadas* (Cárdenas y Salinas, 2006), también conocida como el libro rojo de maderas colombianas. Esta precaución aplica para cualquier tipo de proyecto que involucre el uso de madera en Colombia, y responde a criterios éticos, ambientales y legales.

Así mismo, se debe tener presente lo consignado en la Tabla 14, sobre propiedades ambientales, donde se recogen aspectos como:

- Renovabilidad del recurso
- Huella de carbono
- Reutilización
- Potencial de reciclaje o reutilización

Este enfoque permite integrar criterios de sostenibilidad en el proceso de diseño, lo que promueve prácticas responsables y conscientes del impacto ambiental.

En caso de utilizar maderas industriales, como tableros contrachapados, aglomerados o madera rectificada lista para usar, conviene visitar establecimientos comerciales especializados, tales como Madecentro o Homecenter, que cuentan con múltiples sedes en Colombia y ofrecen productos certificados, fichas técnicas y asesoría especializada. En la Figura 64 se observan las instalaciones de un depósito de maderas y la forma de exhibición de los distintos tipos de piezas disponibles.

Utilizar madera industrial ofrece importantes ventajas, como tener una medida estandarizada de varios grosores, tales como: 12, 15,

Figura 64. Diseñadores proyectistas en visita a un depósito de maderas



18 mm, con un tamaño estándar, por ejemplo 1220 × 2440 mm (equivalente a 4 × 8'), además de poder trabajar en mesa de diseño de forma más eficiente.

Sin embargo, la madera industrial laminar presenta un límite inherente en cuanto a su expresividad formal: los diseños elaborados con este material suelen reproducir su propio lenguaje constructivo, definido por superficies planas, cortes rectilíneos y ensamblajes ortogonales. Esta condición reduce la exploración de morfologías orgánicas, curvas o tridimensionales complejas, pues el material impone limitaciones estructurales y compositivas que restringen el resultado final. Superar ese lenguaje laminar exige intervenciones adicionales –como el termoformado (muy costoso), el fresado CNC o la combinación con otros materiales–, las cuales, en muchos casos, alteran la economía y la lógica constructiva que caracterizan a la madera laminada.

En cuanto a la distribución y la comercialización, no es igual para la madera industrial que para la madera maciza; esta última se compra en los depósitos de madera. Allí, los diseñadores o equipos de diseño encuentran una amplia variedad de medidas y cortes comerciales. Dado que en los depósitos de maderas la asesoría en el uso posible de cada tipo no es la mejor, el proyectista deberá hacer averiguaciones antes de acercarse a realizar la compra, de modo que antes de ir sepa la cantidad de madera que necesita comprar y el tipo de madera y las posibles alternativas.



Figura 65. Almacenaje de bloques de madera en estanterías en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Zwickau (Sajonia, Alemania)

En la Figura 65 se puede observar la forma en que la madera se almacena en bloques o piezas.

La madera natural puede adquirirse en presentación maciza o en bloque, opción que permite emprender un proceso cognitivo y transformativo particularmente relevante, en el cual el material volumétrico se convierte progresivamente en mueble. Una pieza de madera maciza o bloque se obtiene por aserrado del tronco de la especie maderera y generalmente es escuadrada, es decir, con caras paralelas entre sí y cantos perpendiculares a las mismas.

No obstante, el proyectista puede optar por productos semielaborados en lugar del bloque macizo, ya sea por razones de tiempo o por falta de maquinaria necesaria para su preparación en las formas

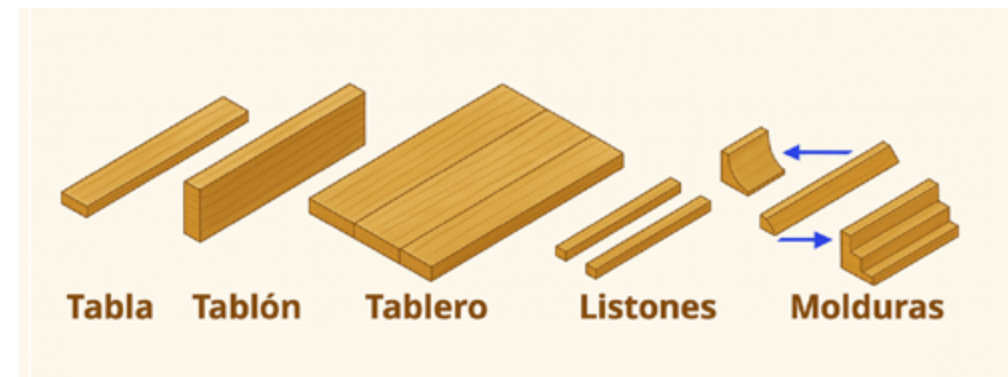
requeridas, puesto que para acondicionar la madera a las dimensiones y los acabados deseados se requiere disponer, al menos, de una planeadora, un cepillo y una sierra circular de banco.

Entre los productos semielaborados están:

- **Tabla:** trozo largo de madera plana, de poco grosor y caras paralelas.
- **Tablón:** tabla gruesa.
- **Tablero:** madera con una gran superficie plana. Los tableros de madera natural se hacen uniendo tablas o tablones por el canto; este proceso es dispendioso y requiere experiencia por parte del operario.
- **Listón:** madera delgada y alargada de sección cuadrada, rectangular, redonda, etc.
- **Moldura:** listón que tiene secciones con formas decorativas.

Puede ver la Figura 66 para observar las diferencias.

Figura 66. Forma de algunas presentaciones comerciales semielaboradas de madera



Si se parte de madera maciza en presentación de pieza, es necesario que el proyectista o quien enfrente el proyecto de diseño y elaboración de un prototipo de mobiliario aprenda o conozca cómo elaborar un tablero de madera y demás partes necesarias, como es el caso de listones o tablas.

Una condición determinante para la viabilidad técnica de la madera es su contenido de humedad (CH), el cual debe oscilar entre el 8 % y el 14 % en base anhidra para aplicaciones de mobiliario interior. Es frecuente que la madera comercial se suministre con niveles de humedad superiores, lo que compromete su estabilidad y dificulta su mecanizado. Por tanto, es imperativo someter el material a un proceso de secado controlado –ya sea natural (al aire libre) o artificial (en cámaras de secado)– hasta alcanzar el equilibrio higroscópico con el entorno donde se ubicará la pieza final.

Este ajuste no es solo una preparación previa, sino una garantía de estabilidad dimensional: minimiza los movimientos de contracción y dilatación, previene la aparición de fisuras, alabeos o colapsos celulares, y asegura la integridad estructural de los ensambles. En el diseño de sillas, donde la precisión de las uniones es milimétrica, el control de la humedad es el factor que define la longevidad y la calidad del objeto. Además, un secado eficiente reduce desperdicios, optimiza el rendimiento volumétrico y contribuye a un uso más sostenible del recurso forestal.

Para la selección de la madera en sí, se deben tener en cuenta los criterios de diseño y otros aspectos como la disponibilidad. Para la

fabricación de mobiliario, el precio también constituye un factor decisivo que debe analizarse con una perspectiva estratégica. No obstante, la elaboración de listas de precios resulta poco útil, ya que estos valores están sujetos a una volatilidad constante dictada por la región, el país y las fluctuaciones del mercado local y global. Una tabla de costos rígida corre el riesgo de desactualizarse rápidamente, con lo que pierde relevancia y utilidad práctica en poco tiempo.

Por el contrario, las comparaciones cualitativas ofrecen un criterio más estable, didáctico y profesional. Resulta más efectivo comprender las jerarquías de valor basadas en la clasificación de las especies, es decir, distinguir entre maderas comunes (de rápido crecimiento y alta disponibilidad, como el pino), maderas de ebanistería (que equilibran estética y durabilidad, como los cedros) y maderas finas o exóticas (valoradas por su escasez, veteado único o propiedades físicas superiores, como la teca).

Este enfoque permite reconocer que el valor relativo de la madera está determinado por factores estructurales: la tasa de renovación biológica del árbol, el rendimiento real del tronco tras el despiece y la logística asociada a su procedencia. Así mismo, el costo final no depende únicamente de la especie, sino también de procesos críticos como el secado técnico y las certificaciones de sostenibilidad.

Privilegiar la comprensión de las relaciones entre calidad, disponibilidad y valor dota al diseñador, proyectista o fabricante de una capacidad de análisis que trasciende las coyunturas económicas. De este modo, la elección del material deja de ser una respuesta a un

presupuesto estático para convertirse en una decisión informada que equilibra la viabilidad comercial con la excelencia técnica y estética del artefacto.

Paso 9E Acondicionamiento de las maderas en la carpintería

Una vez realizada la compra de la madera, la primera etapa antes de iniciar cualquier proceso de transformación o acondicionamiento consiste en efectuar un reconocimiento e inspección visual detallada del material, con el objetivo de optimizar su utilización en función de sus características físicas y estructurales, además de analizar el estado de entrega, es decir, las condiciones propias de la madera como material de origen natural.

Este procedimiento permite identificar condiciones que pueden afectar la calidad del producto final o implicar ajustes en el diseño y proceso de trabajo. Entre los aspectos que deben verificarse se incluyen:

- Planitud de las caras y paralelismo de los cantos, para garantizar estabilidad dimensional.
- Presencia de nudos, que pueden comprometer la resistencia estructural o el acabado superficial.
- Deformaciones visibles, como alabeos, torceduras o combas, que dificultan el trabajo posterior.
- Presencia de corteza residual, que debe ser eliminada antes del mecanizado.

- Evidencia de ataque de xilófagos (insectos u hongos), que puede comprometer la integridad del material.
- Forma y distribución de la veta, tanto en la testa como en la cara y el canto, pues esto influye en el comportamiento mecánico, el acabado y la estética del producto.

Esta inspección inicial no solo permite clasificar el material según su aptitud para distintas partes del diseño, sino que también constituye una etapa clave para la toma de decisiones proyectuales, especialmente en contextos donde se busca un equilibrio entre funcionalidad, estética y aprovechamiento eficiente del recurso.

En este momento se hace necesario el acondicionamiento de la madera, mediante el uso de maquinaria especializada como: planeadora, cepillo o regruesadora y sierra circular de banco, que permita dejarla lista para ser transformada (ver el paso 9B).

Acondicionar madera maciza para el uso

El proceso de acondicionamiento de la madera maciza tiene como objetivo preparar el material para su uso proyectual, de modo que se garantice estabilidad dimensional, calidad superficial y compatibilidad estructural. A partir de este acondicionamiento, se obtienen dos formas principales de presentación:

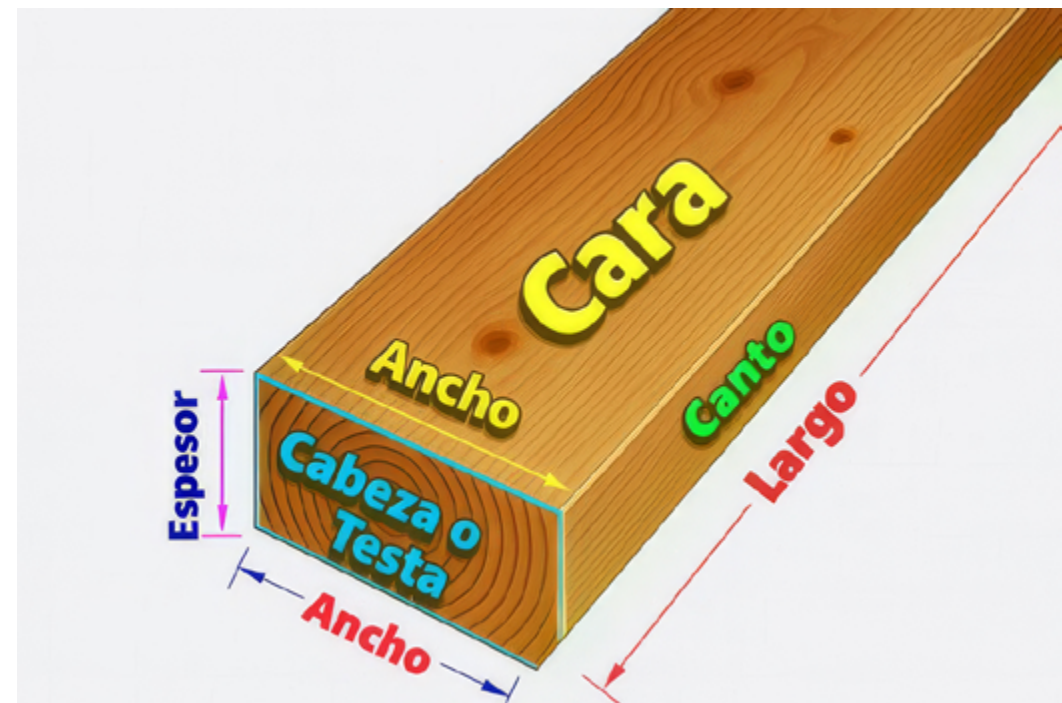
- **Bloques de tamaño reducido:** mediante operaciones de planeado, cepillado y corte longitudinal, se generan tablas, listones, tiras y otras piezas con dimensiones específicas, ajustadas a los requerimientos del diseño.
- **Tableros elaborados:** a partir de piezas calibradas, tipo tabla grande, se procede a su ensamblaje por cantos utilizando adhesivos y prensas, para conformar tableros planos de espesor reducido.

A continuación, se describen las operaciones generales para acondicionar la madera para el trabajo. Pero antes vale la pena aclarar tres conceptos clave, los elementos morfológicos de la madera (ver Figura 67).

- **Cara:** corresponde a la superficie plana más extensa del bloque. Es la parte principal, visible y más utilizada en procesos de diseño, mecanizado y acabado. Su planitud y escuadra son fundamentales para el correcto posicionamiento en máquinas y para el ensamblaje de piezas. En ella se puede observar parte de las vetas de la madera.
- **Canto:** es la superficie angosta que se encuentra entre la cara y la testa. Su función es estructural y de referencia dimensional, especialmente en operaciones de corte, escuadrado y unión. El canto permite evaluar la continuidad de la veta y verificar la perpendicularidad entre cara y testa.

- **Testa:** es el extremo plano y perpendicular al eje longitudinal de la pieza de madera. También se conoce como la cabeza del bloque. En esta superficie se pueden observar con claridad los anillos de crecimiento del árbol, lo que permite identificar aspectos como la edad, el tipo de corte y la orientación de las fibras, además del tamaño de grano.

Figura 67. Elementos morfológicos de la madera



Operación de planeado: se realiza utilizando la máquina planeadora. Se trabaja la mejor cara del bloque de madera maciza sobre la mesa de la máquina y contra las cuchillas de esta, para generar planitud.

Figura 68. Planeado de un bloque de madera maciza



Figura 69. Canteado del canto de un bloque de madera maciza con máquina planeadora

Operación de canteado: se realiza con la máquina planeadora. Se trabaja el mejor canto del bloque de madera contra las cuchillas de la máquina planeadora para generar ortogonalidad con referencia a la cara.



Operación de cepillado: se realiza con la cara, previamente obtenida en la planeadora, contra la mesa de la máquina cepillo (regruesadora) y la otra cara contra las cuchillas superiores de la máquina, para así obtener paralelismo entre las dos caras.

Figura 70. Cepillado de la cara faltante en la máquina regruesadora



Operación de corte y rectificando: consiste en eliminar los excesos y corregir las deformidades de un bloque de madera, mediante cortes paralelos que permiten obtener bordes rectos y dimensiones precisas. Para ello, se utiliza la sierra circular, herramienta que ofrece velocidad, precisión y repetibilidad en el corte.

En esta etapa, la cara previamente obtenida en la planeadora –ya plana y escuadrada– se posiciona contra la guía de corte de la sierra circular, conocida en el argot técnico como tiento. Esta guía cumple la función de referencia dimensional, para asegurar que el corte se realice de forma recta, paralela y controlada, manteniendo la

perpendicularidad entre caras y cantos. El uso correcto del tiento permite estandarizar el ancho de las piezas.

Obtención de elementos dimensionados mediante sierra circular

Una vez se ha controlado el alto del bloque de madera con la máquina regruesadora, es posible proceder a la obtención de elementos específicos –como tablas, listones o tiras– mediante cortes longitudinales en la sierra circular. Este procedimiento permite

aprovechar la regularidad dimensional lograda en la regresadora, especialmente en lo que respecta al espesor uniforme y la escuadra entre caras, lo cual facilita el posicionamiento preciso del bloque sobre la mesa de corte y contra la guía de referencia (tiento).

La sierra circular, al realizar cortes paralelos y controlados, permite segmentar el bloque en piezas de igual ancho, al tiempo que se mantiene la calidad superficial y la coherencia dimensional necesarias para procesos posteriores como el ensamblaje, el acabado o el mecanizado adicional.

Obtención de tableros de madera maciza o natural

Una vez inspeccionado y calibrado el bloque de madera, previamente acondicionado, se procede a abrir cada pieza a lo largo de su longitud con la sierra circular. Esta operación consiste en atacar progresivamente cada canto, aumentando la profundidad del corte según las necesidades del diseño o del despiece requerido (ver Figura 71).

La hoja de la sierra está dispuesta de forma ortogonal (90°) respecto al canto de la pieza, lo que permite realizar cortes precisos y

paralelos. Este tipo de corte es fundamental para dividir bloques de madera de forma longitudinal.

Sin embargo, se trata de una operación de alto riesgo para los operarios, debido a factores como la exposición directa a la hoja de corte, el retroceso o proyección de la pieza si no se sujeta correctamente y la acumulación de viruta o aserrín, que puede reducir la visibilidad o generar deslizamientos.

Una vez se ha abierto longitudinalmente el bloque de madera con la sierra circular, se obtienen dos partes muy similares, comúnmente denominadas placas o tablas. Estas deben ser llevadas nuevamente al cepillo (regresadora) con el objetivo de rectificar sus caras, para garantizar superficies planas, limpias y escuadradas, aptas para el ensamblaje posterior.

Con las piezas ya acondicionadas, se procede a armar un tablero, entendido como una forma plana de espesor reducido, mediante la unión por los cantos. Este proceso se realiza utilizando adhesivos específicos para madera, base PVA y prensas de gran formato, conocidas en la jerga carpintera como alacranes, que aseguran una unión firme, continua y

Figura 71. Apertura de bloque de madera realizada por el centro longitudinalmente



libre de deformaciones. En la Figura 72 se muestra el armado de un tablero con prensas tipo alacrán y adhesivos.

Durante la elaboración del tablero, se identifican tres piezas constitutivas: tres tablas naturales unidas mediante adhesivo vinílico (PVA) y presión controlada. Las prensas tipo alacrán aseguran una distribución uniforme de la fuerza, lo que garantiza el contacto íntimo entre las superficies y una unión estructural estable. Este procedimiento es representativo del armado tradicional de tableros macizos, donde la alineación precisa y la calidad del adhesivo determinan la resistencia final del conjunto.

Figura 72. Armado de tablero de madera maciza de cedro achapo, con alacranes, prensas y adhesivos



El tablero representa una forma técnica de presentación del material, resultado de la transformación controlada de piezas individuales. A partir de él, se pueden fabricar las diferentes partes del mueble, como superficies, laterales, fondos o respaldos. Se considera que, a partir de esta etapa, la madera está acondicionada y habilitada para ser trabajada en esta presentación, tablero, y las demás formas prismáticas, listas para cumplir con los requisitos dimensionales, estructurales y estéticos del diseño. En la Figura 73 se pueden apreciar tableros elaborados para su uso en proyectos de prototipado de sillas (solo les faltan el cepillado manual y lijarlos con lijadoras electromanuales). Otras presentaciones de la madera comercial se pueden ver en la Figura 66.

Reparación superficial de la madera: emplasto con aserrín fino y sellador

Cuando se detectan defectos superficiales en la madera –como hendiduras, poros, grietas o irregularidades menores–, es necesario efectuar una reparación localizada antes de continuar con el proceso de elaboración o las etapas finales de acabado y armado.

Para este fin, se utiliza un emplasto artesanal, elaborado a partir de aserrín fino (preferiblemente del mismo tipo de madera, para asegurar compatibilidad cromática y estructural) y sellador para madera (que actúa como aglutinante y facilita la adherencia y el endurecimiento del material aplicado).

Figura 73. Tableros de madera natural armados



No se recomienda preparar el emplasto con aserrín y adhesivo base PVA, ya que este endurece en exceso al catalizar, lo que impide el lijado posterior y dificulta la adherencia de los acabados superficiales.

El emplasto se aplica directamente sobre las imperfecciones visibles, con espátula, rellenando los vacíos y nivelando la superficie, es decir, resanándola. Una vez seco, se procede a un lijado fino, que permite obtener una textura uniforme y adecuada para procesos posteriores como el encolado, el barnizado o el pintado.

Este procedimiento es especialmente útil en piezas visibles del producto final, donde se exige un alto nivel de acabado superficial. Además, permite optimizar el aprovechamiento del material, al evitar el descarte de piezas por defectos menores que pueden ser corregidos de manera eficaz.

A technical drawing of a gear assembly, rendered in a dark teal color. The drawing shows a central gear with several smaller gears or components around it, all connected by shafts. The drawing is detailed, showing the teeth of the gears and the shafts. The background is a grid of lines, suggesting a technical drawing or a blueprint.

Planeación de la elaboración
del prototipo

Paso 10

A partir del modelo 1:1 depurado, varias veces corregido y nuevamente dimensionado, se planea la elaboración de las partes del prototipo (pueden haberse realizado variaciones de diseño en el modelo a escala reducida). Entonces, se elaboran los planos requeridos para la planeación y elaboración.

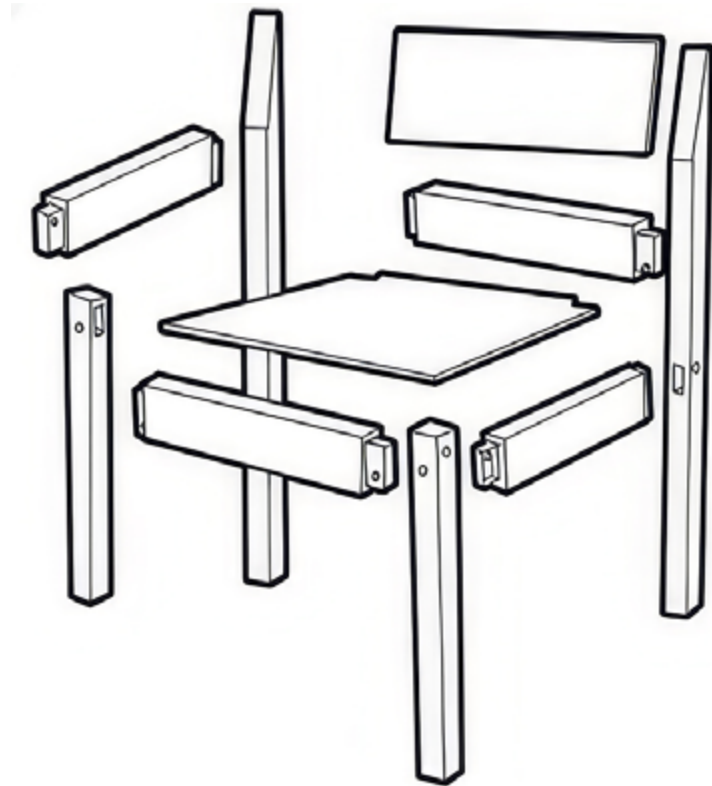
Estos planos preliminares o esquemas constructivos se deben realizar para todo el mueble y para cada una de sus partes. En ellos se incluyen, según convenga, planos con vista explosionada de las partes (ver Figura 74) para mostrar el orden en que se ensamblan, así como esquemas de detalle para determinar cómo se elaboran las partes complicadas, además del funcionamiento y la forma de obtención de los ensambles.

Para facilidad de explicación de este paso, se utilizará un diseño sencillo de una silla para usuario adulto como la que aparece en el rénder de la Figura 62 y sus partes constitutivas, que se muestran en la Figura 63. Se requiere, como se dijo más atrás, establecer

en fichas los datos de cada parte con el nombre, la cantidad, la numeración asignada, la identificación de la parte, el material y los procesos necesarios para la elaboración, además de plantear posibles soluciones para los ensambles y las uniones.

Si bien es cierto que esta propuesta de silla se puede considerar convencional y muy simple, es de suma utilidad pues ejemplifica de forma práctica la planeación del artefacto. Con prototipos más complicados la mecánica no cambia, si bien es probable que haya

Figura 74. Vista explosionada del artefacto de uso silla tipo



prototipos más difíciles de realizar ya sea por la cantidad de partes involucradas, el manejo de mayor número de materiales o la utilización de maquinaria, técnica o procesos más avanzados o complejos.

Esta etapa metodológica con las partes se puede denominar como asignación constructiva de componentes y materiales. En la propuesta de ejemplo de prototipo tenemos una silla muy sencilla con: dos patas delanteras, dos patas traseras, travesaño delantero y trasero, y lateral izquierdo y derecho, un asiento (única pieza) y un espaldar. La unión será mediante el uso de caja y espigo entre los travesaños y las patas (ver Figuras 74 y 75).

Figura 75. Despiece con nombres de las partes del artefacto de uso silla tipo

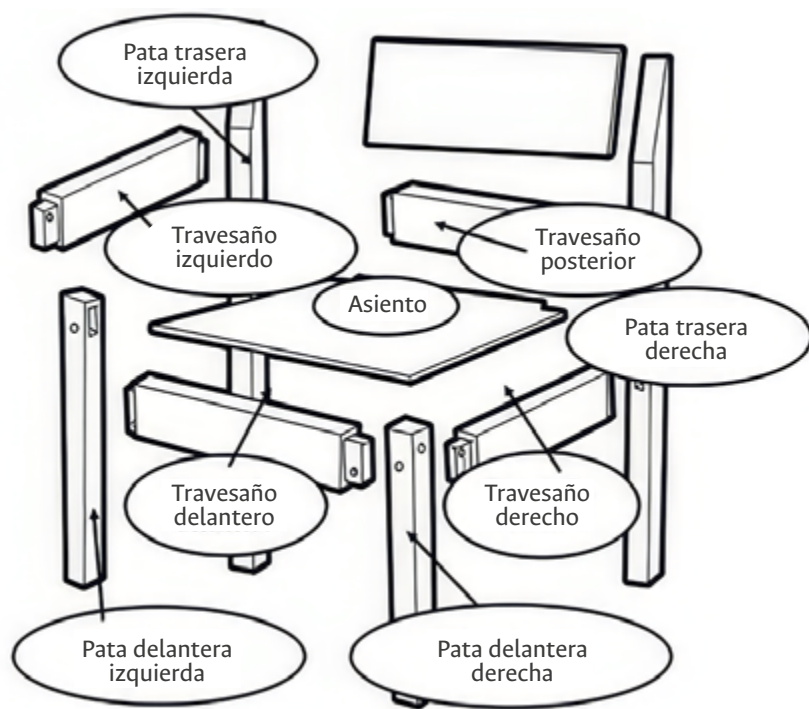


Figura 76. Rénder de propuesta de silla infantil



Es claro que cada propuesta de diseño tendrá sus partes específicas, tales como refuerzos, y quizá otras cantidades de ellas, pues cada prototipo de un diseño específico tiene unas particularidades que lo hacen diferente. Si se revisa la propuesta en rénder de una silla para niños, para uso en un jardín infantil, en la Figura 76, se verá que es muy similar a la de la Figura 62, pero cuenta con mayor cantidad

de partes, dimensiones diferentes y mayor estabilidad estructural, debido a su menor altura, mayor polígono de sustentación y partes proporcionalmente más anchas y pesadas.

En la Tabla 24 se resume la planeación de elaboración de un mueble tipo con madera previamente acondicionada o adquirida por proveeduría. Allí se presentan: las partes constitutivas, el nombre de cada parte, la cantidad de ellas, el material utilizado (tipo de madera y algunas medidas) y la maquinaria, las herramientas y algunos de los procedimientos y los procesos involucrados en su elaboración. En relación con los aspectos de maquinaria, herramientas y procesos, hay que tener en cuenta que se verán afectados si se utiliza madera de origen natural, madera industrial o una combinación de ellas. Con combinación se hace referencia a utilizar, por ejemplo, madera

natural, de carácter macizo, para las partes estructurales y madera artificial o industrial para las partes de apoyo o soporte.

Esta herramienta metodológica debe de ser realizada antes de elaborar el mueble, pues ayuda a ordenar las ideas y permite un acercamiento procedimental a la ejecución de la elaboración del prototipo. Este tipo de recurso es clave en la didáctica del diseño y la elaboración, porque permite organizar el trabajo.

Es aconsejable, como se ha ido señalando en otros lugares, que los proyectos de diseño tengan documentación que los acompañe, y en particular los de prototipado. Esa documentación incluye tabla de listado de partes a obtener, planos constructivos, ruta de elaboración, etc.

Tabla 24. Resumen de la planeación de elaboración de un mueble tipo

N.º de la parte	Nombre de la parte	Cantidad	Materia/medidas	Maquinaria/procesos
1	Pata delantera derecha	1	Cedro Sección cuadrada 40 × 40 mm, caja: de 12-13 mm de ancho, 30-34 mm de altura, 25-30 cm profundidad.	Obtención perfil de 40 × 40 mm. Corte a longitud con sierra circular, sierra radial o acolilladora. Hacer caja: trabajo con formón, mazo de madera, gramil, escuadra, taladro (opcional).
2	Pata delantera izquierda	1	Cedro Sección cuadrada 40 × 40 mm, caja igual que la pata delantera derecha.	Igual que pata derecha.
3	Pata trasera derecha	1	Cedro Sección cuadrada 40 × 40 mm, caja igual que la pata delantera derecha.	Igual que pata derecha.
4	Pata trasera izquierda	1	Cedro Sección cuadrada 40 × 40 mm, caja igual que la pata delantera derecha.	Igual que pata derecha.

5	Travesaños derecho e izquierdo	2	Cedro Sección rectangular: 30 × 40 mm, espiga (12-13 mm grosor, 30-34 mm altura, 25-30 mm longitud).	Obtención del listón de 30 × 40 mm. Cortar a la medida de la longitud con sierra circular, sierra radial o acolilladora. Para la espiga, marcar con gramil o escuadra y lápiz, cortar con sierra de costilla o serrucho de precisión. También con sierra circular con guía y guías paralelas o un trineo, se realizan cortes laterales para delimitar las caras de la espiga.
6	Travesaños delantero y trasero	2	Igual que travesaños derecho/izquierdo	Igual que travesaños derecho/izquierdo.
7	Asiento	1	Contrachapado de 9 mm de espesor	Corte por sierra circular (ancho y largo de la parte), más corte por sierra sin fin de los rebajes. Taladro manual o eléctrico manual, broca a la medida.
8	Espaldar	1	Contrachapado de 9 mm de espesor	Corte por sierra circular (ancho y largo de la parte). Taladro manual eléctrico.
9	Refuerzos	4	Cedro	Corte por sierra circular o sierra manual.
10	Pasadores	8	Proveeduría	Corte por sierra manual.
11	Tornillos para los refuerzos	8	Proveeduría	

Caso real 1: ejemplo de planeación del prototipo de silla Playita (nombre clave: proyecto Delta)

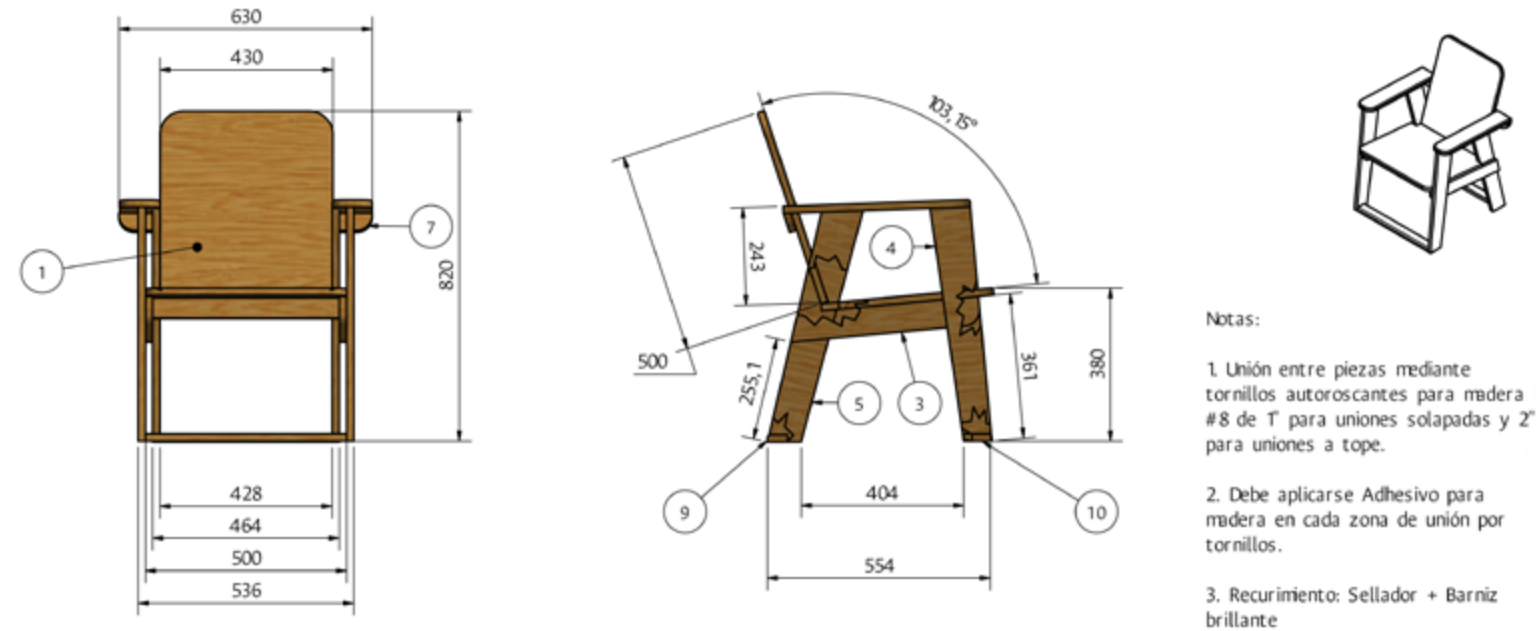
Como parte del proceso de diseño y elaboración del prototipo de la silla Playita, se presenta el listado de partes y algunos de los planos constructivos para la elaboración del prototipo en la Figura 77. Para estos se utilizó el diseño asistido por computador (CAD), cuyo carácter digital permitió realizar la tarea de forma rápida y precisa. Allí se observan, además del listado, las cotas principales representadas en tres vistas ortogonales: lateral, superior y frontal, notas acerca del sistema de unión planteado, por medio de tornillo y adhesivo, además de una perspectiva superficial del artefacto. En la Figura 78 se muestra el detalle ampliado del listado.

Proveeduría

Este prototipo fue construido con madera industrial, específicamente con lámina de contrachapado de 18 mm de espesor. El uso de madera industrial hace que el proceso de diseño sea más rápido y determinístico, pues no se contempla acondicionamiento de la madera para el trabajo ni obtención de la materia prima, en forma de tablero de madera maciza natural, listones, tablas, molduras o cualquier otra presentación posible.

En este caso, el asunto de la proveeduría se limita a comprar la lámina en empresas como Madecentro o Homecenter en Colombia, bien sea en tienda física o en línea; la ventaja de esta última es que el producto puede ser entregado en el lugar de nuestro interés.

Figura 77. Listado de partes y aproximación a los planos constructivos para la elaboración del prototipo de la silla Playita (Delta)

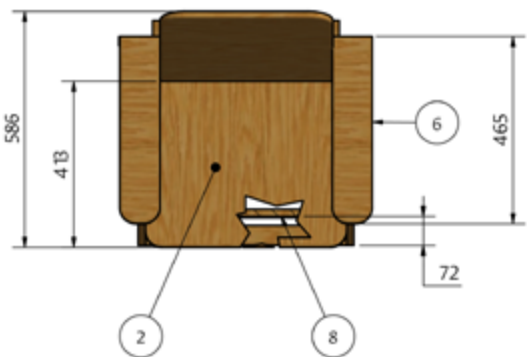


Notas:

1. Unión entre piezas mediante tornillos autoroscantes para madera #8 de T para uniones solapadas y 2" para uniones a tope.

2. Debe aplicarse Adhesivo para madera en cada zona de unión por tornillos.

3. Recurimiento: Sellador + Barniz brillante



10	Tensor frontal	1	500	50
9	Tensor trasero	1	428	50
8	Viga frontal	1	464	50
7	Soprote espaldar	1	630	50
6	Descansabrazos	2	465	100
5	Patras traseras	2	615	100
4	Patras frontales	2	590	100
3	Soprote asiento	2	475	70
2	Asiento	1	500	430
1	Espaldar	1	500	430
ITEM	Descripción	CTDAD	Longitud (mm)	Ancho (mm)

Lista de piezas

Creado por Daniel S. Guevara	Firma Fecha 2024/08/06	Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería Depto. ING. Mecánica y Mecatrónica	
Revisado por	Firma Fecha		
Aprobado por	Firma Fecha		
Mtd. Proyección 	Item NA	Título Ensamble silla Delta	Tipo de documento Plano de conjunto
Cantidad 1	Material	Formato A3	Escala 1: 10
		Hoja 1	Hoja 1
		Hoja 1	Hoja 1

Fuente: Imagen de Daniel Santiago Guevara.

El material industrial tiene ventajas adicionales en la estandarización, la trazabilidad y la especificación, pero tiene limitantes en la expresividad formal del material.

El diseño Playita contempla diez partes originales y una parte de catálogo. La unión seleccionada fue el ensamble a tope, con tornillos Phillips autorroscantes para madera y adhesivo base PVA.

Maquinaria y herramientas

Desde una perspectiva multidimensional, el proyectista o el equipo comienzan a definir qué tipo de maquinaria será necesaria para la elaboración de cada una de las partes o componentes, así como la secuencia de cortes o maquinados requeridos para su obtención. Para este diseño se planeó utilizar las máquinas: sierra circular de banco, sierra ingleteadora y sierra sin fin; y las herramientas electromanuales: sierra caladora, lijadoras orbitales, ruteadora manual y taladros eléctricos convencionales e inalámbricos. Los cortes rectos se harían con la sierra circular; los cortes transversales rectos e inclinados, con la sierra circular y la ingleteadora, y los cortes curvos, con la sierra sin fin o la caladora.

Aunque aquí no se recoge, para este prototipo de mobiliario se incluyó también la información concerniente a la denominación de las partes, la cantidad requerida de cada una, sus medidas finales, los pasos de elaboración, así como la selección indicada de

maquinaria y herramientas, tanto electromanuales como manuales, necesarias para su fabricación.

Figura 78. Detalle del listado de partes silla Playita (Delta)

ITEM	Descripción	CTDAD	Longitud (mm)	Ancho (mm)
10	Tensor frontal	1	500	50
9	Tensor trasero	1	428	50
8	Viga frontal	1	464	50
7	Soporte espaldar	1	630	50
6	Descansabrazos	2	465	100
5	Patatas traseras	2	615	100
4	Patatas frontales	2	590	100
3	Soporte asiento	2	475	70
2	Asiento	1	500	430
1	Espaldar	1	500	430

Lista de piezas						
Elaborado por	Firma	Fecha	Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería Depto. ING. Mecánica y Mecatrónica			
Daniel S. Guevara		2024/08/06				
Revisado por	Firma	Fecha				
Aprobado por	Firma	Fecha				
Mét. Proyección	Item	Título				Tipo de documento
	NA	Ensamble silla Delta	Plano de conjunto	Silla Delta		
	Cantidad	Material	Formato	Escala	Revisión	Plano
	1		A3	1 : 10	1	1/2

Fuente: Imagen de Daniel Santiago Guevara Rodríguez.

Caso real 2: ejemplo de planeación de la silla prototipo La Petite

Asignación constructiva de componentes y materiales

Esta silla está conformada por dos patas laterales de geometría circular, cada una compuesta por dos segmentos que se intersecan

y ensamblan en una configuración fluida, además de un asiento compuesto de dieciocho bolillos o cilindros de madera. Este diseño no solo responde a criterios estructurales, sino que también enfatiza la expresividad formal del artefacto. El rénder de esta silla prototipo puede verse en la Figura 79.

Para reforzar la identidad visual y facilitar la lectura direccional del conjunto, se implementó una alternancia de especies maderables según la orientación de cada componente:

- Pata derecha: compuesta de parte delantera en pino hayuelo (madera clara) y parte trasera en cedro Puerto Asís (madera oscura).
- Pata izquierda: compuesta de parte delantera en cedro Puerto Asís (madera oscura) y parte trasera en pino hayuelo (madera clara).

Este juego de variación genera un contraste visual intencionado, que permite distinguir la orientación de cada pata y aporta dinamismo al conjunto sin comprometer la simetría estructural.

El asiento está conformado por una serie de elementos cilíndricos paralelos, elaborados en madera otopo, seleccionada por su alta estabilidad dimensional y resistencia mecánica. Cada cilindro tiene un diámetro de 30 mm, y el conjunto está compuesto por veinte unidades:

- Dos cilindros largos: ubicados en los extremos superior e inferior del asiento, se fijan a las patas mediante encaje mecánico; actúan como elementos de anclaje estructural.

- Dieciocho cilindros flotantes: conforman la superficie útil del asiento; se unen entre sí mediante tensores internos que garantizan rigidez, absorción de carga y continuidad visual.

Figura 79. Rénder de la silla prototipo La Petite



Partes y piezas totales

La silla prototipo La Petite tiene un total de ocho partes (las patas derecha e izquierda resultan de ensamblar dos partes distintas). De ellas, siete son partes de diseño y una parte estándar. En total cuenta con ciento siete piezas, aproximadamente. En la Tabla 25 se puede observar el listado de partes y la planeación parcial.

Proveeduría

Lo necesario para la elaboración del mueble fue: piezas de madera maciza de cedro Puerto Asís y pino hayuelo (conocido también

como romerón); cilindros o bolillos de otobo; guayas o cables de acero; lijas circulares 80, 100, 120 para la lijadora orbital; pliegos de lija número 80, 120 y 160 para el lijado manual; adhesivo base PVA; sellador y laca. También fueron necesarias brocas.

Maquinaria y herramientas

Para este prototipo se planeó utilizar las máquinas planeadora, cepillo y sierra circular para el acondicionamiento, el trabajo de la madera y la obtención de las tablas para hacer los tableros. Para el ruteado de las partes se requiere una ruteadora CNC. También taladro de pedestal, taladros manuales, ruteadora electromanual,

Tabla 25. Listado de partes y planeación parcial de la silla prototipo La Petite

N.º de la parte	Nombre de la parte	Cantidad	Material	Proceso
1	Parte delantera, pata derecha	1	Tablero de pino	Ruteado CNC o corte sin fin y <i>router</i> manual
2	Parte trasera, pata derecha	1	Tablero cedro de Puerto Asís	Ruteado CNC o corte sin fin y <i>router</i> manual
3	Parte delantera, pata izquierda	1	Tablero de cedro Puerto Asís	Ruteado CNC o corte sin fin y <i>router</i> manual
4	Parte trasera, pata izquierda	1	Tablero de pino	Ruteado CNC o corte sin fin y <i>router</i> manual
5	Bolillos o cilindros de madera cortos flotantes,	18	Bolillos de otobo, cortos, diámetro 30 mm	Corte a medida por sierra o torneado y cortado, taladrado, lijado
6	Bolillos o cilindro de madera largos flotantes	2	Bolillos de otobo, largos, diámetro 30 mm	Corte a medida por sierra o torneado y cortado, taladrado, lijado
7	Tensores	3	Alambre de acero de alto contenido de carbono (proveeduría)	Corte a medida por cortafríos
8	Separadores	80	Tubos separadores de madera, con diámetro interior mayor que el diámetro del alambre (proveeduría)	Corta con sierra y lijado

lijadoras rotoorbitales, varias herramientas de mano y pistola para aspersión del acabado superficial.

Las partes de la patas se realizan utilizando una ruteadora de control numérico, cortando y desbastando material de tableros de madera maciza, elaborados previamente. La opción elegida es hacer uso de tecnología CAD-CAM-CNC¹².

Los cilindros de otobo se cortan a la medida requerida. En cada uno de ellos se taladran cuatro orificios pasantes, es decir, que los atraviesan de lado a lado, distribuidos con distancias uniformes; por allí pasarán los tensores. Después se realiza el lijado superficial.

Caso real 3: ejemplo de planeación de la silla prototipo Vacoom

El prototipo Vacoom, correspondiente a la propuesta de bocetación que se presenta en la Figura 10 y al modelo preliminar a escala 1:5 de la Figura 21, puede apreciarse como resultado final en la exposición de divulgación en el Museo Leopoldo Rother de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá; aquí aparece en la Figura 82 y la Figura 152. Como el lector puede observar en las figuras indicadas, esta es una pieza de mobiliario que, debido a su concepción como diseño, su composición formal y su construcción

¹² Diseño asistido por computador-manufactura asistida por computador-control numérico computarizado.

estructural, requiere de la obtención de varias piezas constitutivas e implica un armado dispendioso.

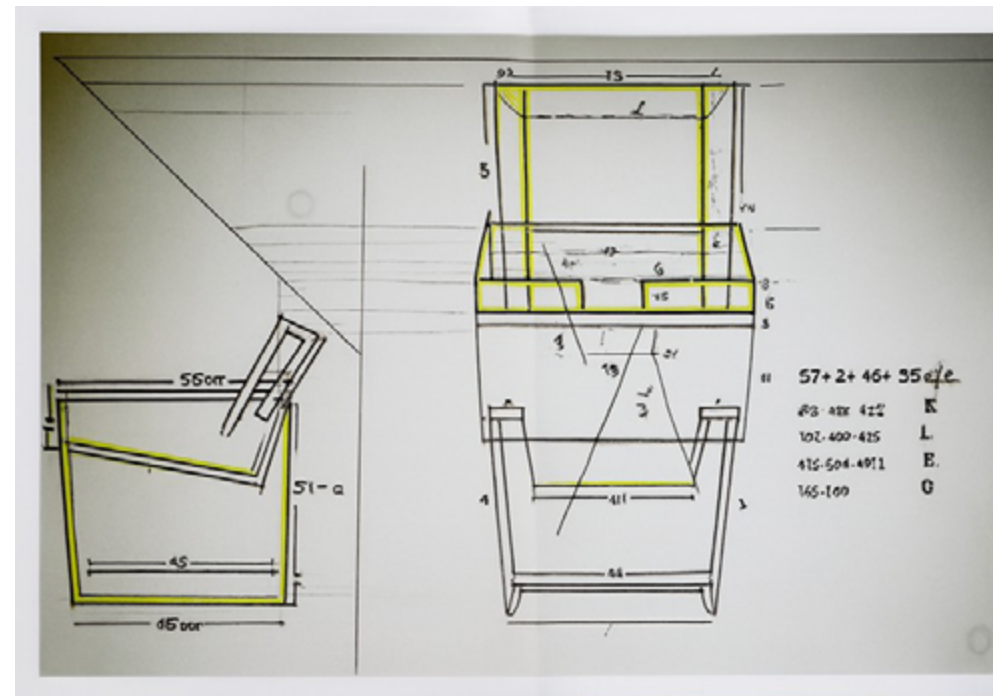
En la Figura 80 se pueden ver los planos constructivos y parte de la planeación del prototipo.

En la Figura 81 se puede observar una vista isométrica constructiva y las cotas del prototipo; y el resultado final en la Figura 82.

Partes y piezas totales

La silla prototipo Vacoom tiene un total de catorce partes, diez de ellas en madera de sapán y cuatro en perillo. No tiene partes

Figura 80. Planos constructivos y parte de la planeación del prototipo de la silla Vacoom



normalizadas o de catálogo. No se incluyen en esta cantidad los refuerzos ni los tarugos, que son invisibles.

Las partes en perillo corresponden a dos apoyabrazos y dos soportes traseros de unión del espaldar.

Las partes en sapán corresponden a un espaldar principal, un espaldar secundario o falso espaldar, un lateral derecho, un lateral izquierdo, un asiento, una pared lateral del asiento derecha, una pared lateral del asiento izquierda, una parte o fondo inferior grande, una parte inferior derecha, una parte inferior izquierda.

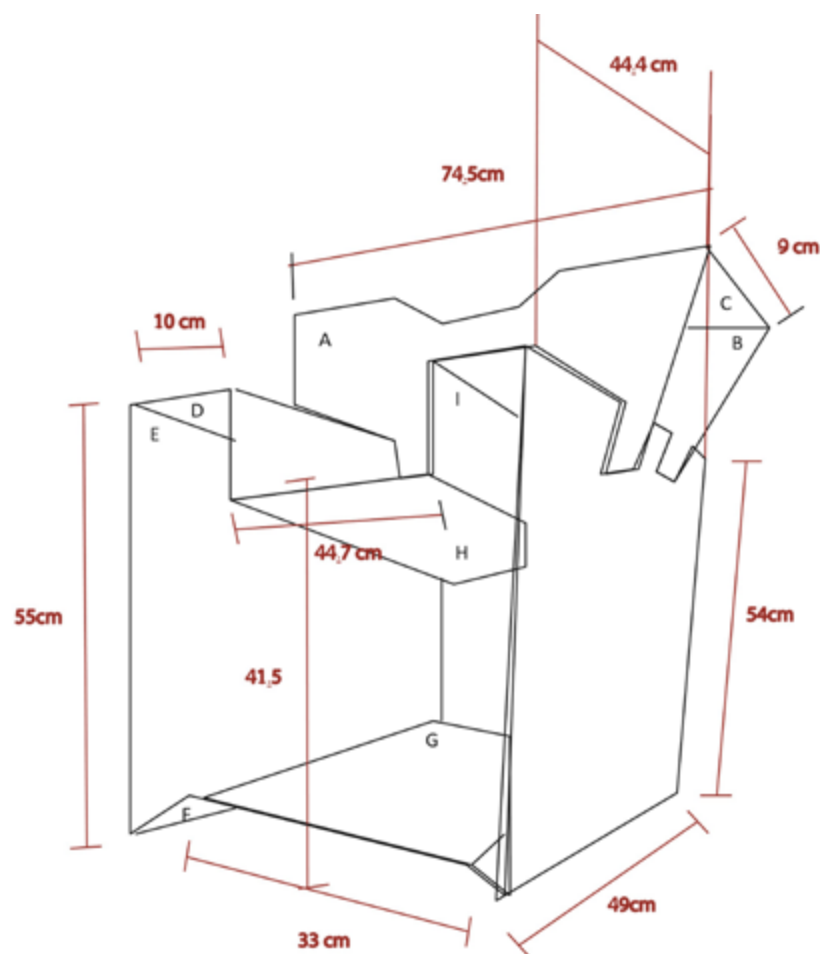
Proveeduría

Son necesarias piezas de madera maciza: sapán (color oscuro) y perillo (color claro); lijas circulares 80, 100 y 120 para la lijadora rotoorbital (para eliminar irregularidades, marcas de corte y preparar las superficies); pliegos de lija número 80, 120 y 160 (para suavizar bordes, uniones y zonas donde la lijadora no llega); adhesivo base PVA; sellador y laca.

Maquinaria y herramientas para la elaboración

Después de la adquisición del material, para la elaboración de los tableros de sapán y perillo se requiere acondicionar la madera. Para

Figura 81. Isometría constructiva y cotas del prototipo silla Vacuum



este proceso se utiliza planeadora, cepillo, sierra circular, prensas de armado grandes (alacranes), cepillo manual y lijadoras rotoorbitales.

Para la elaboración de cada una de las catorce partes se necesitan las máquinas: sierra circular de banco y sierra ingleteadora o sierra de brazo; así como las herramientas electromanuales: ruteadora, taladro y lijadoras rotoorbitales; y las herramientas manuales: segueta o sierra de mano y formones.

Para el armado del prototipo se requieren: prensas rápidas (sargentos), prensas grandes (alacranes) y creatividad para ingeniar otros artilugios de armado.

Como evidencia de la efectividad del método sistemático aplicado en la elaboración de prototipos, se presenta en la Figura 152 una imagen real del prototipo de silla diseñado, resultado directo de las etapas proyectuales desarrolladas. Esta representación permite validar la coherencia entre el proceso de planificación y su materialización física.

En este punto inicia la fase operativa del proyecto, en la cual es necesario establecer un mapa de ruta de trabajo a modo de cronograma, que contemple tanto las actividades como los tiempos estimados para su ejecución. Este proceso debe desarrollarse de la forma más

Figura 82. Silla prototipo Vacoom



organizada y consciente posible, con el fin de evitar errores que puedan derivar en costos adicionales de tiempo o recursos.

Esto no implica desconocer el valor del error, la importancia de la aleatoriedad o la presencia de la serendipia, elementos que acompañan de manera natural los procesos creativos. En efecto, el diseño y la elaboración de prototipos constituyen una actividad inherentemente incierta, donde la exploración, el descubrimiento y la adaptación son parte esencial del aprendizaje proyectual.

Algunas formas de unión: ensambles, encajes y uniones roscadas

La selección del tipo o los tipos de ensamble más apropiados para una pieza de mobiliario es una decisión crítica en el proceso proyectual, y en especial en la planeación, que debe abordarse desde múltiples dimensiones. Esta elección no solo determina la viabilidad técnica del prototipo, sino que también incide directamente en su comportamiento estructural, su expresión formal-estética, su coherencia compositiva, su carga simbólica y su factibilidad tecnológica.

Desde la dimensión estructural, el ensamble debe garantizar la estabilidad, la resistencia y la durabilidad del mobiliario, de modo que responda a los requerimientos mecánicos propios del uso previsto. En el plano formal-estético, el tipo de unión puede reforzar la identidad visual del objeto, evidenciar la destreza

artesanal o su lenguaje industrial, o integrarse de manera discreta en la morfología general.

En términos compositivos, el ensamble debe dialogar con los patrones de diseño, respetando sus ritmos, proporciones y direccionalidades. La dimensión simbólica permite que ciertos tipos de unión –como el encaje, la espiga o el ensamble a media madera– evoquen tradiciones constructivas, valores culturales o referencias históricas del oficio. Finalmente, la viabilidad tecnológica implica considerar los recursos disponibles, las herramientas, el nivel de precisión requerido y la compatibilidad con los materiales seleccionados.

Una elección consciente y argumentada del sistema de ensamble no solo optimiza el rendimiento del prototipo, sino que enriquece su narrativa proyectual y lo convierte en una pieza coherente, significativa y técnicamente sólida.

La silla prototipo Neobiliaes, por ejemplo, fue concebida mediante el ensamble por encaje, técnica seleccionada en función de los patrones compositivos que estructuran su diseño. Esta decisión constructiva responde a la necesidad de preservar la continuidad geométrica y la precisión en los cortes angulados que caracterizan su morfología. Inspirada en la obra del maestro Omar Rayo, la silla incorpora un lenguaje visual basado en la abstracción geométrica y el contraste cromático, elementos distintivos del legado gráfico del artista. Para lograr este efecto, se emplearon dos especies de madera con tonalidades marcadamente diferenciadas: flor morado, de tono claro, y granadillo, de tono oscuro. La interacción entre

ambas genera un patrón de alto contraste que refuerza la expresividad formal del prototipo (ver Figura 83).

Ensamblajes para maderas

Un ensamble para maderas es una forma de unión entre dos o más partes de madera diseñada para proporcionar estabilidad estructural, resistencia y, en muchos casos, una estética coherente con el mueble o producto. Estos ensambles se logran mediante cortes, ajustes y configuraciones específicas en las partes, y se complementan con adhesivos (base PVA), puntillas, tornillos u otras uniones mecánicas (visibles o invisibles), según el tipo de diseño y elaboración considerados.

Uno de los ensambles básicos más comunes en muebles simples y que permite unir piezas con facilidad es el ensamble a tope, donde las piezas se unen directamente en sus extremos o caras. Se utiliza en muebles donde no se requiere alta resistencia. La fijación

se realiza sin puntillas o tornillos, únicamente con adhesivo, aplicado a las superficies previamente tratadas (para que el adhesivo penetre, se obran huellas o heridas superficiales a las caras de unión de forma controlada); se deben utilizar prensas de fijación (ver Figura 84).

Figura 83. Silla prototipo Neobiliaes



Ensamble a media madera

Consiste en rebajar dos piezas, que se unirán hasta la mitad de su grosor en alguna parte de su longitud. El ensamble a media madera más usual es en el extremo de los elementos, pues

Figura 84. Ensamble a tope en una parte de una silla hecho solo con adhesivo



permite una unión plana y estable. Es comúnmente utilizado en la fabricación de muebles simples, marcos y estructuras, debido a su facilidad de ejecución y resistencia adecuada para aplicaciones no estructurales de alta carga.

La fijación se realiza principalmente mediante adhesivos base PVA, aunque en algunos casos se emplean tornillos o tarugos como refuerzo; esto último, sin embargo, no es habitual en aplicaciones tradicionales.

Este tipo de ensamble puede ejecutarse con diversas herramientas, tanto electromanuales como manuales, entre ellas: sierras circulares de banco, sierras radiales, sierras acolilladoras, sierras sin fin, así como serrucho de costilla y formones.

Existen diversas variantes del ensamble a media madera, entre las que se destacan:

- **Media madera a 45 grados:** utilizado para esquinas, mejora la estética y la distribución de esfuerzos.
- **A media madera:** cuando los rebajes no se ubican en los extremos sino en zonas intermedias, lo que genera cajas a media madera que permiten uniones internas (ver Figura 85).

La profundidad del rebaje puede variar según el diseño. Es común el rebaje a 1/3 del grosor de la madera en ciertas aplicaciones, lo que permite una mayor flexibilidad en el armado sin comprometer la resistencia.

Ensamble por tarugos (pasadores o espigas)

Este tipo de unión emplea elementos cilíndricos de madera, conocidos como tarugos o espigas, que sirven para conectar dos piezas. El procedimiento consiste en perforar, con taladro, orificios alineados en ambas partes e insertar los tarugos con adhesivo para lograr una unión firme y precisa. Se utiliza principalmente en la fabricación de armarios, mesas y mobiliario del tipo RTA (*ready to*

Figura 85. Ensamble a media madera



assemble), donde suele complementarse con uniones a tope y, en algunos casos, tornillos, lo que facilita el montaje y desmontaje del mueble. Cuando se realiza adecuadamente, con el apoyo de herramientas y máquinas modernas (taladro multiusos, máquinas de control numérico), este método resulta sencillo, resistente y de alta precisión (ver Figura 86).

Encajes en madera

Los encajes en madera son una técnica de unión que permite ensamblar dos piezas mediante el ajuste preciso de una dentro de la otra, como si fueran una caja y su tapa, para formar una unión rígida sin necesidad de puntillas ni tornillos. Esta unión se logra

Figura 86. Ensamble por tarugos o pasadores



mediante desbastes o rebajes complementarios en las piezas, diseñados para un acople exacto. En algunos casos, los encajes pueden ser desarmables, por medio de elementos auxiliares como clavijas o tarugos.

Entre los tipos más comunes se encuentran:

- Encaje caja y espiga
- Encaje cola de milano
- Ensamble a media madera tipo encaje

Encaje caja y espiga

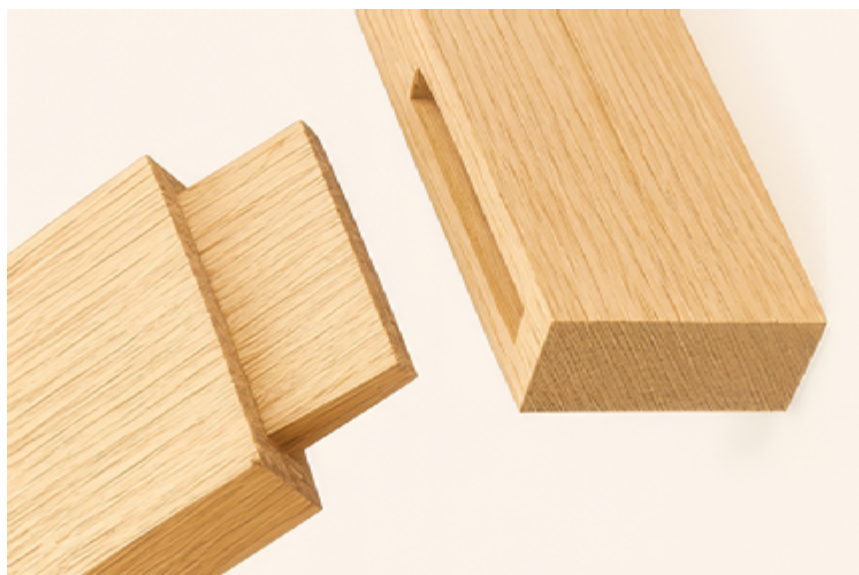
Este tipo de unión consiste en que una de las piezas presenta una cavidad (caja o hembra), mientras que la otra posee una prolongación (espiga o macho) que se inserta en dicha cavidad. Es ampliamente utilizado en la fabricación de sillas, mesas y puertas, ya que proporciona resistencia estructural y rigidez, especialmente cuando se complementa con adhesivos. En el lenguaje técnico y popular, también se le conoce como encaje macho-hembra o machimbre (ver Figura 87).

La profundidad de la caja suele ser entre $2/3$ y $3/4$ del ancho de la pieza que la recibe, para garantizar resistencia. El ancho de la caja debe ser apenas mayor que el espesor de la espiga (tolerancia mínima, usualmente 0,2-0,5 mm). El grosor de la espiga debe ser aproximadamente $1/3$ del espesor de la pieza portante, y se deben dejar hombros que aporten estabilidad.

Encaje cola de milano

El encaje tipo cola de milano (por guardar similitud con la cola de esta ave) se caracteriza por cortes en forma de trapecio (forma positiva), que se acoplan con cavidades de igual geometría, pero inversa (forma negativa), para formar un ensamble (encaje) tipo

Figura 87. Encaje caja y espiga



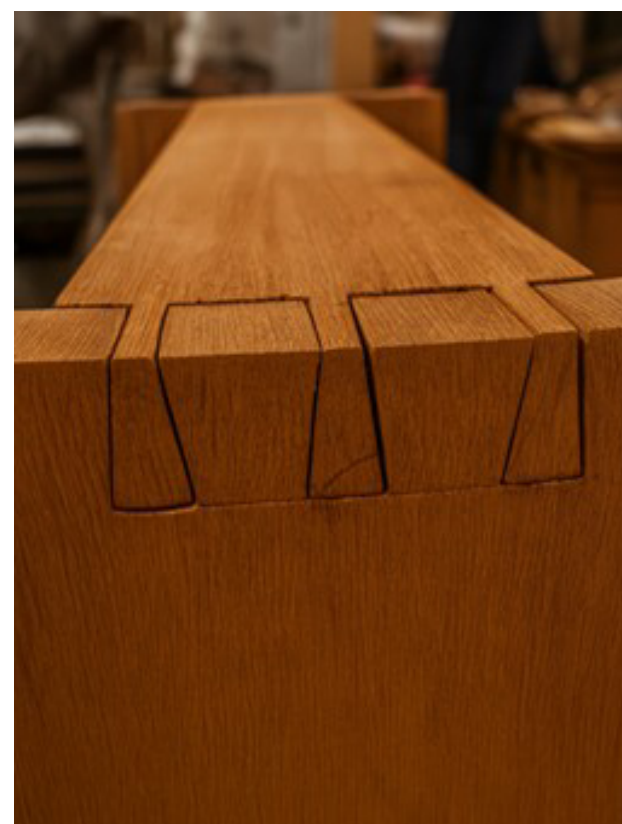
macho-hembra. Esta configuración impide el deslizamiento y el desacople de las partes, y proporciona una unión altamente resistente (ver Figura 88).

Es ampliamente utilizado en la construcción de muebles elaborados, especialmente en cajones, estructuras decorativas y carpintería fina,

debido a su capacidad para soportar cargas de tracción y torsión. Además de su funcionalidad estructural, este tipo de encaje transmite una sensación de dominio técnico sobre la madera, gracias a su estética precisa a la vez industrial y artesanal.

Se elaboran, de forma rápida, mediante fresas tipo cola de milano montadas en la herramienta electromanual ruteadora; también

Figura 88. Encaje cola de milano



pueden elaborarse con sierras y formones, pero resulta un trabajo más dispendioso.

La unión se realiza mediante adhesivos, lo que elimina la necesidad de puntillas o tornillos, y mantiene la limpieza visual y la integridad del diseño.

Existen también otros tipos de ensamble y encaje, que se deben consultar para seleccionar con cuidado el que sea más adecuado según los requerimientos específicos del mueble. Cada tipo de ensamble ofrece ventajas particulares en términos de resistencia, rigidez, desmontabilidad y acabado, por lo que su elección debe responder a criterios técnicos y de diseño. Entre los factores a considerar están la función estructural, la estética, el tipo de carga y el proceso constructivo.

Para un panorama general, se presentan en la Tabla 26 algunos tipos de ensambles, con las variantes más utilizadas en carpintería y ebanistería.

Tabla 26. Algunos tipos de ensamble y encaje

Tipo de ensamble o encaje	Características
Ensamble a tope	Unión simple donde dos piezas de madera se unen en ángulo recto.
Ensamble de media madera	Se realiza un rebaje, a la mitad del grosor, en las tablas que se entrelazan entre sí.
Encaje caja y espiga	Una espiga (proyección) se inserta en una caja (cavidad).

Tipo de ensamble o encaje	Características
Encaje cola de milano	Corte trapezoidal que se encaja en una ranura correspondiente. macho-hembra.
Ensamble de inglete	Unión en ángulo de 45 grados.
Ensamble por tarugos	Pequeños orificios en los cantos de las maderas se unen mediante espigas o clavijas del mismo diámetro.
Encaje de lengüeta y ranura	Una lengüeta (proyección) se inserta en una ranura.
Encaje de ranura y lengüeta	Similar al de lengüeta y ranura, pero con una ranura continua.

Encajes de alta precisión

Además de los tradicionales, es posible implementar encajes altamente elaborados o de mayor precisión, especialmente en proyectos que requieren acabados finos, tolerancias ajustadas y alto desempeño estructural o estético. Estos encajes suelen aplicarse en ebanistería avanzada, carpintería decorativa y mobiliario de autor, donde la calidad del ajuste y la expresión de la técnica o el material son fundamentales.

Entre ellos se encuentran los encajes de madera tradicionales japoneses (conocidos como *shiguchi* o *kigumi*), famosos por su complejidad y por unir piezas sin necesidad de clavos, tornillos ni adhesivos, solo basados en la precisión del corte de la madera (ver Figura 89).

Figura 89. Encajes de madera tradicionales japoneses



Uniones roscadas

Tornillos autorroscantes para madera

Los tornillos autorroscantes constituyen una excelente opción para fijar piezas de madera sin necesidad de perforaciones previas. Su diseño incluye una punta afilada y una rosca cortante, que les permite penetrar y formar su propia rosca en el material al momento de ser introducidos. Este tipo de tornillos proporciona uniones firmes, rápidas y precisas, especialmente útiles en procesos de ensamble y montaje donde se requiere eficiencia y facilidad de instalación (ver Figura 90).

Uniones mecánicas: tuerca y tornillo

En ciertos casos, especialmente cuando se requiere desmontabilidad, mantenimiento o refuerzo estructural, es importante considerar

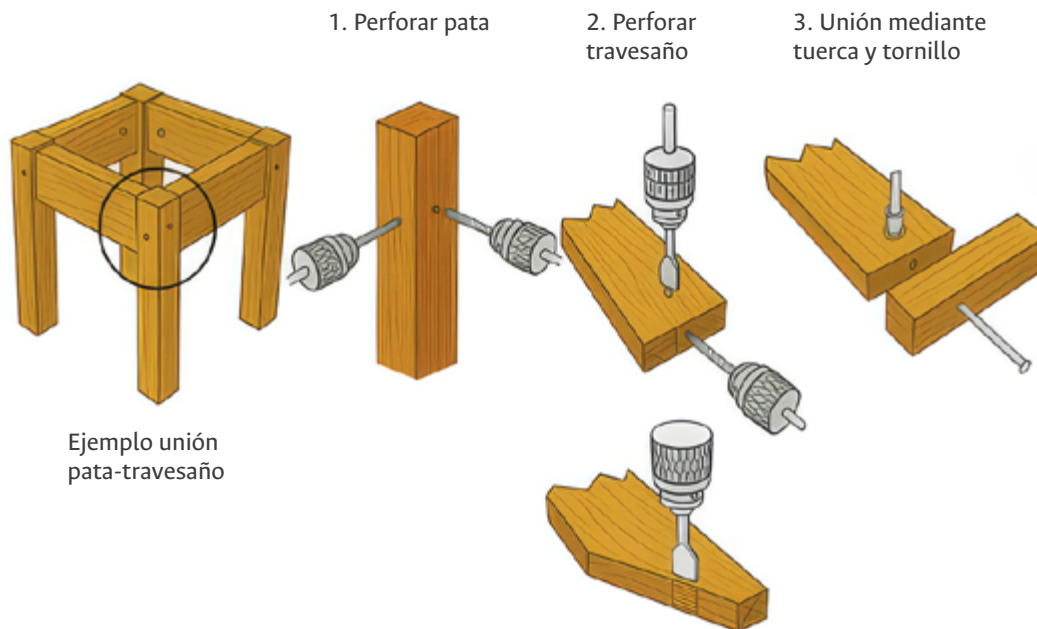
Figura 90. Tornillos autorroscantes para madera con acabado negro



el uso de uniones mecánicas tipo tuerca-tornillo. Este tipo de unión permite ensamblajes firmes y reversibles, lo que facilita el armado y desarmado sin comprometer la integridad del mueble.

Un ejemplo representativo se muestra en la Figura 91, donde se observa el ensamble de patas y travesaños mediante el uso de unión roscada tuerca-tornillo. Esta configuración es común en muebles modulares, estructuras desmontables y mobiliario técnico, ya que proporciona resistencia, estabilidad y facilidad de mantenimiento.

Figura 91. Ensamble de patas y travesaños mediante tuerca-tornillo



El orificio para pasar el tornillo se realiza con broca helicoidal; y la cavidad para alojar la tuerca, con broca de espada o Forstner.

Uniones roscadas en mobiliario modular

El uso de uniones roscadas –como pernos, barras roscadas, tuercas y tornillos– representa un recurso estratégico en el diseño de mobiliario, especialmente cuando se busca construir formas basadas en la repetición, el ritmo y la serialidad. Esta lógica compositiva se evidencia en el prototipo de la silla tumbona Indiana, Figura 92, donde la disposición paralela de listones genera una estructura rítmica y coherente.

Este tipo de unión no solo aporta resistencia estructural y facilidad de montaje, sino que también permite una modulación precisa de los elementos que favorece la alineación exacta de piezas repetitivas como listones o perfiles. Su carácter desmontable simplifica el mantenimiento, el transporte y la adaptabilidad del mueble a distintos contextos de uso, sin comprometer la estabilidad ni la limpieza visual del conjunto.

En diseños donde la estética se construye a partir de patrones rítmicos, las uniones roscadas permiten mantener la coherencia formal, al tiempo que integran funcionalidad y expresión material con un alto grado de precisión técnica.

Figura 92. Silla tumbona Indiana



Tornillo tipo euro

El tornillo euro, con cabeza avellanada y cavidad Allen (hexagonal), es ideal especialmente para muebles con ensambles ocultos y estructurales en madera maciza, aglomerada, MDF o contrachapado. Su diseño está pensado para facilitar uniones firmes y ocultas, en particular en estructuras modulares, armables o de panel, como estanterías, escritorios, camas, muebles de cocina y mobiliario escolar. Gracias a su rosca optimizada para madera y su longitud, este tornillo ofrece una excelente penetración. Se encuentran en el mercado en diámetros de 6 a 8 mm y largos de 30 a 70 mm o más. En la Figura 93 se observa un tornillo euro para muebles de diámetro y largo especificado.

Figura 93. Tornillo euro para muebles de $\varnothing 7 \times 50$ mm, con cabeza avellanada en acero galvanizado tipo Allen



Ensamblados con conectores mecánicos: sistema Minifix

Conviene considerar, según el caso, el uso de ensambles con conectores mecánicos, los cuales incluyen tornillos -ocultos o visibles-, pernos y herrajes específicos para madera. Estos pueden complementarse con tarugos o pasadores de madera, ampliamente utilizados en muebles tipo RTA, modulares, desmontables o prefabricados. Este tipo de mobiliario se caracteriza por su facilidad de montaje y desmontaje, que para asegurarla exige precisión en la elaboración de las cavidades que alojan los elementos de unión.

En particular, el sistema Minifix, desarrollado por Häfele en 1980, constituye una solución altamente eficiente para ensambles mecánicos en muebles modulares o tipo RTA. Su diseño permite una unión sólida, desmontable y estéticamente discreta, lo que ha sido determinante en la evolución de los procesos de producción estandarizados y en la simplicidad de montaje por parte del usuario final.


Este sistema está compuesto por dos elementos principales:

- Caja excéntrica (tambor): pieza circular que se inserta en una cavidad de 15 mm de diámetro en el panel del mueble. Su diseño excéntrico genera fuerza de tracción al girarla, lo que asegura una unión firme entre componentes.
- Perno cilíndrico: se instala en el panel opuesto y encaja en la caja excéntrica. Al accionar el tambor, el perno es jalado hacia él y así consolida el ensamble. Las dimensiones técnicas recomendadas son: diámetro de cabeza de 6 mm, longitud de rosca de 34 mm y orificio de inserción de 11 mm.

Gracias a su precisión y versatilidad, el sistema Minifix se ha convertido en un estándar dentro de la industria del mueble, pues permite soluciones constructivas limpias, eficientes y compatibles con procesos de fabricación automatizados (ver Figura 94).



Figura 94. Sistema Minifix de ensamble mecánico para muebles tipo RTA



Elaboración del mueble

Paso 11

Esta etapa es crucial para el cumplimiento del objetivo del proyecto, y se fundamenta en todo el trabajo previo de carácter intelectual y fáctico. Antes de abordar la construcción de la pieza de mobiliario, es indispensable comprender el proyecto en su totalidad.

Diseñar implica acción: se transita desde el concepto de diseño hacia la bocetación; del boceto al modelo; del modelo al plano o esquema constructivo; de allí a la planeación técnica, y, finalmente, a la elaboración material. Este proceso encadenado da coherencia entre la intención proyectual y su ejecución física.

Dado su carácter de prototipo, se ha señalado que es altamente probable que, durante el desarrollo y evolución del proyecto, las partes sufran modificaciones –ya sean menores o significativas– que incidan directamente en el resultado final. Estas variaciones forman parte del proceso iterativo propio del diseño propositivo,

en el que la adaptación y el ajuste continuo permiten afinar tanto la funcionalidad como la coherencia constructiva del artefacto.

En este punto, el proyectista debe revisar minuciosamente la lista de partes, con sus nombres, cantidades, funciones; el volumen de material requerido, así como la familia o tipo de material que será transformado (especies de madera maciza, tipo de madera industrial). También debe definir qué maquinaria y herramientas serán necesarias o probables para la obtención de cada componente.

Se deben tener planos preliminares o esquemas constructivos, derivados del modelo a escala 1:1 consolidado. Estos planos no son de estricta naturaleza técnica, son más bien representaciones o dibujos que guían el trabajo. En la Figura 95 se observa la acción de dibujar los planos constructivos del proyecto silla prototipo Cathedra; y en la Figura 96, el esquema constructivo.

Figura 95. Dibujo de los planos constructivos del proyecto silla prototipo Cathedra

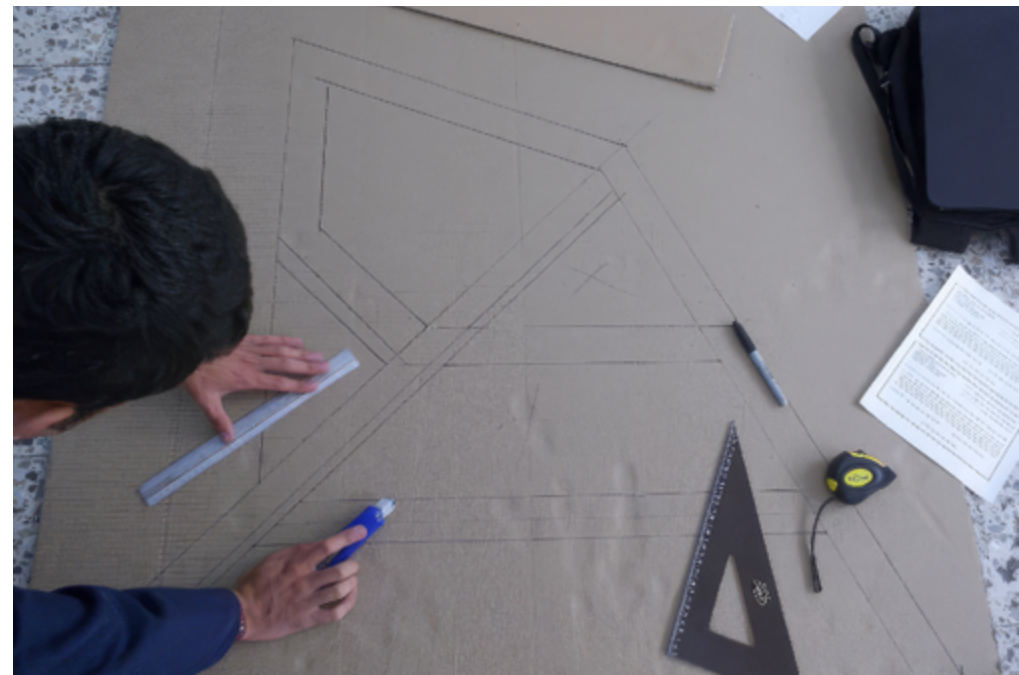
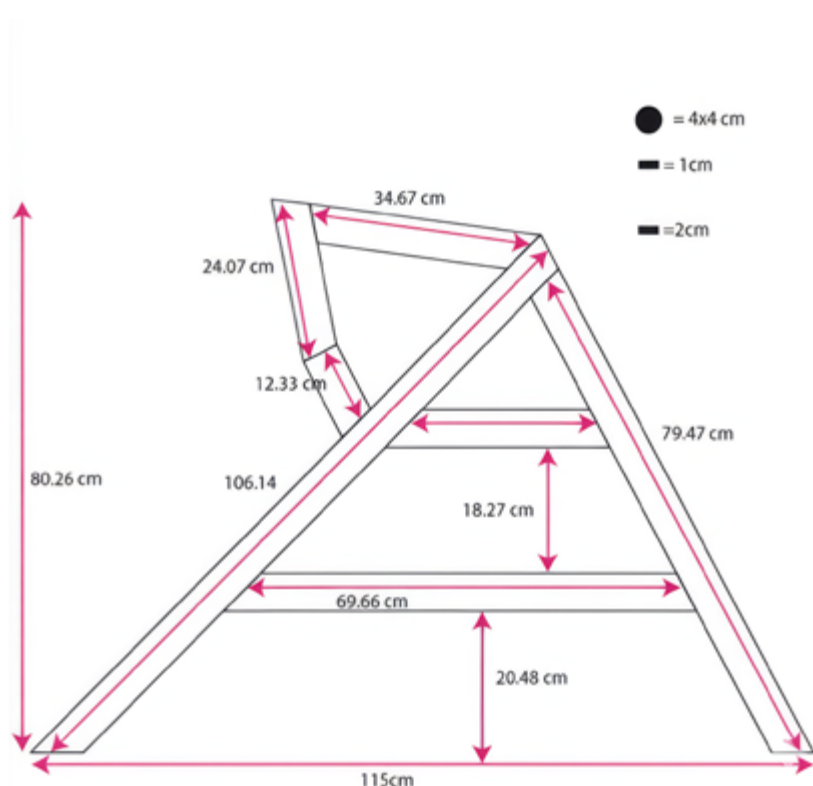


Figura 96. Esquema constructivo del proyecto silla prototipo Cathedra



Así mismo, es posible emplear plantillas físicas, complementadas con esquemas constructivos y planos preliminares derivados del modelo a escala 1:1, los cuales permiten representar y aproximar con mayor fidelidad las dimensiones reales del objeto proyectado. Estos recursos, junto con otros tipos de representación técnica, facilitan la elaboración y/o el corte de las partes mediante dos enfoques tecnológicos complementarios: por un lado, el uso de tecnología

tradicional de remoción de material; por otro, la implementación de tecnologías CAD-CAM.

La gran ventaja de contar con un dibujo, esquema o modelo realizado por computador (CAD) radica en que, por su naturaleza digital, estos son editables, evaluables y transformables, entre muchas otras posibilidades. Su flexibilidad permite realizar modificaciones rápidas y precisas durante las etapas de diseño y elaboración del prototipo, lo que optimiza tiempos y recursos. Además, a partir de un modelo digital es posible realizar análisis estructurales, simulaciones o evaluaciones funcionales, y esto amplía significativamente el alcance del proceso proyectual.

En determinados casos, resulta pertinente optar por un enfoque híbrido que combine herramientas tradicionales con los procesos de modelado digital (CAD) y manufactura computacional (CAM), con lo que se logra una integración entre ambas rutas. Esta articulación, al favorecer la aproximación dimensional, la trazabilidad del proceso y la optimización de los recursos constructivos, otorga coherencia entre la intención del proyecto y su ejecución material.

Para los procesos tradicionales se dispone de un amplio inventario de herramientas de mano, herramientas eléctricas portátiles y maquinaria especializada, que se puede revisar en el paso 9B.

La bocetación y la construcción tradicional de modelos, tanto a escala reducida (1:5) como en tamaño real (1:1), permiten abordar con mayor precisión y detalle los procesos de obtención de la

forma. Estos modelos constituyen una base sólida para la elaboración manual de los planos constructivos, los cuales pueden ser complementados –o, según el caso, sustituidos– por diseños asistidos por computador mediante *software* especializado. Es fundamental que dichos planos, ya sean en formato físico o digital, se deriven directamente de los modelos tridimensionales elaborados y se ajusten a la escala y a los requerimientos específicos de cada proyecto (ver Figura 111).

Dado el caso, una vez realizado el dibujo asistido por computador, se aplican tecnologías CAD-CAM para efectuar el corte de las piezas en tableros de madera mediante ruteadoras tipo CNC, es decir, máquinas operadas por control numérico computarizado. Para emplear este tipo de tecnología, los proyectistas deben, como se mencionó anteriormente, desarrollar previamente un modelado digital con programas especializados como Rhinoceros o AutoCAD, entre otros. Posteriormente, estos archivos se trasladan a un *software* CAM, como RhinoCAM –un *plug-in* de Rhinoceros–, donde se convierten al lenguaje de máquina requerido por el sistema de control numérico. En la Figura 97 se observa parte del proceso de elaboración de un prototipo mediante el uso de tecnología CAD-CAM.

No obstante, existe un aspecto problemático: las tecnologías de maquinado asistido por computador aún están lejos de encontrarse de manera habitual en los talleres o laboratorios convencionales dedicados al trabajo en madera. Su incorporación requiere infraestructura especializada, equipos de alto costo y personal capacitado en el manejo de

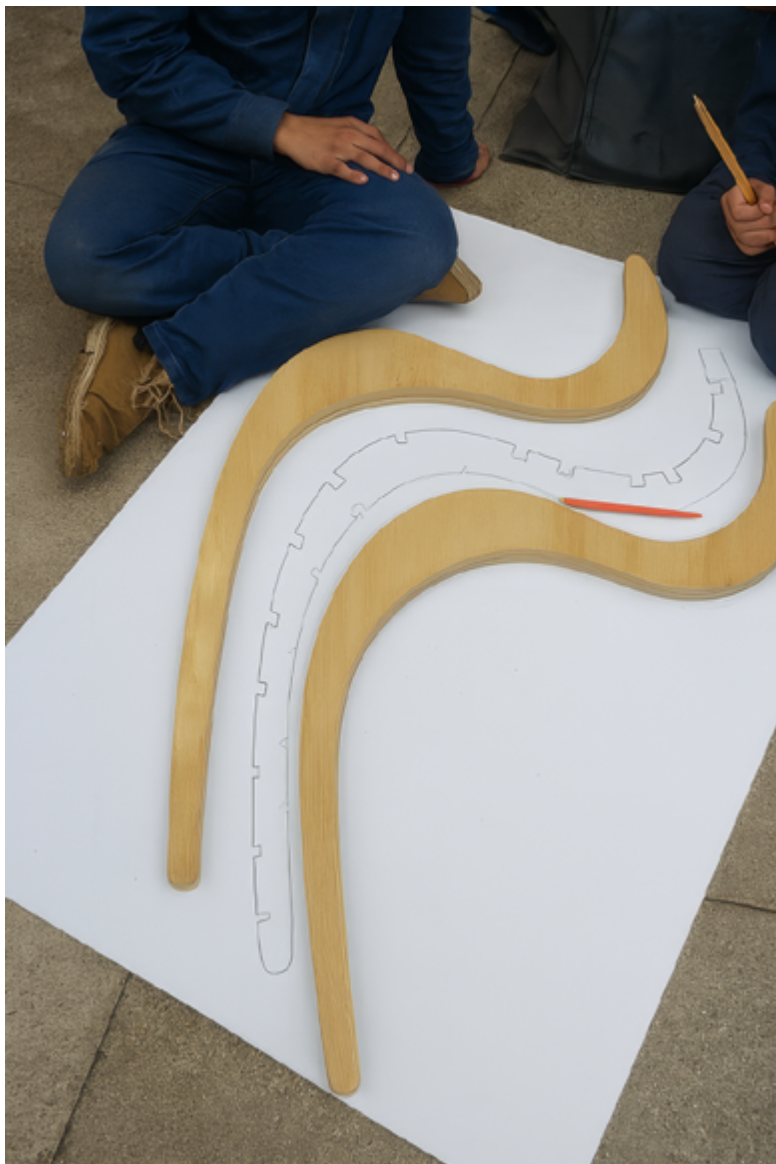
software y maquinaria CNC, condiciones que no siempre están disponibles en los entornos educativos o productivos tradicionales. Cabe en este sentido destacar que el Laboratorio de Prototipos y Productos de la Facultad de Artes de la Universidad Nacional de Colombia cuenta con esta tecnología y un equipo humano capacitado.

En algunos casos, para elaborar las partes en detalle resulta útil hacer impresiones en escala real (1:1) de las piezas diseñadas. Se pueden observar plantillas en papel en la Figura 98.

Figura 97. Parte de la elaboración del prototipo de silla La Petite mediante una máquina ruteadora CNC SUDA 1212



Figura 98. Plantillas en papel para la elaboración de una parte del prototipo Cáncer con sierra caladora



Elaboración del prototipo de silla La Petite

El nombre asignado al artefacto final, La Petite, fue definido al concluir el proyecto, de manera algo caprichosa, como suele ocurrir en el acto de nombrar o bautizar. En el ámbito del diseño, es común identificar los proyectos durante su desarrollo mediante números, nombres clave o combinaciones de ambos, lo cual facilita su seguimiento, organización y trazabilidad en las distintas fases del proceso. Este prototipo de silla es aparentemente simple, pero conlleva un trabajo arduo de obtención. Para comprender mejor el diseño, se presenta en la Figura 99 un dibujo de despiece.

Figura 99. Vista explosionada de la silla prototipo La Petite



Una vez fueron compradas en un depósito las piezas de madera maciza de las dos especies: cedro Puerto Asís y pino hayuelo, se planearon, cantearon, cepillaron y rectificaron para obtener tablas o tablones, es decir, se acondicionaron para el trabajo posterior (ver Figura 100).

Con estas tablas se armaron dos tableros, uno de cedro Puerto Asís y otro de pino hayuelo (ver Figura 101). Las tablas acondicionadas aparecen en la Figura 102, donde también se aprecia la aplicación de adhesivo base PVA, justo antes del armado de los tableros por unión o ensamble a tope (ver también Figuras 84 y 85).

El tablero de madera maciza elaborado en cedro Puerto Asís se presenta en la Figura 102, y es parte de la materia prima para obtener esta silla prototipo. Después de la elaboración de los tableros se procedió al cepillado y al lijado manual por ambas caras. Esta última labor se muestra en la Figura 103.

Del tablero de cedro Puerto Asís se rutearon dos partes: la parte trasera de la pata derecha y la parte delantera de la pata izquierda. Del tablero de pino hayuelo se rutearon otras dos partes: la parte delantera de la pata derecha y la parte trasera de la pata izquierda (ver Figura 105).

Figura 100. Cepillado de las piezas de madera de cedro Puerto Asís



Figura 101. Comienzo del armado de los tableros de pino hayuelo y cedro Puerto Asís



Se decidió realizar las dos patas de la silla -compuestas por dos tipos de maderas y dos partes alternadas como se ve en el rénder de la Figura 79- por medio del ruteado CNC debido a la facilidad de obtener curvas y encajes con esta tecnología. Las cavidades se repasaron por medio de ruteadora electromanual para que quedaran pulidas. En la Figura 104 se observa la distribución en el tablero de las partes de las patas, allí se pueden apreciar también las cavidades para el encaje de las partes constitutivas.

Los veinte bolillos o cilindros de madera otobo, comprados por proveeduría, que se pueden ver en la Figura 106, fueron cortados a la medida con sierra manual, dieciocho cortos para la parte flotante y dos un poco más largos para anclaje estructural.

El taladrado de cuatro orificios pasantes para el paso de los tensores en cada uno de los veinte bolillos puede ser visto en la Figura 107. Esta acción es esencial para lograr la flotabilidad del asiento y su ensamblaje.

Por otra parte, el lijado de los bolillos es fundamental para mejorar el acabado de superficies y lograr un ajuste perfecto para el armado de los dos bolillos largos a la estructura de las patas. Esta operación se muestra en la Figura 108. Además, fue necesario cortar a la medida los cilindros separadores de madera, que dan estructura y espacian los bolillos entre sí (ver Figura 130).

Figura 102. Tablero elaborado en cedro Puerto Asís



Figura 103. Lijado con lijadoras orbitales de los tableros de pino hayuelo (en primer plano) y cedro Puerto Asís (en el fondo)



Figura 104. Distribución en el tablero de las partes de las patas

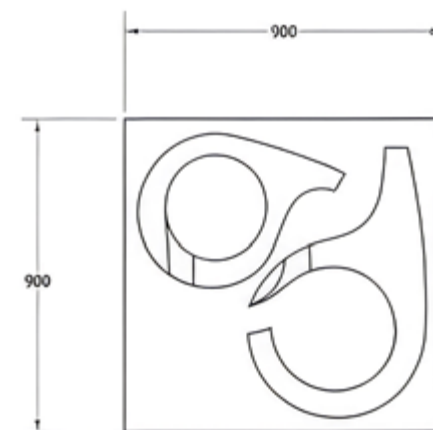


Figura 105. Ruteado de las partes de las patas en pino hayuelo para la silla prototipo La Petite



Figura 107. Taladrado de los orificios en los bolillos de otopo para el paso de los tensores



Figura 106. Bolillos de madera para la silla prototipo La Petite



Figura 108. Lijado de los bolillos de la silla prototipo La Petite



Elaboración del prototipo de silla Playita

El proyecto de silla prototipo Playita (proyecto Delta) fue desarrollado mediante técnicas tradicionales, con la ayuda del modelado digital para la definición precisa de sus diferentes componentes. El proceso de elaboración se llevó a cabo utilizando maquinaria convencional para el trabajo en madera, así como herramientas manuales y electromanuales, entre las que se incluyen sierras circulares, sierra sin fin, sierra ingleteadora, *router* manual y lijadoras orbitales, entre otras. Una determinante de este proyecto, en particular, fue que las partes de la silla debían ser todas obtenidas de una mitad de lámina comercial, es decir, en un área de 1220 mm por 1220 mm, lo que implicaba buena planificación de los cortes y un mejor aprovechamiento del material.

En la Figura 109 se presenta la modelación digital de la propuesta de diseño, realizada por computador como parte del proceso de definición formal.

En esta etapa del proceso es prioritario contar con un listado completo y claramente definido de las partes que conforman el prototipo, así como con las dimensiones –preliminares o definitivas– de

cada una de ellas, lo cual permite avanzar con precisión en su elaboración individual (ver Figura 78).

En la Figura 110 se observan elementos como el espaldar, cuyas dimensiones finales son de 500 × 430 mm, con dos esquinas redondeadas de radio 60 mm, elaborado en un material de espesor 18 mm. También otros como el asiento, el soporte del asiento, las patas frontales y traseras, los descansabrazos y el soporte del espaldar. Así mismo, se referencian los tensores -frontales y traseros- y una viga o chambrana estructural requerida para garantizar la estabilidad del conjunto. En la imagen el lector puede revisar las cotas clave de cada una de estas partes.

Cada parte del mobiliario, por ejemplo el espaldar, debe tener una ruta de elaboración particular, que comienza con los cortes para la obtención de sus formas o cortes básicos, para después llevar a cabo la obtención de los corte detallados o definitivos.

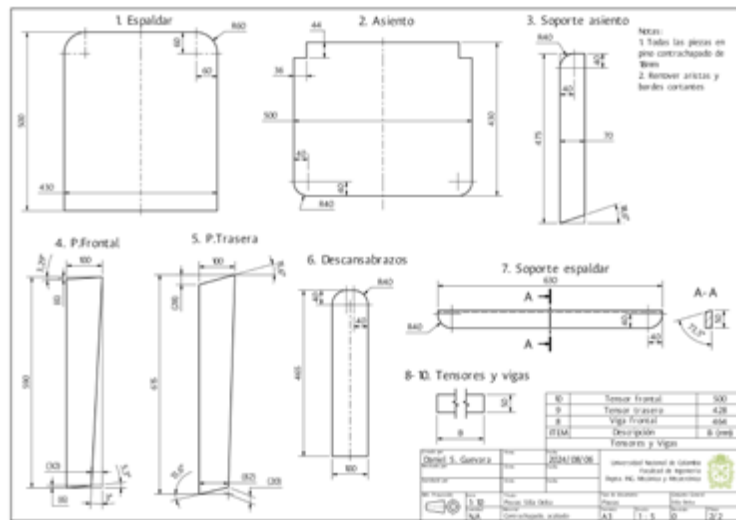
Aunque no contamos con una imagen de la distribución de los cortes para la silla Playita, se presenta un ejemplo de otro proyecto en la Figura 111, en ese caso con un tablero de 1220 × 2440 mm de 18 mm de espesor, allí se pueden ver los cortes necesarios para tener los perímetros de las partes iniciales utilizando una sierra circular (ya sea de banco, escuadradora o vertical). Obsérvese la distribución de las diferentes partes en el tablero, para un mejor

Figura 109. Modelación por computador de la propuesta de diseño de la silla Playita



Fuente: Imagen de Daniel Santiago Guevara Rodríguez.

Figura 110. Partes, planos y dimensiones en el prototipo de la silla Playita



Fuente: Imagen de Daniel Santiago Guevara Rodríguez.

aprovechamiento del material, que era también lo necesario para la elaboración de la silla Playita.

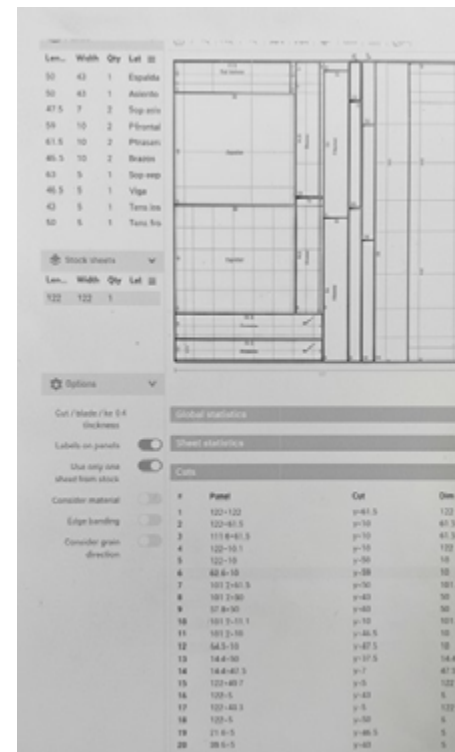
Volviendo a la silla Playita, la ejecución de los cortes longitudinales en un tablero para la elaboración de una parte puede apreciarse en la Figura 112.

Como se dijo, el prototipo se elabora a partir de una lámina de madera industrial contrachapado de 18 mm. Para ejemplificar su sencillez, la pieza denominada asiento se obtuvo mediante un corte longitudinal con ancho 500 mm y un corte transversal con 430 mm, realizados con sierra circular (alternativamente puede emplearse sierra escuadradora o sierra vertical).

Los cortes de esquina se practicaron con dimensiones 44×36 mm. La cavidad del asiento se realizó con sierra sin fin (ver Figura 113), para garantizar precisión y continuidad en el rebaje del laminar del prototipo de la silla Playita.

Las aristas vivas se redondearon con radio 40 mm. Esta operación puede ejecutarse con sierra caladora de mano o con sierra sin fin.

Figura 111. Planeación de los cortes, en un tablero de 1220×2440 mm de 18 mm de espesor, para la obtención de un prototipo de silla



Los cantos también pueden mecanizarse con ruteadora empleando una fresa de redondear aristas. Finalmente, la pieza fue lijada con herramienta rotoorbital para obtener un acabado uniforme que la dejara lista para el siguiente proceso: montaje y barnizado.

Si se revisa de nuevo la Figura 110, se descubrirá que la silla es muy sencilla de elaborar. Todas las partes se obtienen solamente con cortes longitudinales o transversales con sierra circular, redondeados o rebajados de esquinas con sierra

Figura 112. Cortes longitudinales en sierra circular para la elaboración de las partes de la silla prototipo Playita



sin fin, y con tratamiento de bordes con ruteadora manual y lijado con rotoorbital.

Para terminar, hay que decir que, al momento de trabajar directamente con el material – utilizando máquinas y herramientas

reales-, es frecuente descubrir que, incluso cuando se ha planificado minuciosamente cada paso del proceso de diseño y elaboración, surgen nuevas consideraciones que desafían lo previsto.


En muchos casos, se evidencia que una parte resulta difícil de ejecutar según la ruta inicialmente planteada, o que existe una

Figura 113. Corte con sierra sin fin de una cavidad del asiento de la silla prototipo Playita



alternativa más eficiente. También puede ocurrir que el material se aproveche mejor mediante pequeñas modificaciones al diseño del artefacto o de sus componentes, lo que abre la posibilidad de reconfigurar el número de partes, ajustar dimensiones, o incluso excluir elementos innecesarios.

Este tipo de hallazgos no debe entenderse como una falla en la planificación, sino como una manifestación natural de la incertidumbre proyectual, que actúa como distractor creativo y colaborador inesperado, llevando muchas veces a la bienvenida serendipia. La capacidad de adaptación frente a estas situaciones es parte esencial del oficio del diseñador y constituye una oportunidad para enriquecer el proyecto desde la experiencia directa con el material y el proceso.

The image features a detailed architectural sketch of a chair's internal frame, showing the seat, backrest, and four legs. The sketch is rendered in a light, sketchy style. Overlaid on this is a solid teal background. A dark teal rectangular box is positioned in the upper-middle section, containing the text 'Armado y acabados de la silla' in an orange, sans-serif font. The text 'Paso 12' is written in a large, orange, sans-serif font across the bottom of the image. There are also several thin orange lines and corner brackets overlaid on the sketch, likely for design or layout purposes.

Armado y acabados de la silla

Paso 12

Todo mueble prototipo debe contemplar una secuencia de armado apropiada, conveniente para él –no por ello necesariamente lógica–, y una terminación cuidadosa de sus superficies. Ambos aspectos son fundamentales para garantizar no solo la estabilidad estructural del prototipo, sino también la calidad perceptual del objeto terminado. En el proceso de diseño y prototipado, esta etapa representa el momento en que la idea se materializa completamente y el conjunto adquiere su condición funcional y estética definitiva.

El término *armado* hace referencia al montaje de las partes constitutivas del prototipo, es decir, al proceso de juntar, ajustar y fijar los componentes del artefacto hasta conformar una estructura completa, rígida y funcional. En el caso de una silla simple y convencional, el armado implica la unión precisa de elementos como las patas, el asiento y el respaldo, de modo que se garantice alineación, nivelación y resistencia.

Conviene aclarar que el concepto de armado difiere del de ensamble. Mientras el armado está vinculado al proceso manual, experimental o proyectual de elaboración –propio de los talleres de diseño y prototipado–, el ensamble se refiere a la unión sistemática de componentes en contextos industriales, donde el diseño está completamente definido y orientado a la producción en serie. En esos entornos, la fabricación se rige por planos técnicos, rutas de proceso y especificaciones normalizadas. Esta distinción es clave para comprender la diferencia entre el trabajo proyectual de diseño y elaboración, y los procesos industriales de manufactura.

Antes de armar el prototipo, cada una de las partes debe haber sido lijada y verificarse que está bien formada y elaborada, además de estar dentro de tolerancias y ajustes apropiados para ensamblar la silla (ver Figura 114).

Figura 114. Lijado de una parte del prototipo de una silla con lijadora rotoorbital



Armado de la silla prototipo Hojaldre

En la Figura 117 y la Figura 121 se pueden observar las tres partes de diseño de la silla de baja complejidad Hojaldre (que tiene en total cuatro piezas, sin refuerzos), antes de ser armada: pata lateral (izquierda y derecha; los apoyabrazos forman parte de las patas), asiento y espaldar. Estas corresponden a la propuesta de diseño bocetada y materializada en el modelo a escala 1:5 (ver Figura 115). En la Figura 116 se muestra el modelo a escala 1:1 en cartón, con el fin de enfatizar en la coherencia proyectual y el protagonismo de los modelos a escala en el proyecto.

Figura 115. Modelo a escala 1:5 de la silla Hojaldre



La parte normalizada adquirida por proveeduría para el armado fueron tornillos autorroscantes para madera de acabado negro.

Figura 116. Modelo a escala 1:1 de la silla Hojaldre



Fuente: Elaboración propia con modificaciones realizadas con la IA Copilot.

Figura 117. Partes de la silla Hojaldre: dos patas laterales (derecha e izquierda idénticas) asiento y espaldar



Armado del espaldar y asiento

En la Figura 118 se detalla el armado del espaldar y el asiento del prototipo de silla Hojaldre, para lo que se emplea un dispositivo a escuadra construido en madera y prensas rápidas para garantizar el alineado y la sujeción durante el montaje.

La unión se realizó con adhesivo PVA como elemento principal de pegado y tornillos autorroscantes para madera de cabeza avellanada como refuerzo mecánico.

Para la ejecución de los orificios y el atornillado se utilizaron dos taladros inalámbricos: uno destinado al perforado previo y otro al apriete controlado de los tornillos, con el fin de optimizar productividad y control del torque.

El procedimiento siguió la secuencia: posicionamiento en el dispositivo a escuadra, sujeción con prensas rápidas, aplicación de adhesivo en las superficies de contacto, perforado piloto con taladro, inserción de tornillos autorroscantes y limpieza del exceso de

adhesivo antes del secado. Esta combinación de adhesivo y fijación mecánica asegura rigidez estructural y facilidad de montaje.

Figura 118. Armado de espaldar y asiento de la silla Hojaldre con dispositivo a escuadra y prensas rápidas



El armado, similar al anterior, de una pata lateral con el conjunto espaldar-asiento de la silla Hojaldre se muestra en la Figura 119. Y el final del armado del prototipo puede ser observado en la Figura 120.

En la Figura 121 se aprecia el prototipo de la silla armada, a falta solamente de los recubrimientos superficiales.

Figura 119. Armado de una pata lateral al conjunto espaldar-asiento de la silla Hojaldre

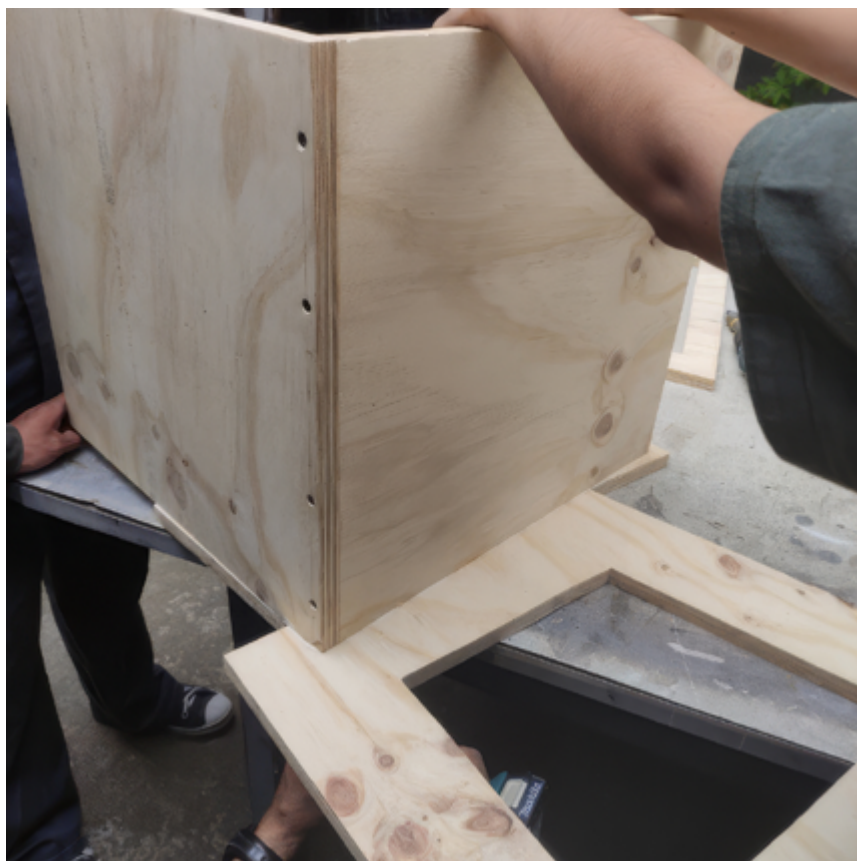


Figura 120. Fase final del armado de la silla Hojaldre



Refuerzo y evolución del prototipo

Este prototipo de silla presentó problemas estructurales durante las pruebas, lo que hizo necesaria la modificación y el reforzamiento del diseño. Se incorporaron tensores y viguetas para aumentar la

rigidez y distribuir mejor las cargas; estos elementos, en la práctica de la ebanistería, se conocen como chambranas.

Un prototipo funciona como una hipótesis de diseño sometida a verificación práctica, por tanto, debe considerarse un proceso iterativo y abierto al cambio. Las modificaciones realizadas a la silla Hojaldre –incluyendo la adición de chambranas y el ajuste de empalmes y refuerzos– respondieron a hallazgos de campo y constituyen mejoras necesarias para garantizar la seguridad, la durabilidad y la funcionalidad del mueble.

Figura 121. Prototipo de la silla Hojaldre armada (sin acabados superficiales)



Armado de la silla prototipo Playita (nombre proyectual Delta)

La silla Playita (proyecto Delta) integra un mayor número de componentes respecto a la silla Hojaldre, con un total de doce partes principales (ver Figura 122). Esas partes corresponden a la configuración presentada en el modelo a escala 1:5, documentado en la Figura 123, lo que facilita la verificación dimensional y la identificación de requerimientos constructivos antes de la elaboración a escala real.

Durante el montaje del prototipo fue necesario incorporar elementos estructurales adicionales para garantizar rigidez y estabilidad, tales como riostras (pies de amigo) y chambranas. Esta adición respondió a hallazgos derivados del ensamblaje y de las pruebas funcionales del prototipo; su incorporación es coherente con el carácter iterativo del proceso de diseño y con la búsqueda de soluciones que aseguren durabilidad y desempeño estructural.

En la Figura 124 se muestra el inicio del armado del prototipo de la silla Playita. El montaje inicial es un proceso fundamentalmente manual

Figura 122. Partes del prototipo de la silla Delta, antes del ensamble



Figura 123. Modelo a escala 1:5 de la silla Playita (proyecto Delta), con doce partes constitutivas



Fuente: Elaboración propia con ayuda de la IA Copilot.

y laborioso; sin embargo, cuando las partes constitutivas han sido elaboradas con precisión y esmero, las dificultades de ensamblaje se reducen significativamente.

El ensamblaje requiere control geométrico y sujeción cuidadosa para garantizar el ajuste entre componentes. Las operaciones manuales como el posicionamiento, la verificación de aplomo y la sujeción temporal con prensas o mordazas son determinantes en el proyecto; además, la calidad en la preparación de cada pieza

facilita el flujo de montaje y reduce la necesidad de correcciones durante la fase de unión.

Figura 124. Inicio del armado del prototipo de la silla Playita



La continuación del proceso de armado de la silla Playita se presenta en la Figura 125, donde se puede apreciar la verificación de medidas, el uso de prensas rápidas y un dispositivo de armado de madera.

Se observa en la Figura 126 la vista lateral del prototipo de la silla Playita armado, sin recubrimientos superficiales.

Figura 125. Parte del armado del prototipo de la silla Playita

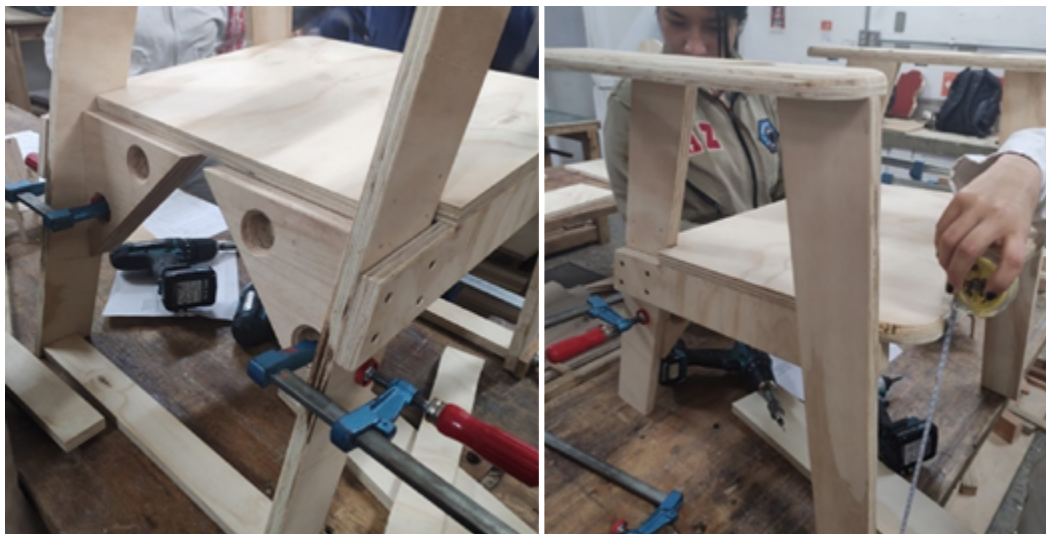


Figura 126. Vista lateral del prototipo de la silla Playita armado sin recubrimientos superficiales



Figura 127. Prototipo de la silla Playita y su modelo a escala 1:5



Para terminar, en la Figura 127 se puede observar el resultado de la evolución y elaboración de la silla, desde el modelo a escala de la propuesta de diseño, el modelo 1:5 (que reposa en el asiento de la silla prototipo Playita), hasta la materialización de dicha propuesta en forma del prototipo en materiales reales.

Armado de la silla prototipo La Petite

La silla La Petite está compuesta, básicamente, por dos patas, derecha e izquierda, y un asiento. Este último, como vimos antes, está formado de veinte bolillos, el superior y el inferior para el anclaje estructural a las patas y dieciocho que conforman la parte flotante (ver Figura 79 y Figura 99).

Las piezas de las patas se muestran en la Figura 128, antes del armado. Las cavidades para la unión tipo empalme a media madera fueron realizadas desde el proceso de ruteado CNC.

La pata derecha se muestra en la Figura 129. Fue armada utilizando las cavidades macho-hembra realizadas en las caras opuestas de las piezas de cedro Puerto Asís y pino hayuelo. Se utilizó adhesivo base PVA y prensas rápidas para su unión.

Figura 128. Piezas ruteadas de las patas de la silla prototipo La Petite



Figura 129. Pata derecha de la silla prototipo La Petite



En la Figura 130 se aprecia parte del proceso del armado del asiento de la silla.

Figura 130. Proceso del armado del asiento de la silla prototipo La Petite



La silla armada, a falta de preparar las superficies y aplicar laca transparente, se observa en la Figura 131.

Figura 131. Silla prototipo La Petite armada sin acabados



Anotaciones del armado de otras sillas prototipo

En el proceso de armado de prototipos es común la necesidad de ingeniar dispositivos auxiliares o artilugios específicos, así como de emplear prensas dispuestas de manera estratégica. Esto se evidencia en la Figura 132 y la Figura 133, donde se observan dispositivos temporales utilizados para facilitar el ensamblaje del prototipo Ro. En ese caso particular, se elaboró una plantilla de armado para los laterales del prototipo y se emplearon prensas rápidas de gran tamaño –conocidas como sargentos en el ámbito de la carpintería– para fijar el espaldar. El resultado del ensamblaje puede apreciarse en la Figura 134, donde se muestra la silla Ro completamente armada.

El proceso de armado requiere la aplicación de adhesivos, comúnmente formulados a base de acetato de polivinilo (PVA), que permiten una unión eficiente y duradera entre componentes. Adicionalmente, es posible utilizar como mecanismos de unión tornillos y elementos metálicos, además de pasadores de madera y/o ensambles mecánicos.

En el contexto del desarrollo de prototipos, es habitual, como se dijo, recurrir al uso de prensas, así como a la creación de dispositivos o artilugios específicos que faciliten el armado. En contraste, las sillas industriales, que cuentan con planos técnicos y constructivos definidos además de una ruta de fabricación estandarizada, disponen

para su ensamble de dispositivos diseñados para la producción seriada, con el fin de optimizar tiempos y asegurar la repetibilidad del proceso.

Figura 132. Artilugio para el armado de la silla prototipo Ro



Figura 133. Armado de la silla prototipo Ro



Figura 134. Silla prototipo Ro armada



Figura 135. Armado final de la silla prototipo Elysian



Otro ejemplo de uso de prensas rápidas fue en el armado de la silla prototipo Elysian, que se aprecia en la Figura 135.

En la Figura 136 se presenta parte del proceso de armado de la silla prototipo Chaine, así como su resultado estructural sin aplicación de acabados superficiales. La pieza fue elaborada en madera de cedro achapo, y en ella se emplearon uniones tipo encaje macho-hembra y cola de milano para garantizar estabilidad mecánica.

A modo de ejemplo de piezas de mobiliario muy complejas, en la Figura 137 se presenta parte del armado del prototipo de la silla Flux, caracterizada por su complejidad formal y compositiva. Se elaboró en sapán, material que, según sus diseñadores, dio al diseño un aire de fluidez y equilibrio. La estructura mezcla distintos elementos geométricos como arcos, triángulos y trapecios para atraer la atención de la persona que observa y alejarla del diseño cotidiano de mobiliario.

Figura 136. Armado de la silla prototipo Chaine



Figura 137. Armado del prototipo de silla Flux



La silla Cáncer: un ejemplo de proyecto frustrado

No todos los proyectos de prototipado conducen a resultados exitosos; tal es el caso de la silla Cáncer, un proyecto accidentado y marcado por múltiples dificultades. Desde su concepción, la propuesta presentó una alta complejidad formal que no logró establecer un diálogo coherente entre la forma y el material, lo que comprometió su viabilidad constructiva y derivó en su abandono (ver Figura 138). Podría considerarse como causa principal que este prototipo se inclinó más hacia ser un artefacto escultórico que uno de uso.

Pero los problemas metodológicos también fueron evidentes: se tomaron atajos proyectuales que afectaron la calidad del proceso, como una bocetación deficiente, modelos preliminares de pobre resolución en escala 1:5 y la ausencia de un modelo a escala 1:1, esencial para validar proporciones, ergonomía y comportamiento estructural. Además, se evidenció falta de rigurosidad en la selección de la propuesta definitiva, lo que debilitó la fundamentación conceptual y técnica del proyecto.

Figura 138. Propuesta del prototipo de silla Cáncer, proyecto abandonado



Este caso pone de relieve la importancia de respetar las etapas del proceso proyectual, desde la exploración formal hasta la validación material, y de asumir cada fase con el nivel de profundidad que exige el diseño de mobiliario. La silla Cáncer se convierte así en un ejemplo pedagógico de los riesgos que implica omitir criterios metodológicos, técnicos, estructurales, ergonómicos, entre otros, en el desarrollo de un prototipo.

Acabados superficiales

El lijado -una preparación importante para las piezas de la silla, y el mueble en su conjunto- se realiza antes de aplicar la protección de las superficies. En el contexto de las lijas abrasivas, el término *mesh* hace referencia a una unidad de medida que indica la cantidad de partículas abrasivas contenidas en una pulgada cuadrada de superficie. Esta clasificación permite establecer el grado de agresividad del material: a mayor número de *mesh*, menor es el tamaño de las partículas, lo que se traduce en una superficie de lijado más fina y precisa. Por el contrario, un número de *mesh* bajo corresponde a partículas más grandes, adecuadas para procesos de desbaste o remoción rápida de material.

Esta escala es fundamental para seleccionar el tipo de lija según la etapa del proceso: desde el lijado inicial con granos gruesos (*mesh* bajos) hasta el acabado superficial con granos finos (*mesh* altos), para garantizar así una progresión controlada en la preparación de

superficies, especialmente en prototipos de mobiliario o componentes en madera y polímeros. Al comienzo de la preparación de superficies se utiliza *mesh* P120 y se termina con números más altos (arriba de *mesh* P320). Cabe resaltar que se lija dos veces, antes y después del armado del prototipo.

Además, cada unión debe estar perfectamente cerrada y cubierta, es decir, no debe haber vacíos entre las uniones. Los proyectistas deben aplicar la misma técnica de resanado de la madera utilizada previamente en la elaboración de los tableros de madera maciza, con el fin de cubrir vacíos, grietas o imperfecciones superficiales y lograr superficies uniformes. Este procedimiento consiste en la preparación de un emplasto artesanal, elaborado mediante la mezcla de sellador para madera y aserrín fino proveniente de los lijados previos, al que se hizo referencia en el paso 9E. El aserrín debe ser del mismo tipo de madera empleada en el prototipo para mantener la coherencia cromática y textural del conjunto.

La aplicación localizada de esta mezcla sobre las zonas afectadas permite corregir irregularidades sin alterar la textura ni el color original del material, favoreciendo así la continuidad visual, la homogeneidad superficial y la calidad del acabado. Esta técnica, además de ser eficiente y económica, respeta la identidad material del prototipo y contribuye a su presentación profesional, especialmente en contextos de exposición, evaluación o documentación técnica.

Antes de aplicar los terminados superficiales, la madera utilizada en el prototipo debe ser debidamente sellada e inmunizada, con

el objetivo de optimizar el rendimiento de los materiales de recubrimiento y garantizar un acabado de mayor calidad y durabilidad. El sellado permite reducir la porosidad del sustrato, lo que evita el consumo excesivo de pinturas, lacas o barnices, mientras que la inmunización protege la madera contra agentes biológicos como hongos, insectos o humedad, para prolongar su vida útil.

Por otra parte, en ocasiones, según el color y acabado propio de cada tipo de madera, los proyectistas deben decidir si aplicar tintillas, lacas o barnices. Esta labor se puede realizar con brocha, por aspersion de pintura por aire comprimido, etc. Así mismo, con el fin de proteger y embellecer las superficies y preservar el color de la madera, se pueden utilizar, como recubrimiento, aceites de origen vegetal o petroquímico, como el aceite de linaza o el aceite mineral.

En la Tabla 27 se recogen posibles acabados superficiales de la madera.

Tabla 27. Algunos tipos de acabados superficiales de la madera

Tipo de acabado superficial	Características
Barniz	Crea una capa protectora y decorativa, resistente a la fricción y a los rayos UV. Disponible en varios niveles de brillo y colores.
Laca de poliuretano	Alta durabilidad y resistencia a químicos, calor, rayaduras y abrasión.
Aceites para madera	Ofrecen protección e hidratación, con un acabado natural. Fáciles de aplicar y renovar.
Cera	Proporciona un acabado suave y natural, fácil de aplicar y mantener.
Tintes	Realzan el grano natural de la madera; disponibles en una variedad de colores.

Para lograr un acabado sobresaliente, se deben aplicar varias capas de sellador y líquido de acabado. A veces es necesario eliminar asperezas mediante el uso de abrasivos muy finos o cremas pulidoras o brilladoras. En la Figura 139 se observa el lijado manual de superficies, realizado después del armado del prototipo de la silla Elysian. Y en la Figura 140, el lijado de las superficies de la silla prototipo La Petite.

Figura 139. Lijado de la silla prototipo Elysian después del armado



Figura 140. Lijado de superficies de la silla prototipo La Petite



En la Figura 141 se observa la aplicación de sellador, por aspersion neumática, para dar acabados a la silla prototipo Zaque Quye.

La aplicación manual de aceite de origen natural, como recubrimiento superficial de un prototipo de una silla, se muestra en la Figura 142. Es conveniente preferir acabados naturales como recubrimiento superficial, tales como el aceite de linaza.

En la Figura 143 se observa un conjunto de cinco prototipos de sillas elaborados en madera industrial contrachapada de 18 mm de espesor. La segunda silla, de izquierda a derecha, no presenta

Figura 141. Aplicación de capas de sellador por aspersion neumática a la silla prototipo Zaque Quye



tratamiento superficial con aceite, lo que se traduce en un tono más claro, perceptiblemente desvaído y carente de carácter visual. El acabado de superficies, por lo general, modifica la percepción cromática del material al realzar la veta natural, los nudos y las particularidades propias de su origen natural-industrial. La silla Playita, ubicada en el extremo derecho, destaca por ser el resultado de un proceso proyectual sistemático, evidenciado en su coherencia formal y constructiva.

En la Figura 144 se presenta el prototipo de silla Vacoom, ya finalizado, elaborado en madera natural sapán. El acabado resalta la belleza intrínseca del material, al evidenciar su carga perceptual por medio del tono cálido y oscuro, el tamaño del grano y la singularidad de

Figura 142. Aplicación de aceite como recubrimiento superficial al prototipo de una silla



Figura 143. Grupo de prototipos de sillas



su veta. Para preservar y realzar estas cualidades, la superficie fue tratada con varias capas de sellador, seguidas de dos aplicaciones de laca transparente, aplicadas mediante pistola neumática para garantizar una cobertura uniforme y una terminación profesional. En las Figuras 145 a 147 se aprecian otros prototipos después de acabados superficiales.

Figura 144. Silla prototipo Vacoom después de acabados superficiales



Figura 145. Prototipo de la silla Chaine después de acabados superficiales



Figura 146. Cuatro sillas prototipo: (de izquierda a derecha) Flotante, Angles, Elysian y Albura



Figura 147. Cuatro sillas prototipo: (de izquierda a derecha) Zaque Quye, Bow Tie, Solatium y Aura





Exposición y divulgación
de los prototipos de silla

Paso 13

La culminación del prototipo de una pieza de mobiliario, como una silla, constituye un motivo legítimo de orgullo para los proyectistas. Este logro sintetiza el resultado de extensas jornadas creativas, cognitivas y prácticas, desarrolladas en todo el ejercicio de diseño y prototipado. En dicho proceso, no solo se consolida el dominio técnico sobre la familia de materiales empleada, sino que también se alcanza una realización personal al materializar un objeto tangible y funcional.

La silla, como artefacto cotidiano y simbólico, representa más que una solución ergonómica: es testimonio del compromiso proyectual, la capacidad de iteración y la sensibilidad estética del diseñador o diseñadora. Su concreción implica una inversión significativa de

tiempo, recursos económicos y energías intelectuales, lo que convierte su finalización en un hito formativo y profesional de alto valor.

Para socializar y compartir los logros alcanzados en el desarrollo de un prototipo de mobiliario, se recomienda su exposición en contextos adecuados y estratégicos. Mostrar el prototipo de manera conveniente no solo facilita la recepción de retroalimentación valiosa por parte de pares, docentes o usuarios potenciales, sino que también permite validar su funcionalidad, estética y pertinencia proyectual.

Además, la divulgación pública del prototipo puede abrir la posibilidad de su registro como propiedad intelectual, siempre que se evidencien resultados con potencial innovador o aportes significativos al campo del diseño o del mobiliario. Este reconocimiento no solo protege los derechos del diseñador, sino que también fortalece su perfil profesional y académico, al integrar el prototipo como parte activa del proceso formativo y creativo.

La publicación en revistas especializadas o sectoriales constituye otra vía de divulgación relevante. En Colombia, por ejemplo, la revista *El Mueble y la Madera* documentó en varias ocasiones los resultados del proyecto de diseño y elaboración de prototipos desarrollado por estudiantes de Diseño Industrial de la Universidad Nacional, quienes aplicaron el método que aquí se ha expuesto (Arias, 2015; Ordóñez, 2013).

Después de un viaje cognitivo que abarca desde la conceptualización hasta la materialización del producto-prototipo –en este caso, una silla–, llega el momento de presentar los resultados. En la Figura 148 y la Figura 149 se observa parte del acto protocolario de inauguración de dos exposiciones, realizadas en 2015, donde se socializaron los prototipos realizados por equipos de estudiantes en la asignatura Tecnología de Materiales, del programa de Diseño Industrial.

Fomentar la divulgación de estos resultados es crucial, ya que incrementa la cultura y el conocimiento del diseño, y promueve la innovación y el desarrollo continuo en el campo. Ejemplo de ello son las sillas prototipo exhibidas en el Museo Leopoldo Rother de la Universidad Nacional de Colombia (ver Figuras 150 a 154).

Figura 148. Acto protocolario de inauguración de una muestra de mobiliario llevada a cabo en 2015



Figura 149. Acto protocolario de inauguración de una segunda muestra de mobiliario llevada a cabo en 2015



Figura 150. Exposición de prototipos de sillas en el Museo Leopoldo Rother 1



Figura 151. Exposición de prototipos de sillas en el Museo Leopoldo Rother 2



Figura 152. Exposición de prototipos de sillas en el Museo Leopoldo Rother 3 (silla Vacuum en primer plano)



Figura 153. Exposición de prototipos de sillas en el Museo Leopoldo Rother 4 (de izquierda a derecha: silla Elysian, Bow Tie, Aura y Albura)

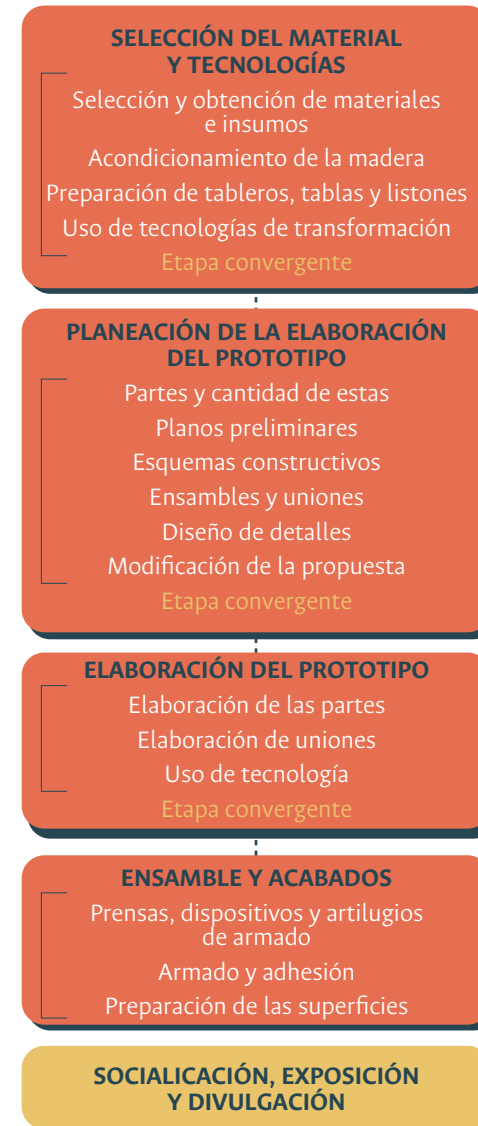


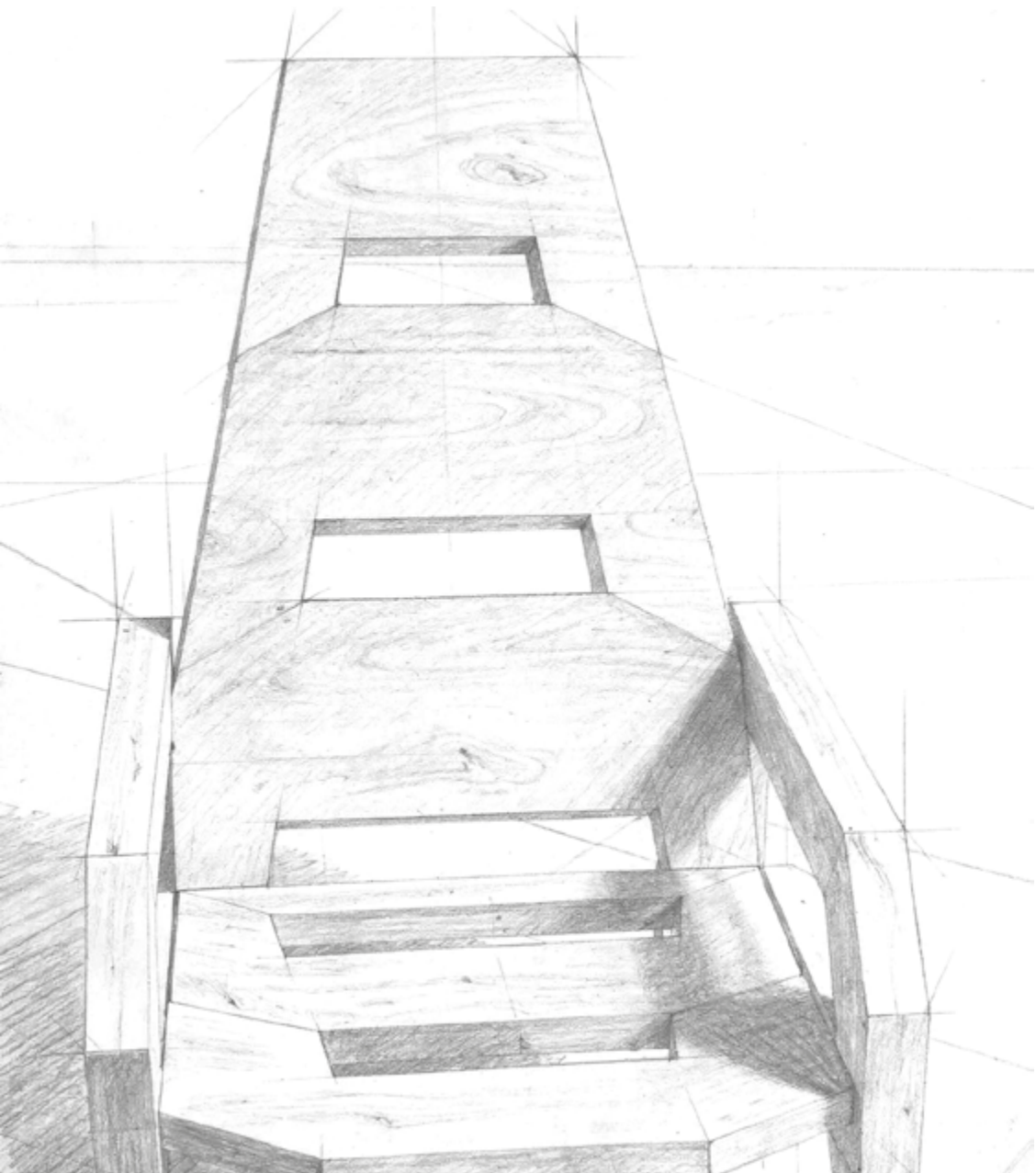
Figura 154. Exposición de prototipos de sillas en el Museo Leopoldo Rother 5 (silla Albura en primer plano)



Para terminar, en la Figura 155 se resume la tercera parte del proceso proyectual de diseño y elaboración de un prototipo de silla en madera, que reúne los últimos cinco pasos.

Figura 155. Diseño y elaboración de un prototipo, parte 3







Conclusión

El diseño de mobiliario, y específicamente la creación de sillas en madera, se revela como un proceso integral donde la estética es inseparable de la funcionalidad, la ergonomía y la manufactura. La silla, entendida como un artefacto de uso crítico, exige un abordaje que armonice la sensibilidad creativa con la precisión técnica. El método propuesto en esta obra trasciende la intuición para ofrecer un marco de acción riguroso que sustituye la improvisación por decisiones sustentadas en el análisis y la verificación.

Esta metodología equilibra la exploración libre con la evaluación técnica. Al transitar entre fases divergentes (bocetación y experimentación) y fases convergentes (validación y ajuste), el diseñador o diseñadora no solo ejecuta un plan, sino que navega la incertidumbre y la serendipia. Este camino heurístico reconoce que el error es parte del aprendizaje, lo que permite que la propuesta se perfeccione progresivamente hasta alcanzar una síntesis funcional y formal.

El prototipado emerge como la herramienta empírica fundamental del método. La construcción de modelos a escala 1:5 permite ensayar soluciones con eficiencia económica, mientras que el modelo a escala real (1:1) constituye la instancia definitiva de validación

física y sensorial. Este ciclo convierte, finalmente, al prototipo en un proceso de pensamiento materializado, donde se comprueban la resistencia estructural y la interacción con el cuerpo humano, para asegurar no solo la viabilidad del objeto, sino su longevidad.

La selección de la madera, por su parte, se consolida como un acto de responsabilidad. Este método busca revalorizar este recurso no solo por su calidez estética, sino por su rol en la economía circular y la gestión forestal sostenible. La carpintería se redescubre así como una fase estratégica donde la técnica de manufactura determina la eficiencia y el impacto ambiental del proyecto. Esta integración de la técnica y la planeación asegura que la construcción del mueble sea un acto consciente de respeto por la materia prima.

Finalmente, el ciclo se cierra con la divulgación. El método no concluye en el taller, sino en la inserción de la silla en la sociedad como un producto cultural y técnico. La exposición y comunicación del prototipo permiten que el objeto dialogue con su entorno, transformando así la práctica individual en un vehículo de reflexión colectiva sobre cómo habitamos el espacio.

En síntesis, este libro pretende evidenciar que diseñar una silla es enfrentarse a la complejidad del fenómeno proyectual. Es un proceso progresivo donde la toma de decisiones se convierte en un ejercicio continuo de argumentación y contraste. Al integrar técnica, ergonomía y cultura, el diseñador o diseñadora no solo produce un objeto funcional y cultural, sino que aporta una solución tangible.



Bibliografía

- Archer, L. (1965). *Systematic Methods for Designers*. The Design Council.
- Archer, B. (1981). A view of the nature of design research. *Design Studies*, 2(1), 18-20.
- Arias, A. (2007). Los procesos industriales, los materiales y el desarrollo del producto, en Maldonado (Ed.) *Complejidad: Ciencia, pensamiento y aplicaciones* (pp. 263-279). Universidad Externado de Colombia.
- Arias, A. (2015). Proyectos universitarios: metodología de diseño desde la praxis. *El Mueble y la Madera*, (88), 58-66. <http://revista-mm.com/proyectos-universitarios/proyectos-universitarios-metodologia-diseno-praxis/>
- Arias, A. (2018). *La metodología de diseño desde la praxis. Estudio de la metodología desarrollada en el diseño y elaboración de prototipos de sillas en madera; por parte equipos de trabajo estudiantiles, en el aula del Diseño Industrial*. [Tesis de doctorado, Multiversidad Mundo Real Edgar Morin].
- Arnheim, R. (2004). *Art and Visual Perception: A Psychology of the Creative Eye* (2.^a ed.). University of California Press.
- Barry, A. (2013). *Material Politics: Disputes Along the Pipeline*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Bonsiepe, G. (2015). *Del objeto a la interfase: mutaciones del diseño*. Ediciones Infinito.
- Bürdek, B. E. (1994). *Diseño: Historia, teoría y práctica del diseño industrial*. Gustavo Gili.
- Cárdenas L. D. y Salinas R. N. (2006). *Especies maderables amenazadas*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi.
- Centro Autónomo de Formación e Innovación. (4 de julio de 2015). 6.2.- *Proceso de obtención de la madera*. <https://www.edu.xunta.gal/centros/cafi/aulavirtual2/mod/page/view.php?id=25062>
- Ching, F. D. (2007). *Architecture: Form, Space, and Order*. John Wiley & Sons.
- Cross, N. (2006). *Designerly Ways of Knowing*. Springer.
- Cross, N. (2011). *Design Thinking: Understanding How Designers Think and Work*. Berg Publishers.

- Equipo NAYa. (s.f.). «LLALIN KUSHE, La araña vieja - Origen del Hilado». Diccionario de mitos y leyendas. https://cuco.com.ar/origen_del_hilado.htm
- Fedemaderas-Federación de Industriales de la Madera. (15 de noviembre de 2023). *El CIF: un incentivo del gobierno nacional para fomentar la reforestación comercial*. <https://fedemaderas.org.co/el-cif-un-incentivo-del-gobierno-nacional-para-fomentar-la-reforestacion-comercial/>
- FSC-Forest Stewardship Council. (2021). *El Estándar Nacional de Manejo Forestal Responsable FSC de Colombia FSC-STD-COL-02-2021 ES*. FSC International. <https://connect.fsc.org/es/document-centre/documents/resource/347>
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. Mc Graw Hill Interamericana.
- Hennion, A. (2010). Gustos musicales: de una sociología de la mediación a una pragmática del gusto. *Comunicar* (34), 25-33.
- Ingold, T. (2013). *Making: Anthropology, Archaeology, Art and Architecture*. Routledge.
- Kandinsky, W. (1996). *Punto y línea sobre el plano*. Paidós.
- Kelley, T. (2001). *The Art of Innovation: Lessons in Creativity from IDEO, America's Leading Design Firm*. Doubleday.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice Hall.
- Lawson, B. (2005). *How Designers Think: The Design Process Demystified*. Architectural Press.
- Le Corbusier. (1948). *Le Modulor: Essai sur une mesure harmonique à l'échelle humaine*. Éditions de l'Architecture d'Aujourd'hui.
- Lidwell, W., Holden, K. y Butler, J. (2010). *Universal Principles of Design*. Rockport.
- Löbach, B. (1976). *Diseño Industrial: Bases para la configuración de productos industriales*. Gustavo Gili.
- Maldonado, T. (1972). *El diseño industrial reconsiderado*. Gustavo Gili.
- Manzini, E. (1993). *La materia de la invención*. CEAC.
- Manzini, E. (2015). *Design, When Everybody Designs: An Introduction to Design for Social Innovation*. MIT Press.
- Margolin, V. (2002). *The Politics of the Artificial: Essays on Design and Design Studies*. University of Chicago Press.
- Mendoza-Collazos, J. (2025). *Traslación semiótica como método para la generación sistemática de la forma [Preprint]*. https://doi.org/10.31235/osf.io/etpm3_v1
- MADR-Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (30 de noviembre de 2022). *Minagricultura recibe proyectos nuevos de*

reforestación comercial para acceder a incentivo forestal. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Minagricultura-recibe-proyectos-nuevos-de-reforestaci%C3%B3n-comercial-para-acceder-a-Incentivo-Forestal---.aspx>

Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Paidós.

Morin, E. (2003). *El método V. La humanidad de la humanidad*. Barcelona: Paidós.

Munari, B. (1983). *¿Cómo nacen los objetos?* Barcelona: Gustavo Gilí S.A.

Ordóñez, J. L. (2013). Proyectos universitarios. Diseños con calidad y confort. *El Mueble y la Madera* (81), 94-97. <http://revista-mm.com/proyectos-universitarios/proyectos-universitarios-disenos-con-calidad-y-confort/>

Panero, J. y Zelnik, M. (1979). *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. Ediciones Gustavo Gili.

Papanek, V. (1971). *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change*. Pantheon Books.

Plattner, H. (2010). *An Introduction to Design Thinking: Process Guide*. Hasso Plattner Institute of Design. Stanford University.

Schön, D. A. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Basic Books.

Solana Ruiz, J. L. (1995). La unidad y diversidad del hombre en la antropología compleja de Edgar Morin. *Gazeta de antropología*. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/13607>

Sonesson, G. (2014). Translation and other acts of meaning: In between cognitive semiotics and semiotics of culture. *Cognitive Semiotics*, 7(2): 249-280. <https://doi.org/10.1515/cogsem-2014-0016>

Wilhide, E. (2012). *Como diseñar una silla*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SL.

Wong, W. (1993). *Principios del diseño en color y forma*. Barcelona: Gustavo Gil.

World Design Organization. (s.f.). *Definition of Industrial Design*. <https://wdo.org/about/definition/>



Acerca del autor

Álvaro Arias Arenas

Álvaro Arias Arenas es ingeniero mecánico de la Universidad Nacional de Colombia y doctor en Pensamiento Complejo de la Multiversidad Mundo Real Edgar Morin (México). También realizó estudios de maestría en Sistemas Integrados de Gestión en la Universidad Internacional de La Rioja (España) y en Materiales y Procesos de Manufactura en la Universidad Nacional de Colombia.

Actualmente, se desempeña como profesor asociado de la Escuela de Diseño Industrial de la Facultad de Artes de la Universidad Nacional de Colombia. Imparte sus cátedras en el pregrado de Diseño Industrial y en la especialización en Diseño y Desarrollo de Producto, en el área de tecnología, materiales y procesos de manufactura, y diseño de producto a nivel de sistema, en las que ha dirigido más de cincuenta trabajos de grado. Así mismo, lidera el grupo de investigación Diseño con Materiales y Procesos Sostenibles (DISMAP), es integrante del grupo de investigación Complexus y dirige el semillero de investigación Pensamiento y Creación Escultórica y Objetual.

Este libro se publicó en abril de 2026,
para su composición se usaron los tipos Ancizar (Sans y Serif).

