

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FAMILIA DE JUGUETES BASADOS EN  
EL ANÁLISIS FORMAL Y ESTRUCTURAL DE UN INSECTO HIMENÓPTERO  
ALADO Y SU HABITÁCULO**

**REINALDO FLÓREZ MORA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA**

**2008**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FAMILIA DE JUGUETES BASADOS EN  
EL ANÁLISIS FORMAL Y ESTRUCTURAL DE UN INSECTO HIMENÓPTERO  
ALADO Y SU HABITÁCULO**

**REINALDO FLÓREZ MORA**

**Tesis de Grado como requisito para optar al título de  
Diseñador Industrial**

**Director**

**M.D.I. Eduardo Serafín Guevara Melo**

**Codirector**

**D.I. Miguel Higuera Marín**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL  
BUCARAMANGA**

**2008**

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi gratitud a aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en el desarrollo de este proyecto.

Con respeto a mi madre Matilde Mora de Flórez, mi tío Reynaldo Mora Restrepo, mis hermanos Patricia, Claudia, Nancy, Gustavo y Edgar Leonardo Flórez Mora y a mi novia Elizabeth Arias Barrera.

A mi director de proyecto de grado, el profesor Eduardo Serafín Guevara Melo y a mi codirector el profesor Miguel Enrique Higuera Marín.

A mis amigos Fausto Yesid Huertas, José Luis Pinzón, Luis Eduardo Bautista, Arturo Matajira y Javier Rueda.

A Javier Mauricio Acevedo y en general a AUG Joyeros por la colaboración en el proceso de fabricación de los modelos funcionales.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. TÍTULO	23
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	24
2.1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO	24
2.2. ALCANCES DEL PROYECTO	24
2.3 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS	25
2.3.1 Objetivo General	25
2.3.2 Objetivos Específicos	25
2.4 JUSTIFICACIÓN	25
3. MARCO TEÓRICO	27
3.1 EL DISEÑO EN LA NATURALEZA	27
3.2 EVOLUCIÓN DE LOS OBJETOS	33
3.2.1 La Forma	33
3.2.2 La Estructura	36
3.3 LA IMPORTANCIA DE LA BIÓNICA EN EL DISEÑO	38
3.3.1 El Autogiro	39
3.3.2 El Velcro	40
3.3.3 Escarabajo de Namib	41
3.3.4 Reflectores Ojos de Gato	43
3.3.5 Tecnología Nodular	44
3.3.6 El Efecto Loto	45
3.3.7 Innespace Dolphin	47
3.3.8 Ropa Inteligente	48
3.3.9 Speedo Fastskin LZR Racer	50
3.3.10 Tren de Alta Velocidad	51
3.3.11 Diseño Eficiente de Edificios	52

3.4	LUIGI COLANI	54
3.5	APLICACIONES BIÓNICAS EN DESARROLLO	56
3.6	EL DISEÑO Y SU RELACIÓN CON LOS JUGUETES	58
4.	CICLO DE INDAGACIÓN BIÓNICA	61
4.1	CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA DE LA AVISPA	61
4.2	ANATOMÍA DE LA AVISPA	70
4.3	TOMA DE MUESTRAS	75
4.3.1	Ejemplar 1	75
4.3.2	Ejemplar 2	76
4.3.3	Ejemplar 3	77
4.3.4	Ejemplar 4	81
5.	ANÁLISIS DE LA AVISPA Y SU HABITÁCULO	90
5.1	ANÁLISIS DE PROPORCIONES	90
5.2	ANÁLISIS ASPECTOS CONFORMATIVOS	95
5.2.1	Simetría	95
5.2.2	Articulaciones	98
5.3	ESTUDIO BIDIMENSIONAL DE LA AVISPA	100
5.4	ESTUDIO TRIDIMENSIONAL DE LA AVISPA	102
5.4.1	Modelado Físico en Plastilina con Estructura de Alambre	102
5.4.2	Modelado Digital	103
5.5	ANÁLISIS DEL HABITÁCULO DE LA AVISPA	106
5.5.1	Geometrización	108
5.5.2	Bioconfiguración Modular	110
6.	DESARROLLO DE ALTERNATIVAS	113
6.1	ALTERNATIVA 1	113
6.1.1	Ballena	114
6.1.2	Estrella de Mar	115
6.1.3	Tortuga	117
6.2	ALTERNATIVA 2	118
6.3	ALTERNATIVA 3	150

7. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	195
7.1 PARÁMETROS FORMALES	195
7.2 PARÁMETROS DE DISEÑO	195
8. EJECUCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	197
8.1 MODELO FUNCIONAL ALTERNATIVA 2	197
8.2 MODELO FUNCIONAL ALTERNATIVA 3	207
8.3 PRUEBAS DE USABILIDAD	212
CONCLUSIONES	215
BIBLIOGRAFÍA	217

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Relación Forma Función en la Naturaleza	35
Tabla 2. Productos inspirados en Sistemas Naturales	56
Tabla 3. Clasificación científica de la avispa	61
Tabla 4. Matriz para la Evaluación de Alternativas	196

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Crecimiento de las hojas en un árbol	28
Figura 2. Flores que exhiben espirales de la proporción dorada	28
Figura 3. La divina proporción en el cuerpo humano	29
Figura 4. Crecimiento en espiral áurea de una galaxia	30
Figura 5. Agujeros negros mostrando la espiral áurea	30
Figura 6. La Divina Proporción en el Partenón – La Monalisa – Medici Violín	31
Figura 7. Rectángulo Dorado	32
Figura 8. Escala Geométrica de la Serie de Fibonacci	33
Figura 9. Funciones Básicas en la Naturaleza	35
Figura 10. Disposición Molecular del Grafito y del Diamante	37
Figura 11. Curvas Sinclásticas (huevo) y Anticlásticas (telaraña)	37
Figura 12. Techos Curvos Sinclásticos y Anticlásticos	38
Figura 13. Semilla alada de arce – Autogiro de la Cierva – C30 modelo evolucionado del Autogiro	40
Figura 14. Semilla de Cardo Alpino – Vista Microscópica del Velcro – Usos	41
Figura 15. El escarabajo de Namib –Material Repelente y Atrayente al agua	42
Figura 16. Reflectores Ojos de Gato para señalización de caminos	43
Figura 17. Aleta de la Ballena Jorobada y Rediseño de Turbinas Eólicas	44
Figura 18. Hoja de Loto – Vistas Microscópicas de la misma	46
Figura 19. Efecto Hoja de Loto en Textiles	47
Figura 20. Vehículo Innespace Dolphin	48
Figura 21. Piña de Pino – Visión Detallada – Ropa Inteligente	49
Figura 22. Tiburón – Visión Microscópica de su piel – Speedo LZR Racer	50
Figura 23. Pájaro “Martín Pescador” – Diagrama de un Túnel – Tren bala “Shinkansen”	52
Figura 24. Termiteros – Edificio Eastgate Center	53

Figura 25. Luigi Colani y algunos de sus proyectos	55
Figura 26. Filogenia de las Grandes Divisiones de Hexápoda	63
Figura 27. Diferentes estadios del desarrollo post - e-brionario de un himenóptero alado	64
Figura 28. Nido o avispero de avispa del sub orden Apócrita.	65
Figura 29. Filogenia de las superfamilias de Hymenóptera	66
Figura 30. Véspula Germánica	67
Figura 31. Vista superior de avispa Eumeninae	68
Figura 32. Hábitat de las avispas	69
Figura 33. Nido de avispas	70
Figura 34. Anatomía de una avispa	71
Figura 35. Vista lateral de un Hymenóptero adulto.	72
Figura 36. Vista superior del tórax un Hymenóptero adulto.	72
Figura 37. Vista anterior y posterior de la cabeza de un Hymenóptero adulto	73
Figura 38. Localización de las glándulas exocrinas de un Hymenóptero adulto.	73
Figura 39. Vista inferior de un Hymenóptero adulto	74
Figura 40. Cámara digital Sony DSC H7	75
Figura 41. Fotos Ejemplar 1 en Diversas Posiciones	76
Figura 42. Fotos Ejemplar 2 en Diversas Posiciones	77
Figura 43. Microscopio Nikon Eclipse ME 600	78
Figura 44. Escapo y pedicelo de antena	79
Figura 45. Unión de tórax y abdomen	79
Figura 46. Tergos de abdomen	79
Figura 47. Coxa, trocánter y fémur de patas posteriores	80
Figura 48. Ojo de la avispa	80
Figura 49. Acercamiento del ojo de la avispa	80
Figura 50. Reconstrucción de la superficie del ojo por medio de intensidades de luz	81
Figura 51. Microscopio Hirox KH7700	81
Figura 52. Cabeza – Frente, ojos y clípeo. Zoom 100x	82

Figura 53. Cabeza – frente, ojos y clípeo. Zoom 100x	82
Figura 54. Mandíbula – Palpo labial y maxilar. Zoom 150x	82
Figura 55. Mandíbula. Zoom 200x	83
Figura 56. Antena – Escapo y pedicelo. Zoom 100x	83
Figura 57. Cabeza – Antenas, ojo y ocelos. Zoom 100x	83
Figura 58. Cabeza – Vértex, ojos y ocelos. Zoom 100x	84
Figura 59. Cabeza – Ojo. Zoom 150x	84
Figura 60. Tórax – Fóvea pronatal y Tégula. Zoom 100x	84
Figura 61. Tórax – Metanoto y Propodeo. Zoom 100x	85
Figura 62. Tórax y abdomen. Zoom 100x	85
Figura 63. Abdomen – Tergo I. Zoom 100x	85
Figura 64. Abdomen – Tergos I, II y III. Zoom 100x	86
Figura 65. Abdomen – Tergos I y II. Zoom 100x	86
Figura 66. Abdomen – Vista inferior. Zoom 100x	86
Figura 67. Abdomen – Tergos y esternos. Zoom 100x	87
Figura 68. Patas – Coxa, trocánter y fémur. Zoom 100x	87
Figura 69. Metanoto, coxa y trocánter. Zoom 100x	87
Figura 70. Coxa y Trocánter. Zoom 100x	88
Figura 71. Trocánter y fémur. Zoom 100x	88
Figura 72. Fémur, tibia y tarso. Zoom 100x	88
Figura 73. Fémur y tibia. Zoom 100x	89
Figura 74. Tórax y alas de la avispa. Zoom 100x	89
Figura 75. Ala anterior y posterior derecha. Zoom 100x	89
Figura 76. Medidas de la cabeza de la avispa a la altura del vértex. Zoom 100x	90
Figura 77. Medidas de la carena proyrenatalla fóvea proyrenatal Zoom 100x	91
Figura 78. Medidas del ala anterior y posterior izquierdas. Zoom 100x	91
Figura 79. Medidas del tarso, tarsómeros y uña de la pata anterior derecha. Zoom	92
Figura 80. Medidas de los tergos del abdomen. Zoom 100x	92

Figura 81. Medida del aguijón. Zoom 250X	93
Figura 82. Celdilla hexagonal del interior del nido de avispas. Zoom 100x	93
Figura 83. Proporciones Generales Vista de Arriba	94
Figura 84. Análisis Proporcional del Cuerpo de la Avispa	95
Figura 85. Patrones de Distribución Simetría Axial	96
Figura 86. Análisis Proporcional	96
Figura 87. Radiación Concéntrica – Repetición Estructural	97
Figura 88. Venación y Patrones de Proporción en el Ala Anterior	98
Figura 89. Venación y Patrones de Proporción en el Ala Posterior	98
Figura 90. Articulaciones de la Avispa en Vista Lateral	99
Figura 91. Estructuración Esquemática de la Avispa en Perspectiva	99
Figura 92. Bocetos Diversas Perspectivas del Cuerpo de la Avispa	100
Figura 93. Bocetos Diversas Perspectivas de las Partes de la Avispa	101
Figura 94. Modelos en Plastilina con Estructura de Alambre	102
Figura 95. Vista Superior	103
Figura 96. Perspectiva Superior con Acercamiento	104
Figura 97. Vista Lateral	104
Figura 98. Perspectiva Vista de Atrás	104
Figura 99. Vista Frontal en Perspectiva	105
Figura 100. Vista Superior en Perspectiva de Atrás	105
Figura 101. Vista Lateral en Perspectiva con Acercamiento	106
Figura 102. Avispa volando hacia el nido	106
Figura 103. Nido de avispas	107
Figura 104. Visualización parcial del interior de un nido de avispas	107
Figura 105. Visualización total del interior de un nido con avispas y embriones	107
Figura 106. Orificio de entrada al nido de avispas	108
Figura 107. Sección de un nivel interno del nido	108
Figura 108. Retícula de Módulos 1	109
Figura 109. Retícula de Módulos 2	109

Figura 110. Retícula de Módulos 3	110
Figura 111. Geometrización del Nido	111
Figura 112. Composición Bidimensional 1	111
Figura 113. Composición Bidimensional 2	112
Figura 114. Creación del Módulo para la Ballena	114
Figura 115. Construcción Tridimensional de la Ballena	114
Figura 116. Ballena en Diferentes Perspectivas	115
Figura 117. Creación del Módulo para la Estrella de Mar	115
Figura 118. Construcción Tridimensional de la Estrella de Mar	116
Figura 119. Estrella de Mar en Diferentes Perspectivas	116
Figura 120. Construcción Tridimensional de la Tortuga	117
Figura 120. Construcción Tridimensional de la Tortuga	117
Figura 121. Tortuga en Diferentes Perspectivas	118
Figura 122. Ubicación de la Coxa y Trocánter en la Avispa	119
Figura 123. Análisis del Habitáculo y las Patas de la Avispa	119
Figura 124. Planteamiento de Módulos	120
Figura 125. Conector Doble de 180°	121
Figura 126. Conector Doble de 90°	121
Figura 127. Conector Doble de 120°	121
Figura 128. Conector Triple en Forma de T	122
Figura 129. Conector Triple en Forma de Y	122
Figura 130. Conector Triple con brazos a 90°	122
Figura 131. Conector de Y con brazo a 90°	123
Figura 132. Conector en Forma de Cruz con Brazos a 90°	123
Figura 133. Conector en Forma de Cruz con Dos Brazos a 120°	123
Figura 134. Conector Quíntuple con Brazos a 120°	124
Figura 135. Conector Cuádruple con Brazos a 120°	124
Figura 136. Conector Quíntuple a 90°	124
Figura 137. Conector Séxtuple a 90°	125
Figura 138. Eje de Unión Interno entre Conectores	125

Figura 139. Eje Recto Pequeño	126
Figura 140. Eje Recto Mediano	126
Figura 141. Eje Recto Largo	126
Figura 142. Eje Curvo a 110°	127
Figura 143. Eje Curvo a 120°	127
Figura 144. Eje Curvo a 90°	127
Figura 145. Superficie Curva Plana 1	128
Figura 146. Superficie Curva Plana 2	128
Figura 147. Superficie Curva Plana 3	129
Figura 148. Superficie Esférica	129
Figura 149. Pieza para Rueda 1	129
Figura 150. Pieza para Rueda 2	130
Figura 151. Pieza para Rueda 3	130
Figura 152. Ensamble de Conector T con Eje Curvo	130
Figura 153. Ensamble de Conector Quíntuple con Eje Pequeño	131
Figura 154. Ensamble de Superficie Esférica con Conector Doble a 180°	131
Figura 155. Ensamble de Piezas de la Rueda	131
Figura 156. Conector Doble a 180° con Rediseño en Ensamble	132
Figura 157. Conector Doble a 120° con Rediseño en Ensamble	132
Figura 158. Conector en Forma de T con Rediseño en Ensamble	133
Figura 159. Conector Triple a 120° y 90° con Rediseño en Ensamble	133
Figura 160. Conector en Forma de Cruz con Dos Brazos a 120° con Rediseño en Ensamble	133
Figura 161. Conector Quíntuple con Rediseño en Ensamble	134
Figura 162. Eje Pequeño con Rediseño en Ensamble	134
Figura 163. Eje Mediano con Rediseño en Ensamble	134
Figura 164. Ensamble con Piezas Rediseñadas 1	135
Figura 165. Ensamble con Piezas Rediseñadas 2	135
Figura 166. Evolución Final Conector Doble a 180°	136
Figura 167. Evolución Final Conector Triple a 120°	136

Figura 168. Evolución Final Conector en T a 90°	136
Figura 169. Evolución Final Conector en Cruz con Dos Brazos a 120°	137
Figura 170. Evolución Final Conector Quíntuple con Brazos a 120°	137
Figura 171. Evolución Final Eje de Unión Interno entre Conectores	137
Figura 172. Evolución Final Eje Mediano	138
Figura 173. Ensamble 1 con Evolución Final	138
Figura 174. Ensamble 2 con Evolución Final	138
Figura 175. Configuración Tridimensional de Módulos 1	139
Figura 176. Configuración Tridimensional de Módulos 2	139
Figura 177. Configuración Tridimensional de Módulos 3	140
Figura 178. Configuración Tridimensional de Módulos 4	141
Figura 179. Configuración Tridimensional de Módulos 5	142
Figura 180. Configuración Tridimensional de Módulos 6	143
Figura 181. Configuración Tridimensional de Módulos 7	143
Figura 182. Planos de Conector en Forma de Cruz con Brazos a 90°	144
Figura 183. Planos de Conector Triple a 120° y 90°	145
Figura 184. Planos de Conector Quíntuple con Brazos a 120°	146
Figura 185. Planos de Eje Recto Mediano	147
Figura 186. Planos de Conector en Forma de Cruz con Brazos a 90°	148
Figura 187. Planos de Configuración Tridimensional Esférica	149
Figura 188. Planos de Conector en Forma de Cruz con Brazos a 90°	150
Figura 189. Cabina y Plataforma Base para Varios Vehículos	151
Figura 190. Cabina, Plataforma Base y Complemento Trasero para Automóvil	151
Figura 191. Configuración Tridimensional del Auto	151
Figura 192. Ensamble de Pieza para Avión y Helicóptero	152
Figura 193. Configuración Tridimensional de Helicóptero, Submarino y Avión	152
Figura 194. Proporción Dorada en el Automóvil	153
Figura 195. Proporción Dorada en el Diseño del Avión	154

Figura 196. Modelamiento Virtual del Automóvil, Avión y Helicóptero	155
Figura 197. Modelados Llevados a 3Ds max	156
Figura 198. Diferentes Perspectivas del Modelado del Helicóptero	157
Figura 199. Diferentes Perspectivas del Modelado del Automóvil	158
Figura 200. Diferentes Perspectivas del Modelado del Avión	159
Figura 201. Diferentes Perspectivas del Modelado del Avión Bimotor	160
Figura 202. Diferentes Perspectivas del Modelado de la Camioneta	161
Figura 203. Diferentes Perspectivas del Modelado del Submarino	162
Figura 204. Diagramación de Vehículos en Hojas Milimetradas	163
Figura 205. Modelado en Malla de Vehículos	164
Figura 206. Modelado de Automóvil, Submarino y Helicóptero	165
Figura 207. Bocetos con Evolución de Vehículos	166
Figura 208. Esquema Milimetrado de la Camioneta en sus Dos Versiones	167
Figura 209. Nueva Versión de la Camioneta	167
Figura 210. Familia de Personajes para los Vehículos	168
Figura 211. Bocetos de la Evolución Final del Automóvil	169
Figura 212. Bocetos de la Evolución Final de la Camioneta	169
Figura 213. Boceto de la Evolución Final del Helicóptero	170
Figura 214. Bocetos de la Evolución Final del Submarino	171
Figura 215. Bocetos de la Evolución Final del Avión	172
Figura 216. Vista de Sillas y Diferentes Tipos de Ensamblés	173
Figura 217. Diferentes Perspectivas del Modelado Tridimensional del Nuevo Automóvil	174
Figura 218. Diferentes Perspectivas del Modelado Tridimensional del Nuevo Helicóptero	174
Figura 219. Diferentes Perspectivas del Modelado Tridimensional de la Nueva Camioneta	174
Figura 220. Renderizado Final del Automóvil	175
Figura 221. Renderizado Final de la Camioneta	176
Figura 222. Renderizado Final del Avión	177

Figura 223. Renderizado Final del Avión Bimotor	178
Figura 224. Renderizado Final del Helicóptero	179
Figura 225. Renderizado Final del Submarino	180
Figura 226. Planos Cabina	181
Figura 227. Planos Cabina	182
Figura 228. Planos Cabina	183
Figura 229. Planos Pieza Bifuncional	184
Figura 230. Planos Cola Automóvil	185
Figura 231. Planos Carcaza Camioneta	186
Figura 232. Planos Cola Camioneta	187
Figura 233. Planos Cola Automóvil	188
Figura 234. Planos Cola Avión	189
Figura 235. Planos Cola Avión y Submarino	190
Figura 236 Planos Hélices	191
Figura 237. Planos Base Helicóptero	192
Figura 238. Planos Base Helicóptero	193
Figura 239. Planos Cola Helicóptero	194
Figura 240. Diagrama del Proceso Utilizado para la Fabricación de Piezas	197
Figura 241. Prototipados en Cera	198
Figura 242. Planos para Fabricación de Cajas para Moldes	199
Figura 243. Elaboración de Cajas para Molde	200
Figura 244. Preparación del Prototipo para Obtención de Molde	200
Figura 245. Vaciado de Caucho de Silicona sobre el Prototipo	200
Figura 246. Proceso de Desmolde	200
Figura 247. Remoción de Residuos del Prototipo	201
Figura 248. Segundo Llenado para Obtener la Otra Mitad del Molde	201
Figura 249. Separación del Molde de la Caja	201
Figura 250. Separación de las Dos Mitades del Molde	201
Figura 251. Máquina de Vacío Vacuo	202
Figura 252. Procedimiento para Realización de Piezas en Resina	202

Figura 253. Obtención y Maquinado de Diversas Piezas en Resina	203
Figura 254. Construcción Modular Tridimensional	204
Figura 255. Cortes en Láser y Pegues de Superficies Esféricas	205
Figura 256. Elaboración de Moldes en Caucho de Silicona	205
Figura 257. Llenado de Moldes y Obtención de Superficies Curvas	206
Figura 258. Acabados Finales de los Modelos	206
Figura 259. Configuración Espacial de los Módulos	207
Figura 261. Piezas recubiertas con masilla	210
Figura 262. Piezas lijadas	210
Figura 263. Piezas listas para pintar	211
Figura 264. Piezas pintadas	211
Figura 265. Prueba de usabilidad alternativa 2	212
Figura 266. Prueba de usabilidad alternativa 3	213

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FAMILIA DE JUGUETES BASADOS EN EL ANÁLISIS FORMAL Y ESTRUCTURAL DE UN INSECTO HIMENÓPTERO ALADO Y SU HABITÁCULO\*

**AUTOR:** FLOREZ MORA, Reinaldo\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Módulos, Tridimensional, Biónica, Biomimética, Juguetes, Avispa, Habitáculo, Creatividad.

### DESCRIPCIÓN

El proyecto desarrolla una familia de juguetes basada en la biónica de un insecto himenóptero alado y su habitáculo. Dicha familia está conformada por una serie de módulos tridimensionales que permite la construcción de seis juguetes diferentes representables en vehículos tales como auto, camioneta, helicóptero, avión, avión bimotor y submarino explorador.

En el transcurso del proyecto se realizó un minucioso estudio fotográfico del insecto escogido, con el cual se logró obtener no solamente imágenes de alta resolución sino, a través del uso de equipos especializados, las medidas de las principales partes del cuerpo de la avispa.

Posteriormente se realizó un análisis de proporciones para demostrar la correlación existente entre el insecto y las proporciones áureas. Para completar esta etapa del proyecto, se hizo un análisis bidimensional y tridimensional de la avispa, consistente en la elaboración de modelados físicos y virtuales.

Una vez hecha la geometrización de módulos a partir del análisis formal y estructural del insecto, se plantea el desarrollo de tres alternativas de familias de juguetes. Cada una de las alternativas fue planteada a partir del estudio y funcionalidad de diferentes partes del cuerpo del insecto y luego se procedió a realizar una evaluación de las mismas basada en parámetros formales y de diseño para llegar a la selección de aquella que obtuvo el mayor puntaje.

---

\* Tesis de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: Eduardo Serafín Guevara Melo.

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN AND CONSTRUCTION OF A FAMILY OF TOYS BASED IN THE FORMAL AND STRUCTURAL ANALYSIS OF A WINGED HYMENOPTERAN INSECT AND ITS NEST\*

**AUTHOR:** FLOREZ MORA, Reinaldo\*\*

**KEY WORDS:** Modules, Tridimensional, Bionics, Biomimetics, Creativity, Toys, Wasp, Nest.

### DESCRIPTION

The project develops a family of toys based in the bionics of a winged hymenopteran insect and its nest. This family is formed by a series of tridimensional modules which allow the construction of six different toys in the form of vehicles such as car, truck, helicopter, plane, twin-engined aircraft and explorer submarine.

During the project, a detailed photographic study of the chosen insect was done. Through this, were obtained not only high quality images but, using specialized equipment, the exact measures of the different parts of the wasp body.

Subsequently an analysis of proportions was carried out to demonstrate the existent correlation between the insect and the golden proportion. To finalize this stage of the project, a bidimensional and tridimensional analysis of the wasp was done, through the elaboration of physical and virtual models.

Once the geometrization of modules was done based on the formal and structural analysis of the insect, the development of three alternatives of families of toys was stated. Each alternative was set out through the study and functionality of the different parts of the insect's body and then proceeding to the evaluation of them, based on formal and design parameters to reach the selection of the one with the highest score.

---

\* Degree thesis

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Industrial Design. Director: Serafin Guevara Eduardo Melo.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen un gran número de inventos que el hombre ha hecho posible a lo largo del tiempo gracias al estudio y observación de la naturaleza y los seres vivos que la integran.

El hombre ha podido volar como las aves por medio de vehículos inspirados en el vuelo y anatomía de éstas. También ha encontrado patrones de proporciones de medida presentes en diversas manifestaciones de la naturaleza que le han servido para que sus creaciones sean bellas, armoniosas y funcionales.

Gracias a la tecnología, el hombre ha podido ver cosas y llegar a lugares que siglos atrás eran sólo una utopía. En este caso, una cámara y un microscopio digitales de alta resolución hacen posible que un diminuto insecto perteneciente al filo Artrópoda y al orden Himenóptera pueda verse con lujo de detalles para realizar posteriormente un análisis formal y estructural del mismo y así diseñar una familia de juguetes.

En los últimos años ha surgido una nueva familia de máquinas altamente innovadoras que permite obtener un prototipo de un modelo de manera precisa y rápida a partir del modelo sólido generado en el sistema CAD-3D. Tales máquinas conocidas como máquinas de Prototipado Rápido, permiten obtener piezas físicas, de cualquier forma y en dimensiones finales, con complejidad y detalles que no permitirían su obtención en máquinas convencionales.

Dependiendo del buen uso de éstas y otras herramientas contribuirá en una parte del éxito de este proyecto, la otra parte dependerá directamente de la creatividad, observación y capacidad de análisis del autor.

## **1. TÍTULO**

Diseño y construcción de una familia de juguetes basados en el análisis formal y estructural de un insecto himenóptero alado y su habitáculo.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **2.1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto consiste en elaborar una familia de juguetes mediante la bioconfiguración de un sistema modular estructural tridimensional con base en la síntesis de principios formales y funcionales de un insecto himenóptero alado y su habitáculo. Los insectos himenópteros alados tienen una gran riqueza formal y funcional, aspectos que serán esenciales para el desarrollo del producto.

### **2.2. ALCANCES DEL PROYECTO**

Este trabajo de grado maneja un enfoque investigativo aplicado al campo de la biónica, en donde el análisis de los principios del insecto himenóptero alado sirve como referencia para el desarrollo y configuración de productos tridimensionales.

El resultado final del proyecto es la creación de una familia de juguetes que incentive el desarrollo de la creatividad en el niño y el mejoramiento de su motricidad fina gracias al manejo de piezas de tamaño reducido con precisión; a la vez que le permitirán interactuar con formas y estructuras abstraídas de la naturaleza producto de un estudio minucioso del insecto escogido. La etapa final de este trabajo de grado será la construcción modelos funcionales.

Este proyecto servirá de modelo para el análisis de otros seres vivos que en un futuro podrán ser parte del Grupo Biónica de la Escuela de Diseño Industrial.

## **2.3 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS**

**2.3.1 Objetivo General.** Diseñar una familia de juguetes aplicando la bioconfiguración modular tridimensional resultante del análisis formal y estructural de un insecto himenóptero alado y su habitáculo.

### **2.3.2 Objetivos Específicos**

- Plantear un sistema de piezas que permitan ser ensambladas entre sí con base en el análisis formal y estructural de un insecto himenóptero alado y su habitáculo.
- Generar productos que contribuyan al sano esparcimiento de la población infantil.
- Resaltar la labor que desempeña el Grupo de Investigación de Biónica de la Escuela de Diseño Industrial.

## **2.4 JUSTIFICACIÓN**

Los juguetes reflejan en sí mismo, el nivel de desarrollo de la sociedad que los crea, tiene grabado en sí y materializado en su estructura el desarrollo histórico-social del hombre, de la misma forma que cualquier otro producto de la actividad material y espiritual del ser humano. Caracterizan la primera fase de preparación para la acción productiva que los niños y niñas han de tener cuando alcancen la edad adulta.

Se espera que con el desarrollo de este proyecto se pueda generar un conocimiento más amplio de las formas orgánicas provenientes del estudio del análisis formal y estructural de un insecto himenóptero alado y su habitáculo.

Los juguetes que se elaboren harán parte de una familia de objetos que guardarán entre sí una coherencia formal, lo cual implica que éstos presentarán

características tales como uniformidad tanto de materiales como de acabados superficiales, así como formas redondeadas que impidan al usuario lastimarse con ellos al manipularlos.

La Escuela de Diseño Industrial de la UIS cuenta con el grupo de investigación Biónica, el cual tiene como propósito fundamental la exploración de los principios de los seres vivos para realizar procesos de bioconfiguración tecnológica. Sin embargo, es pertinente profundizar en ese campo de acción, por lo tanto, este proyecto contribuye a que el grupo Biónica enriquezca su labor investigativa.

La Universidad Industrial de Santander realizó en el presente año una convocatoria para apoyar el desarrollo de proyectos de grado en donde éste salió favorecido, motivo por el cual se tomó la decisión de destinar estos recursos económicos en la fabricación de los modelos funcionales con tecnología de punta mediante el uso de máquinas de corte de láser y prototipado rápido. Éstas posibilitan una mayor velocidad en la obtención de prototipos comparados con los procesos tradicionales de fabricación.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 EL DISEÑO EN LA NATURALEZA

Al hablar de la historia del diseño son muchos los nombres que vienen a la mente como ejemplos de pioneros en este campo pero algunas veces olvidamos que el diseño proviene originalmente de la naturaleza.

Si bien podemos disfrutar del mismo a diario, suele darse por sentado la existencia de las formas que nos son comunes hoy en día y obviamos que las mismas son producto de la evolución a través del tiempo, en la cual la misma naturaleza perfecciona sus creaciones o sencillamente prescinde de ellas cuando dejan de ser funcionales.

Una de las pruebas más contundentes de cómo la naturaleza es la más perfecta diseñadora es el estudio de la que se ha llamado “La Divina Proporción”<sup>1</sup> que establece la existencia de una especie de patrón de crecimiento presente en la mayor parte de las creaciones naturales aun cuando a simple vista las mismas puedan parecer aleatorias.

El término “fracción dorada” proviene del exclusivo y distintivo valor atribuido a esta relación proporcional. En cualquier línea que se decida estudiar sólo hay un punto que la cortará en dos partes desiguales que guarden esta proporción recíproca y este punto es llamado el punto de fracción dorada. La completa reciprocidad de esta proporción sorprende por lo armónica y agradable, un hecho que ha sido probado por muchos experimentos científicos desde finales del siglo pasado.

---

<sup>1</sup> Doczi György (2005). “The Power of Limits. Proportional Harmonies in Nature, Art & Architecture”. Shambhala. Boston & London.

Este patrón de crecimiento puede ser apreciado en la forma en que están dispuestas las hojas en el tallo de cualquier planta o árbol; usualmente vamos a observar un “espiral que va desde la parte baja de la planta hacia su punta y que conserva un ángulo constante para poder aprovechar de mejor forma la luz del sol y evitar producir demasiada sombra a las hojas que se encuentran debajo”<sup>2</sup>.

Figura 1. Crecimiento de las hojas en un árbol



Fuente: Tomado de <http://3Y5Y8simetriaaurea.blogspot.com>

De la misma forma podemos observar la existencia de la proporción dorada en el centro de muchas flores que crecen siguiendo “espirales logarítmicas”<sup>3</sup> aunque muchos creen que lo hacen de una forma aleatoria, pero la supuesta aleatoriedad no resiste la pregunta del porqué se repiten una y otra vez en diversas especies.

Figura 2. Flores que exhiben espirales de la proporción dorada



Fuente: Tomado de <http://3Y5Y8simetriaaurea.blogspot.com>

<sup>2</sup> Disponible en Internet en <http://the-conscious-mind.blogspot.com/2005/10/consciousness-and-mathematics.html>

<sup>3</sup> Doczi György. Op. Cit. p. 4

Al observar la figura humana nos admiramos de la gran cantidad de rasgos que nos permiten diferenciar una persona de otra, pero aún en ese momento la naturaleza logra “lo aparentemente imposible, creando formas que son similares y diferentes, unidas y diversas al mismo tiempo”<sup>4</sup> tal como lo explicó D’arcy Wentworth Thompson en su “Teoría de las Transformaciones”.

Al estudiar las proporciones de los seres humanos podemos darnos cuenta que estas se repiten, una vez más, siguiendo los patrones de la divina proporción y se mantienen indiferentemente de que se trate de un hombre o de una mujer. Ejemplos de ello son la forma de espiral del oído humano, las proporciones existentes entre diversas secciones en la mayoría de los huesos o las partes del cuerpo, incluso el espiral de crecimiento de un feto humano.

Figura 3. La divina proporción en el cuerpo humano



Fuente: Tomado de <http://3Y5Y8simetriaaurea.blogspot.com>

La unidad dentro de las diversidades de los patrones orgánicos e inorgánicos es también apreciada en el espiral de ciertas galaxias “las cuales hacen eco en una escala cósmica al diminuto espiral dinérgico de los patrones de las conchas y las flores”<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Ibíd. p. 83

<sup>5</sup> Ibíd. p. 80

Figura 4. Crecimiento en espiral áurea de una galaxia



Fuente: Tomado de <http://astrofisicaespiralaurea.blogspot.com>

Otra influencia que muchos encuentran difícil de creer se estableció en el año de 1989, cuando el profesor Paul Davies de la Universidad de Adelaida relacionó el funcionamiento de los agujeros negros a la divina proporción al descubrir que “estos pasan de calentarse a enfriarse, cuando el cuadrado de su masa, dividido por el cuadrado de su velocidad de rotación es PHI”<sup>6</sup>.

Figura 5. Agujeros negros mostrando la espiral áurea



Fuente: Tomado de <http://www.dailygalaxy.com>

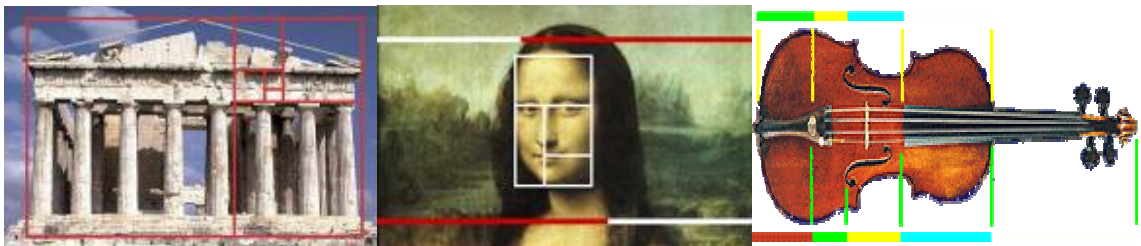
Básicamente, la pérdida de calor libera a los gases del agujero negro de su presión interna, lo cual le permite a la fuerza de gravedad contraerlos a un volumen menor; cuando esto sucede el gas se calienta y se da este efecto contradictorio a los ojos de muchas personas.

---

<sup>6</sup> Disponible en Internet <http://www.guardian.co.uk/science/2003/jan/16/science.research1>

Basándose en el estudio de la divina proporción en la naturaleza, el hombre ha aplicado las mismas reglas a sus diseños y es así como podemos apreciar su influencia en construcciones arquitectónicas como El Partenón de Grecia, obras de arte como La Monalisa de Da Vinci y en el diseño de instrumentos musicales como el violín, por solo mencionar algunas.

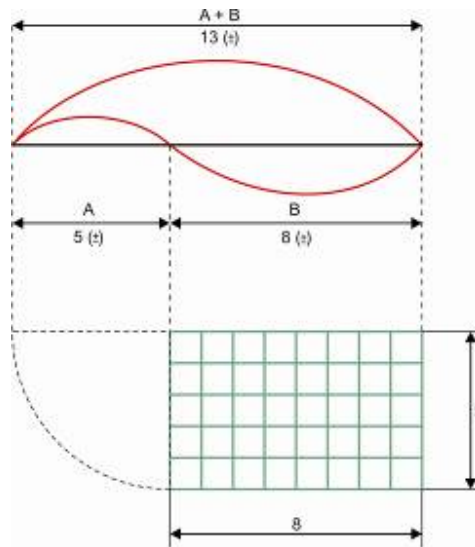
Figura 6. La Divina Proporción en el Partenón – La Monalisa – Medici Violín



Fuente: Tomado de <http://www.quickanddirtyinternational.com/graphics/proportion>

La figura 7 muestra el llamado “rectángulo dorado” de proporciones 5x8; también muestra una línea cortada por la fracción dorada en partes  $A=5$  y  $B=8$ , con arcos por encima y por debajo de la línea que enfatizan la reciprocidad de estas relaciones. Si los lados del cuadrado son de una unidad de largo, entonces cada una de las extensiones será de 0.618 unidades de largo y los rectángulos de  $1 \times 0.618$  en ambos lados del cuadrado serán rectángulos dorados. Cada uno de éstos combinados con el cuadrado forman un rectángulo dorado más largo,  $1 \times 1.618$ . Estos rectángulos más grandes y los más pequeños son cada uno recíprocos, en el sentido que el lado más largo de los pequeños y el lado más pequeño de los grandes son los mismos. La longitud total de estos rectángulos dorados recíprocos es 2.236 unidades, siendo este número idéntico a  $\sqrt{5}$ .

Figura 7. Rectángulo Dorado



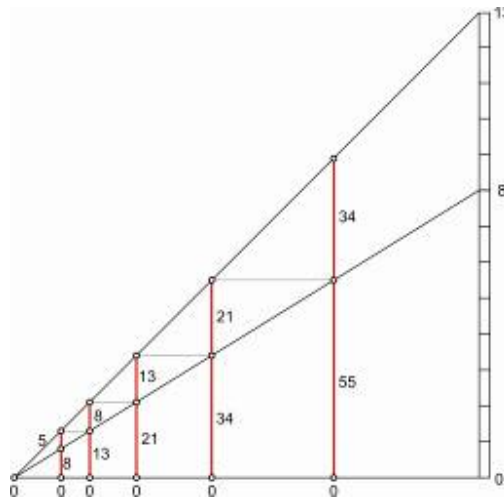
$$A : B = (A + B) = 0.618... \quad B : A = (A + B) : B = 1.618...$$

$$5 : 8 = 0.625 ; 8 : 13 = 0.615 \quad 8 : 5 = 1.6 ; 13 : 8 = 1.62$$

Fuente: Elaborado por el autor con base en el libro "The power of limits"

Los números que significan cercanía entre las viejas y nuevas etapas de crecimiento prueban ser miembros de las llamadas Series Sumatorias, en las cuales cada número es la suma de los dos anteriores: 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, etc. Esta es la famosa Serie Fibonacci, nombrada así por el apodo de Leonardo de Pisa quien la introdujo a Europa hace alrededor de 800 años, junto con los numerales Indo-arábicos y el sistema decimal. Cualquier número en esta serie dividido por el siguiente se aproxima a 0.618... y cualquier número dividido por el anterior se aproxima a 1.618..., siendo éstas las tasas proporcionales características entre la parte principal y secundaria de la fracción dorada.

Figura 8. Escala Geométrica de la Serie de Fibonacci



Fuente: Elaborado por el autor con base en el libro "The power of limits"

### 3.2 EVOLUCIÓN DE LOS OBJETOS

La evolución de la humanidad ha sido estudiada a través del tiempo bajo diferentes parámetros, siendo uno de ellos la evolución de los objetos utilizados por el hombre.

Inicialmente el ser humano utilizó aquellos elementos que tenía a su alcance en la naturaleza principalmente como fuente de alimento y resguardo y poco a poco fue encontrando diferentes usos para los mismos, eventualmente el uso de los objetos fue cambiando y otros fueron creados para lograr satisfacer todas sus necesidades.

**3.2.1 La Forma.** Los primeros objetos creados tenían un carácter meramente utilitario y estaban determinados en su forma por la limitación de los materiales de los cuales se disponía. Uno de los ejemplos más sencillos de evolución lo encontramos en la piedra, que en un inicio sólo servía como objeto de defensa ante los animales pero poco a poco fue transformándose hasta derivar en la creación de objetos cortopunzantes que sirvieran de armas.

En un inicio las piedras eran golpeadas una contra otras para obtener bordes filosos, la forma obtenida debía cumplir con ciertos requerimientos de peso, funcionalidad y adaptación al usuario.

La adaptación de las diversas formas para obtener los mejores resultados posibles es una búsqueda constante en la que se encuentra el diseñador, quien tiene que observar la naturaleza e integrar en sus creaciones los principios básicos con los que ella resuelve los problemas.

El uso de la forma en el diseño es muy importante y usualmente se estudian dos tipos de crecimiento: el orgánico que “generalmente crece desde la parte interna... dando lugar a formas redondeadas y suaves” y el inorgánico o mineral que es “angular y se da desde el exterior hacia el interior, semejando una superposición de capas sucesivas”<sup>7</sup>.

Según el profesor Jorge Wagensberg, director del grupo de investigación en Biofísica de la Universidad de Barcelona podemos encontrar en la naturaleza ciertos patrones que hacen referencia a la forma y a la función específica por la que el mundo natural la utiliza.

---

<sup>7</sup> Valencia, Andrés. (2006) “Forma, estructura y movimiento” en la revista Iconofacto de la Facultad de Diseño de la Universidad Pontificia Bolivariana. Bogotá. Volumen 2, Número 3, Mayo. p. 75.

Tabla 1. Relación Forma Función en la Naturaleza

Forma	Función
Esfera	Contiene
Hexágono	Pavimenta
Espiral	Crece
Hélice	Agarra
Punta	Penetra
Cono	Concentra
Onda	Transporta
Fractal	Coloniza
Catenaria	Soporta

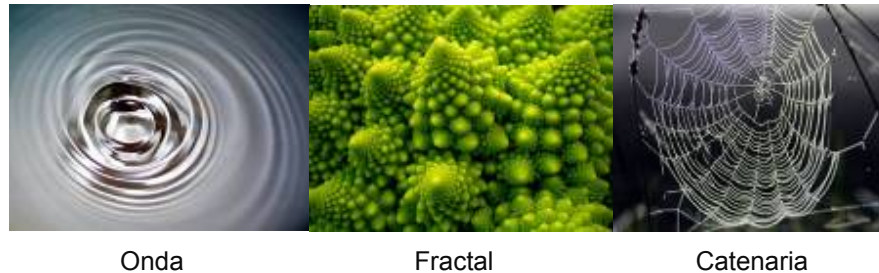
Fuente: Tomado de Revista Iconofacto Volumen 2, Número 3, Mayo 2006. p. 77

A continuación podemos observar algunas de las formas más comunes en el mundo natural (la figura 9 es una adaptación de la realizada por Andrés Valencia en su artículo “Forma, estructura y movimiento” ya citado anteriormente).

Figura 9. Funciones Básicas en la Naturaleza



*Continuación Figura 9.*



Onda

Fractal

Catenaria

**3.2.2 La Estructura.** Es otro de los elementos fundamentales a decidir cuando se diseña el objeto. Al observar la naturaleza nos damos cuenta de que esta agrega material o lo desecha en los puntos clave, para hacer sus creaciones más resistentes a las fuerzas del medio ambiente y por lo tanto más duraderas.

En algunos casos variaciones mínimas en la disposición de los materiales permiten maximizar su resistencia de acuerdo a las necesidades del objeto que se esté estudiando. Uno de los mejores ejemplos se halla en las variedades de carbono, “que cuando se presenta en forma de grafito, aparece como uno de los materiales más blandos que hay; en cambio, cuando se presenta como diamante es la sustancia más dura conocida por el hombre hasta la fecha”<sup>8</sup>.

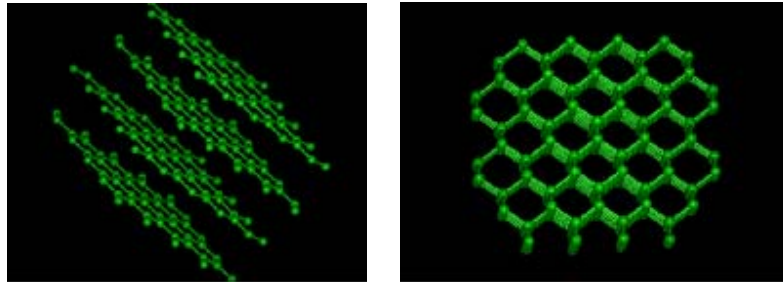
La diferencia no es otra que la disposición geométrica de los átomos que conforman el material. Según el estudio de Fernando Sierra<sup>9</sup>, en el grafito los átomos están dispuestos en redes planas de hexágonos que se deslizan fácilmente dándole fragilidad al material, mientras que en el diamante están dispuestos como una cercha (arreglo hexagonal) con los ejes internos de tetraedros lo cual genera la dureza de los mismos.

---

<sup>8</sup> SIERRA, Fernando. (2006). “Estructuras Ligeras”. Universidad Pontificia Bolivariana. p. 17

<sup>9</sup> *Ibíd.* p. 17-19

Figura 10. Disposición Molecular del Grafito y del Diamante



Fuente: Tomado de <http://baseu.ujed.mx/miWeb12/unidad29>

En el mundo natural se pueden apreciar dos clases de curvaturas que son generadas por diversas causas. Primero encontramos las que derivan su forma y estructura “de la presión interna de un líquido o gas y que tiende a la esfericidad denominadas curvas sinclásticas y aquellas que derivan su forma de la tracción externa y tienden a la curvatura anticlástica”<sup>10</sup>.

Figura 11. Curvas Sinclásticas (huevo) y Anticlásticas (telaraña)



Fuente: Tomadas de <http://www.soyluciernaga.blogspot.com> y [www.scienceblogs.com](http://www.scienceblogs.com)

Uno de las disciplinas donde es más obvio el uso de las curvas sinclásticas y anticlásticas es en la arquitectura, donde los diseños no sólo deben ser bellos sino además deben estar preparados para soportar las distintas cargas que impone el medio ambiente tales como la fuerza de gravedad, los fluidos, los cambios térmicos y de presión del aire.

---

<sup>10</sup> Ibid. p. 20

Figura 12. Techos Curvos Sinclásticos y Anticlásticos



Fuente: Tomadas de <http://www.witchweb.net/familiar/dome.jpg> y <http://www.cconstruccion.net/revista/articulo3.pdf>

### 3.3 LA IMPORTANCIA DE LA BIÓNICA EN EL DISEÑO

Si bien el hombre ha logrado crear maravillosos diseños se ha visto muchas veces ante la necesidad de mejorarlos y hacerlos más apropiados para satisfacer las necesidades de su usuario ya sea en términos de eficiencia, tamaño o forma.

En este proceso se ha vuelto la mirada hacia la naturaleza no sólo como fuente de inspiración sino como fuente de mejoramiento de los diseños ya existentes, es de aquí que nace el concepto de Biónica, entendido como “el estudio de los sistemas naturales, su forma, función y procesos, con el fin de extraer modelos que den indicaciones conceptuales y técnicas para innovar el diseño”<sup>11</sup>, unido a este concepto encontramos otras definiciones tales como biomimética, bioconocimiento, biomímica e ingeniería creativa biónica los cuales vienen a ser sólo derivaciones del mismo estudio.

Son muchos los diseños y proyectos en los cuales puede encontrarse un componente biónico, entendido desde la óptica de diversas disciplinas (química, física, medicina, robótica y dinámica entre otras) y éste tiende a abolir la separación que durante tantos años trató de mantenerse entre el mundo natural y el mundo técnico.

---

<sup>11</sup> SIERRA, Fernando. (2006). “Estructuras Ligeras”. Universidad Pontificia Bolivariana. p. 11

La mayor diferencia entre el diseño hecho por la naturaleza y el hecho por el hombre es la increíble lentitud con que ocurren los cambios en el primero aunque debe reconocerse que siempre se dan manteniendo un delicado balance entre funcionalidad y apariencia.

Es por lo anterior que la biónica debe verse como una herramienta para la creación de diseños más sostenibles, no debe tenerse miedo a copiar de la naturaleza diseños que ya han probado ser exitosos o por lo menos usarla como fuente de inspiración e integración de nuestros productos con el medio ambiente.

El mundo natural tiene la ventaja de ofrecer soluciones a diversos problemas manteniendo un delicado equilibrio ambiental y utilizando sólo los niveles necesarios de energía mientras que el hombre ha probado sus falencias al momento de diseñar dentro de parámetros de sostenibilidad a largo plazo y ahorro de los recursos existentes.

Debido a la impostergable necesidad de nuestra sociedad de actuar de forma más responsable con el medio ambiente y tomando en cuenta que en la naturaleza encontramos al mejor maestro cuando de ecodesarrollo se trata, debemos reconocer las ventajas de retomar lo que a la naturaleza le llevó millones de años lograr y aun hoy subsiste.

A continuación se hará un breve recuento de diferentes soluciones o mejoras propuestas desde la biónica a diversos problemas que aquejan al hombre.

**3.3.1 El Autogiro.** El ingeniero español Juan de la Cierva observó la dispersión de las semillas aladas de arce, las cuales caen en espiral por el aire y de ahí desarrolló un avión antecesor de helicóptero llamado “autogiro” en 1928, que sigue usándose en la actualidad para el vuelo deportivo.

El vuelo de la semilla de arce muestra las propiedades de la hélice y dispone de un sistema que le permite retrasar su caída cuando se desprende del árbol. Se trata del ala que crece junto a la semilla que al desprenderse del árbol le permite ser arrastrada, por el viento, lejos de la planta original.

Figura 13. Semilla alada de arce – Autogiro de la Cierva – C30 modelo evolucionado del Autogiro



Fuente: Tomadas de <http://ricardo.eresmas.net> y <http://www.lector.net/verjun00/autogir4.htm>

De la misma manera De la Cierva diseñó una aeronave que disponía de un “rotor movido indirectamente para asegurar la elevación. Cuando el aparato estaba en el aire, avanzaba por efecto de la hélice convencional de la proa, y el rotor giraba automáticamente como un molino de viento”<sup>12</sup>.

Si bien el autogiro tenía muchas limitaciones tales como no poder despegar verticalmente ni mantenerse estático en el aire fue el que sentó las bases para el diseño del helicóptero por Focke y Sikorsky.

**3.3.2 El Velcro.** Es un sistema de cierre inventado por el científico suizo, George de Mestral, quien en 1941 después de dar un paseo por el campo con su perro tuvo dificultades para remover una semilla espinosa del pelo de su perro y de sus pantalones. Cuando finalmente logró removerlas las estudió bajo el microscopio.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Disponible en Internet en <http://www.lector.net/verjun00/autogiro.htm>

<sup>13</sup> Disponible en Internet en <http://www.velcro.co.uk/cms/History>

Impresionado por la adhesión de los ganchos de las semillas espinosas, copió el diseño e ingenió un cierre de dos piezas. Una de las piezas tiene unas púas rígidas semejantes a las de la cubierta seminal espinosa, mientras que la otra pieza tiene suaves anillos que permiten que las púas se adhieran. De Mestral nombró a su invento Velcro pero el mismo estuvo por varios años sin ningún uso práctico.

Al llegar la era espacial esta situación cambió debido a la necesidad de los astronautas de lograr que las cosas se mantuvieran fijas en un solo lugar en un ambiente de gravedad cero. A partir de allí, son muchos los usos que se han dado al renat desde su uso en prendas de vestir y zapatos hasta aplicaciones en campos de la medicina (muñequeras, rodilleras, fajas, productos para personas de la tercera edad, entre otros), industria (fijación de objetos pesados en diversas temperaturas, adhesivos), sector automotriz (fijación de asientos, sistema eléctrico, almacenamiento) y en el hogar (costuras y artesanías), incluso se establece que más de 5.000 patentes de diversos productos a nivel mundial incluyen el uso del renat.

Figura 14. Semilla de Cardo Alpino – Vista Microscópica del Velcro – Usos



Fuente: Tomadas de <http://xoomer.alice.it>, [islakokotero.blogspot.com](http://islakokotero.blogspot.com) y <http://www.velcro.co.uk>

**3.3.3 Escarabajo de Namib.** El desierto Namib es una región salvaje del África que soporta fuertes vientos, temperaturas extremas y casi nunca llueve. En la madrugada, está cubierto de una densa neblina proveniente del Atlántico. La

neblina contiene gotitas de vapor de agua y el escarabajo, un miembro de la familia tenebrinoide desarrolla un mecanismo natural para capturarla.

En la superficie irregular de la espalda del escarabajo, los huecos están cubiertos de cera, lo que los hace impermeables, pero los picos no contienen grasa y atraen el agua. Cuando la brisa sopla, el escarabajo se para contra el viento. Gotitas diminutas de agua se posan en los picos, convirtiéndose poco a poco en una gota más grande que eventualmente rueda por la espalda en dirección a su boca. Así la criatura tiene que beber en un sitio donde rara vez llueve<sup>14</sup>.

Un grupo de investigadores de ciencia de materiales y del departamento de ingeniería del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) han estudiado las propiedades de la piel del escarabajo y reportado diversas aplicaciones para una superficie que combine la super hidrofilia y la super hidrofobia a la vez; entre las cuales se incluyen gafas y parabrisas libres de niebla.

Figura 15. El escarabajo de Namib –Material Repelente y Atrayente al agua



Fuente: Tomadas de <http://sombra.lamatriz.org> y <http://www.technologyreview.com>

Pero tal vez la más importante aplicación que se está desarrollando es la de un nuevo material que tiene ciertas áreas que repelen el agua (superficie esférica) y otras que la atraen (superficie plana), el cual planea ser usado para cosechar agua en las regiones áridas.

---

<sup>14</sup> Disponible en Internet en <http://sombra.lamatriz.org/el-escarabajo-y-el-agua-nanotecnologia-y-naturaleza>

Según Michael Rubner del MIT<sup>15</sup>, este material tiene la ventaja de condensar las gotas de agua de la humedad atmosférica, canalizarlas para su aprovechamiento y eliminar las bacterias para permitir su consumo inmediato. Dicho material va a ser utilizado para servir directamente como recubrimiento del techo de las viviendas.

**3.3.4 Reflectores Ojos de Gato.** Desarrollados originalmente en el Reino Unido en la década del 30 y usados, desde entonces a nivel mundial, como elementos de señalización vial se basan en el principio de retroreflexión y se ha probado su valor al servir en ambientes llenos de neblina y nieve y en caminos donde la iluminación no es la más adecuada en horas de la noche.

Esta invención fue patentada por Percy Shaw en 1934, y su nombre se debe a que fue inspirado por el brillo que reflejan los ojos de los gatos en la oscuridad, pero el lente ya había sido inventado por Richard Hollins Murray con fines publicitarios seis años antes<sup>16</sup>.

Figura 16. Reflectores Ojos de Gato para señalización de caminos



Fuente: Tomadas de <http://www.en.wikipedia.org>

El ojo de un gato posee detrás de su retina un tejido reflectante llamado “tapetum lucidum” que le permite distinguir lo que lo rodea, cuando la luz es tan reducida que impide la visión para el hombre. Dicho tejido, que logra aumentar entre 30 y

<sup>15</sup> Disponible en Internet en <http://www.technologyreview.com/player/06/05/29Bullis/1.aspx>

<sup>16</sup> Disponible en Internet en <http://www.catseyeroadstuds.com/history.html>

50 veces cualquier rastro de luz, por pequeño que sea, es el que hace brillar en la oscuridad los ojos de los gatos, cuando los alcanza un rayo luminoso y es el principio en el cual se basan los reflectores de camino.

Los apagones sufridos en tiempos de la segunda guerra mundial ayudaron a popularizar el uso de los reflectores ojos de gato que originalmente consistían de dos pares de esferas de vidrio reflectivas puestas dentro de un domo blanco de caucho y ensamblado en un casco metálico para proteger el reflector del peso ocasionado por el tráfico.

**3.3.5 Tecnología Nodular.** El biomecánico Frank Fish ayudó en el diseño de las astas de turbinas eólicas<sup>17</sup>, en las que incorporó unos nódulos, inspirándose en las aletas de la ballena jorobada. Los moluscos adheridos al borde de las aletas que generan protuberancias ayudan a la ballena a generar fuerza para su giro. Estas astas están siendo probadas en el Instituto canadiense de Energía Eólica para ver si pueden generar mayor energía a velocidades menores y con menos ruido que las astas convencionales.

Figura 17. Aleta de la Ballena Jorobada y Rediseño de Turbinas Eólicas



Fuente: Tomadas de <http://resseny.blogspot.com/2008/06/aletas-del-viento.html> y [www.whalepower.com](http://www.whalepower.com)

---

<sup>17</sup> Disponible en Internet en <http://resseny.blogspot.com/2008/06/aletas-del-viento.html>

Por su parte la compañía WhalePower, cuyo primer director fue el Dr. Fish, espera llevar esta tecnología nodular más allá del simple rediseño de las astas de turbinas, además pretende revolucionar el diseño de compresores, bombas y ventiladores. La compañía busca la adición de estos pequeños bultos al borde de astas y rotores en el corazón de casi cualquier máquina diseñada para trabajar con fluidos sean estos aire, agua, vapor o aceite.

Las pruebas realizadas por WhalePower a esta clase de turbinas, en túneles de viento y agua, han arrojado resultados asombrosos como por ejemplo una mejora del 8% en el nivel de alzada y una disminución del 32% en el nivel de arrastre en comparación con los niveles alcanzados por turbinas sin las protuberancias mencionadas<sup>18</sup>.

En estos estudios, las astas nodulares han podido superar las limitaciones de los fluidos dinámicos que fueron consideradas durante mucho tiempo por científicos como inevitables<sup>19</sup>.

De esta forma, las turbinas de viento serán más eficientes y confiables, las turbinas hidroeléctricas permitirán nuevas fuentes de generación de energía, las bombas con tecnología nodular permitirán elevar la eficiencia de los sistemas de acueducto municipales y de irrigación de granjas y por último revolucionará los ventiladores que necesitarán menos energía y a su vez generarán menor nivel de ruido.

**3.3.6 El Efecto Loto.** Wilhelm Barthlott, famoso botánico alemán dedicó años a la investigación de la hoja de loto y su capacidad para repeler la suciedad de forma tan exitosa. El secreto, según los estudios de Barthlott<sup>20</sup>, radica en las

---

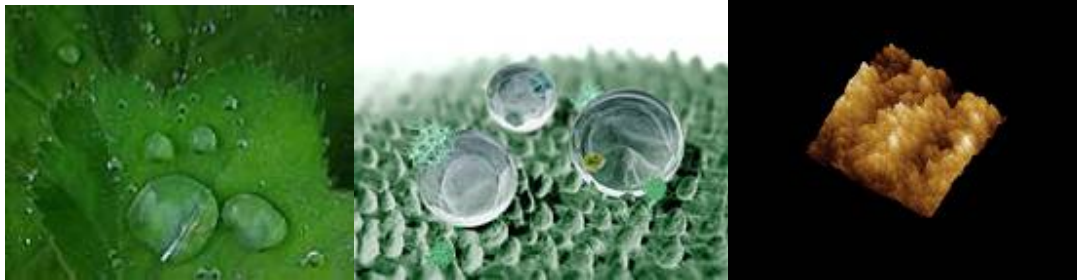
<sup>18</sup> <http://www.biomimicryinstitute.org>

<sup>19</sup> Disponible en Internet en <http://www.whalepower.com/drupal/>

<sup>20</sup> Disponible en Internet en: <http://www.slate.com/id/2145813/slideshow/2145864/fs/0//entry/2145861/>

protuberancias microscópicas a lo largo de la superficie de la hoja que se encuentran cubiertas por una película de cera, la cual les da la característica de hidrofobicidad.

Figura 18. Hoja de Loto – Vistas Microscópicas de la misma



Fuente: Tomadas de <http://en.wikipedia.org> y <http://www.slate.com>

Las partículas de polvo se asientan en estas diminutas protuberancias enceradas con muy pocos puntos de contacto por lo que la fuerza de adhesión entre la superficie y la gota de agua se reduce significativamente generando el proceso de auto lavado.

Al contacto con la lluvia, las partículas de polvo son atraídas más fuertemente al agua que a la misma hoja y con base en dicho principio fue que Barthlott se involucró en el desarrollo de una pintura que repele la suciedad llamada Lotusan. Dicha producto tiene características que cuidan el medio ambiente ya que disminuye la necesidad de usar limpiadores industriales en las fachadas que la usan. La compañía alemana Erlus AG, desarrolló con base en el mismo principio unas tejas de terracota autolimpiable que salieron al mercado el año anterior.

La más reciente de las creaciones con efecto loto se encuentra en la tela GreenShield (escudo verde) creada por la compañía G3i<sup>21</sup>, dedicada al uso de nanomateriales con fines ambientales, que hace pocos meses fue certificada por

---

<sup>21</sup> Disponible en Internet en <http://www.greensage.com/ezine/08zines/01Jan08/ezine01-08GreenShield.html>

SCS (Sistemas de Certificación Científica) debido a su tratamiento bajo en fluoro carbono.

Figura 19. Efecto Hoja de Loto en Textiles



Fuente: Tomadas de <http://www.textileworld.com> y <http://www.greensage.com>

A diferencia de otros textiles en el Mercado, GreenShield usa un promedio de 8 veces menos fluoro carbono y tiene mejor repelencia al agua y al aceite que la mayoría de las telas existentes. La certificación se otorgó tomando en cuenta que los tratamientos realizados con fluoro carbonos tienen efectos contaminantes que persisten en el medio ambiente y producen acumulación de sustancias tóxicas en varios tejidos las cuales puedes ser perjudiciales para la salud.

En la figura anterior se muestra como las nanopartículas proveen a la tela de una superficie microcorrugada que repele líquidos en la misma forma que las protuberancias microscópicas y la película de cera sirven esa función en la hoja de loto.

**3.3.7 Innespace Dolphin.** La compañía californiana Innespace Productions<sup>22</sup>, creada en 1998, se dedica a la creación de vehículos sumergibles de alto rendimiento usados en exhibiciones y competencias deportivas.

Este vehículo, que está en el mercado desde el 2001, usa un método de sumersión radicalmente diferente al típico ya que aprovecha la velocidad delantera

<sup>22</sup> Disponible en Internet en <http://www.innespace.com/>

y el empuje descendente de las alas para volar bajo la superficie del agua permitiendo un estilo de navegación libre. Entre sus principales características se encuentra la habilidad de sumergirse rápidamente, saltos a grandes distancias y vuelo en espiral entre otras.

Figura 20. Vehículo Innespace Dolphin



Fuente: Tomadas de <http://www.innespace.com>

Esta compañía espera seguir desarrollando naves que tengan la habilidad de replicar las características de otros animales marinos, no solamente el delfín, con el fin de mejorar el nivel de funcionamiento de las mismas sin que la versatilidad implique riesgos para los tripulantes de sus productos.

**3.3.8 Ropa Inteligente.** Investigadores británicos están trabajando en la creación de una nueva tela que se ajuste automáticamente a las temperaturas cambiantes del cuerpo para mantener a quien la use fresco. Este diseño se basa en el mecanismo usado por las piñas de pino para esparcir sus semillas.

La llamada “tela inteligente”<sup>23</sup> se está desarrollando en el centro de Biomimética de la Universidad de Bath y fue diseñada por la estudiante de PhD Veronika Kapsali. Esta tela consiste de una capa de delgadas púas de lana, o algún otro material absorbente, que se abre cuando se humedece por el sudor de la persona que la usa. Cuando la capa se seca, las púas se cierran automáticamente. Una

---

<sup>23</sup> Disponible en Internet en <http://www.gizmag.com/go/3515/>

segunda capa que se encuentra debajo tiene la función de proteger a quien usa la tela de la lluvia y la humedad del exterior.

Figura 21. Piña de Pino – Visión Detallada – Ropa Inteligente



Fuente: Tomadas de <http://www.abc.net.au/science/news/stories/s1213575.htm>

Las piñas de pino usan dos capas de fibras rígidas de forma similar, las cuales corren en direcciones diferentes para abrirse y soltar las semillas a la tierra. Este proceso es estimulado por la falta de agua que se produce al ser cortadas del árbol.

Con la tela se pretende revertir este proceso al cubrirla de diminutas solapas (cada una de tan solo 1/200 de milímetro) para cumplir con la función de expandir y contraer de acuerdo con la necesidad, es así como cuando la temperatura de la persona sube, las solapas se abren para que el aire del exterior pueda entrar y enfriarlas.

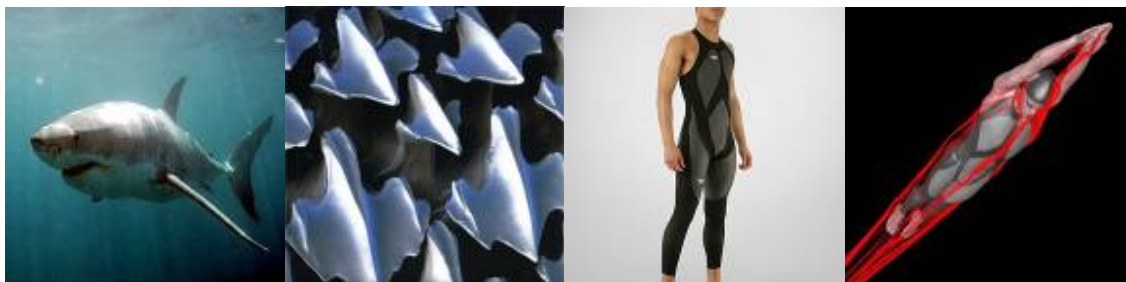
Julian Vincent, director del centro de Biomimética pronostica diversos usos para el material en desarrollo desde ropa militar hasta sombreros. Se cree que este material será el fin de los parches de sudor debajo de las axilas y de las incomodidades que sienten las personas que viven en ciudades de climas

cambiantes quienes parecen encontrar difícil vestirse y deben estar poniéndose y quitándose la chaqueta a medida que el día pasa y la temperatura varía.

**3.3.9 Speedo Fastskin LZR Racer.** El más novedoso traje de baño de la casa Speedo fue concebido a imagen y semejanza de la piel de los tiburones<sup>24</sup> la cual está formada por dentículos dérmicos y que favorece el alcance de altas velocidades.

Los dentículos, que pueden ser observados con un microscopio electrónico de barrido, son los causantes de que el agua circule a través de los micro-surcos, evitando turbulencias y, por lo tanto, reduciendo la fricción.

Figura 22. Tiburón – Visión Microscópica de su piel – Speedo LZR Racer



Fuente: Tomadas de <http://www.biomimicryinstitute.org> y [www.speedo.com](http://www.speedo.com)

Los LZR Racer están diseñados con sólo 3 piezas, en lugar de las 30 actuales, fabricadas con nylon del grosor de un papel, y que están unidas por ultrasonido en lugar de costuras. Con este método de fabricación Speedo logró reducir el “arrastre pasivo” que es como se conoce a la fricción del nadador con el agua, en un 10%. Suficiente para ayudar a batir nuevos récords en las competencias de natación, como lo demostró Michael Phelps, al obtener 8 medallas en los pasados Juegos Olímpicos de Beijing 2008.

---

<sup>24</sup> Disponible en Internet en <http://resseny.blogspot.com/2008/08/phelps-el-tiburn.html>

A futuro y en otra campo de aplicación, el estudio de cómo los dentículos dérmicos evitan que moluscos, algas u otros organismos se adhieran a la piel de los tiburones, servirá como una nueva fuente de inspiración para los científicos que trabajan en la reproducción de estas estructuras, creando capas sintéticas que pronto podrán aplicarse a los barcos para reducir lo que se conoce como *fouling*, es decir, la adhesión de organismos a los cascos de los barcos.

**3.3.10 Tren de Alta Velocidad.** El tren bala “Shinkansen” de la compañía West Japan Railway es el tren más rápido del mundo ya que alcanza una velocidad mayor a 320 kilómetros por hora. Una de las desventajas del tren era el alto nivel de ruido que producía al salir de los túneles, lo que generaba quejas de los residentes en un área de un kilómetro a la redonda.

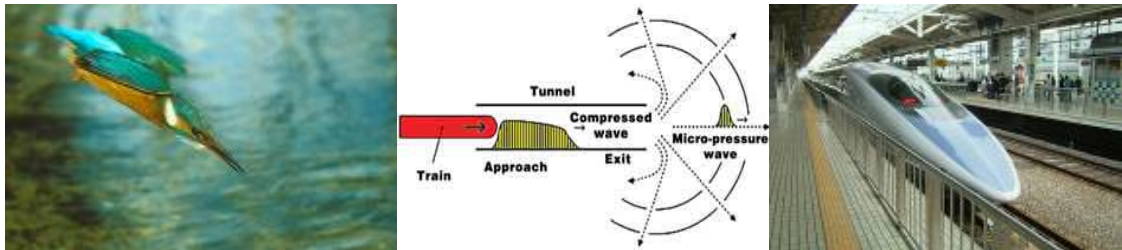
Los ingenieros del equipo de investigación técnica de la compañía en unión con la Universidad de Kyushu<sup>25</sup>, empezaron a buscar una solución para este problema y descubrieron que el nivel de ruido se generaba debido a que al momento del tren ingresar al túnel; la presión atmosférica se elevaba y estas ondas de micro presión crecían gradualmente al acercarse a la salida del mismo a una velocidad sónica y, por lo tanto, eran liberadas en forma de un ruido similar a una explosión.

Inicialmente se consideró ampliar la abertura de los túneles para liberar la presión de esa forma pero esta solución implicaba grandes sumas de dinero que la compañía no quería gastar y el tener que cerrar las líneas de tren para adelantar los trabajos.

---

<sup>25</sup> Harun Yahia. (2006). Biomimetics: Technology Imitates Nature. Turkey. P. 120

Figura 23. Pájaro “Martín Pescador” – Diagrama de un Túnel – Tren bala “Shinkansen”



Fuente: Tomadas de <http://www.harunyahya.com> y [www.swiss-japan.org](http://www.swiss-japan.org)

Fue así como el grupo de investigadores empezó a buscar en la naturaleza ejemplos de criaturas que debieran superar dificultades semejantes y se enfocaron en el pájaro conocido como “Martín Pescador” (Kingfisher), el cual para cazar su presa debe sumergirse en el agua a gran velocidad y experimentar súbitos cambios en la resistencia tal como el tren debe soportarlos al entrar a un túnel.

La empresa optó por modelar la parte delantera del tren con la misma forma del pico del ave lo cual generó una considerable disminución en el nivel de ruido, el consumo de un 15% menos de electricidad y logró que el tren pueda viajar un 10% más rápido.

**3.3.11 Diseño Eficiente de Edificios.** La operación de edificios representa alrededor de un 40% de toda la energía usada por la humanidad. Es por esto que aprender como diseñarlos de una forma más sostenible es de vital importancia.

Para muchos resulta paradójico que uno de los principales enemigos de muchas construcciones haya servido para diseñar un edificio ecológicamente sensible y más acorde a los parámetros de ahorro de energía que se necesitan en la actualidad.

El arquitecto Mick Pearce en colaboración con los ingenieros del grupo Arup Asociados diseñaron el edificio Eastgate Center<sup>26</sup> en Harare, Zimbawe. Lo que hace diferente a este edificio es el uso de los principios de biomímica en su concepción ya que no tiene sistemas tradicionales de aire acondicionado o calefacción pero aún así mantiene su temperatura regulada a lo largo del año y, lo que es más importante, usando un 90% menos de consumo de energía que otros edificios de su mismo tamaño y representando un ahorro de 3.5 millones de dólares en gastos de aire acondicionado.

Figura 24. Termiteros – Edificio Eastgate Center



Fuente: Tomadas de <http://www.inhabitat.com>

La inspiración viene del estudio de los termiteros (nidos de termitas) que poseen increíbles sistemas de auto-enfriamiento, lo cual les permite mantener la temperatura del nido sin variaciones mayores a un grado centígrado día y noche aún cuando la temperatura del exterior puede variar de 3° C a 42° C en el mismo día.

Las termitas logran mantener la temperatura constante abriendo y cerrando una serie de rejillas de calefacción y ventilación a lo largo del termitero durante todo el día, de esta forma el aire es succionado al interior desde la parte más baja del termitero hacia espacios recubiertos de barro y luego enviado hacia arriba a través

---

<sup>26</sup> Disponible en Internet en <http://www.inhabitat.com/2007/12/10/building-modelled-on-termites-eastgate-centre-in-zimbabwe>

de un canal hasta la abertura del mismo. Las termitas están constantemente abriendo nuevas rejillas y cerrando las viejas para poder regular la temperatura.

El Eastgate center, está hecho principalmente de concreto, y tiene un sistema de ventilación que opera de forma similar. El aire del exterior es succionado y es calentado o enfriado por el edificio dependiendo de cual de los dos esté más caliente (el aire o el concreto), para luego ser enviado por medio de ductos de ventilación a los diferentes pisos y oficinas antes de salir del edificio por las chimeneas situadas en la parte superior.

### **3.4 LUIGI COLANI**

De origen alemán, es uno de los diseñadores industriales más influyentes a nivel mundial, ya que considera que la anatomía, la tecnología y las formas tridimensionales deben ser la base de cualquier biodiseño.

Desde los años cincuenta ha venido desarrollando diversas ideas que cubren desde el diseño de productos para el hogar como cerámicas y muebles hasta conceptos futuristas alternativos para el diseño del transporte y la arquitectura<sup>27</sup>.

De acuerdo a la visión de Colani, el mundo no da la merecida importancia a las formas redondeadas cuando de diseñar se trata, se considera a sí mismo un crítico del afán del hombre por realizar creaciones angulosas<sup>28</sup> e invita a los diseñadores a sacar provecho de este tipo de formas tal como él lo ha hecho en varias de sus creaciones.

---

<sup>27</sup> Disponible en Internet en <http://www.designer.com/product/news-es10209.html>

<sup>28</sup> Disponible en Internet en <http://www.colani.ch/historie.html>

Figura 25. Luigi Colani y algunos de sus proyectos



Fuente: Tomadas de <http://www.colani.ch/projects.html>

En la figura anterior se puede observar al diseñador en su estudio y la foto de tres de sus creaciones: la silla Poli-COR del año 1968, que combina la silla plástica de la solo-pierna de Saarinen con la idea voladiza. Producido por COR-Sitzkomfort<sup>29</sup>, el camión (1997-2000) basado en un chasis DAF con montaje en un chasis de la compañía Mercedes Benz y por último el piano “Pegaso” diseñado para la compañía Schimmel en el año 1997.

Otras de sus creaciones incluyen el Colani Alfa en 1957, el cual fue su primer carro deportivo y se encuentra en exhibición en el Museo Martini Rosso, la cámara fotográfica Canon T-90 en 1986, el Mouse para la compañía de Computadores Sicos en 1992 y posteriormente el diseño de un computador para la compañía Vobis en 1994.<sup>30</sup>

Las anteriores son sólo algunas de las muchas contribuciones que el maestro Colani ha hecho al mundo del diseño y que a su vez han servido de inspiración para otros diseñadores que ahora no temen mirar la naturaleza y crear tomándola como inspiración.

---



<sup>29</sup> Imágenes Disponibles en Internet en <http://www.bangertinternational.de/colani/images/images.php>

<sup>30</sup> Disponible en Internet en <http://www.colani.de/werk.php?lang=en>

### 3.5 APLICACIONES BIÓNICAS EN DESARROLLO

Se están diseñando a nivel mundial otros productos partiendo de la observación de la naturaleza con el fin de maximizar el uso eficiente de los recursos. A continuación se presentan algunos ejemplos:

Tabla 2. Productos inspirados en Sistemas Naturales

Sistemas Naturales	Diseños que Inspiran	
<p><b>Tela de Araña.</b> Aunque frágiles en apariencia, estas redes pueden parar a insectos en pleno vuelo y son lo suficientemente robustas para retener la presa sin que los hilos se rompan. Los hilos que componen estas notables estructuras son biopolímeros</p>	<p>Un polímero basado en ella podría ser usado en medicina, como sutura no tóxica de alta resistencia, o en la reparación de los ligamentos, puesto que la fibra soporta frecuentes estiramientos, presión e impactos sin perder sus propiedades.</p>	
<p><b>Gecónidos.</b> Las lagartijas son capaces de adherirse a superficies soportando cientos de veces su propio peso. Esto se debe a los filamentos que tienen en sus patas y a las descargas eléctricas que se producen alrededor de los mismos.</p>	<p>Stickybot, robot diseñado para escalar superficies lisas como el vidrio. Los pies están recubiertos de miles de tallos que simulan los filamentos de los pies del animal. Aquí se aplican las fuerzas de Van der Waals y se logra una adhesión muy fuerte en las superficies.</p>	

Continuación Tabla 2

Sistemas Naturales	Diseños que Inspiran	
<p><b>Pavo Real.</b> El color de sus plumas no se debe a pigmentos sino a estructuras a nano escala que permiten la reflexión de sólo ciertas longitudes de onda, esta característica se llama “color estructural”</p>	<p>Inspira el diseño de pantallas más brillantes y eficientes en el ahorro de energía, las cuales no necesitan el uso de pigmentos que en la mayoría de los casos son tóxicos. Aplica para televisores, celulares y unidades GPS.</p>	
<p><b>Piel de Foca.</b> Estos animales tienen un gran nivel de adherencia en sus aletas para permitirles desplazarse en la nieve y sostenerse al hielo en el momento que abandonan el agua.</p>	<p>Se está usando una versión sintética de su piel para recubrir la superficie deslizante de los esquís, con el fin de elevar el grado de agarre cuando las personas se resbalan hacia atrás.</p>	
<p><b>Fotosíntesis.</b> Las plantas tienen la capacidad de usar la luz solar para obtener nutrientes y transformarla en energía de forma eficiente gracias a la acción de la clorofila.</p>	<p>Se están desarrollando células solares de dióxido de titanio, las cuales son mucho más eficientes que las tradicionales de silicón, y logran obtener energía en diversas condiciones de luz.</p>	

Fuente: Elaborado por el autor con base en información de diversas páginas de Internet.

### 3.6 EL DISEÑO Y SU RELACIÓN CON LOS JUGUETES

Es bien conocida por todos la importancia que tienen el juego y el juguete para el correcto desarrollo de las habilidades del niño ya que desde este campo se empieza a explorar y a conocer el mundo.

La creación de nuevos y mejores juguetes es una preocupación constante para los diseñadores y fabricantes, en especial si se toma en cuenta que las regulaciones internacionales establecen en la actualidad, unos parámetros mínimos de seguridad para permitir la comercialización de los mismos.

Si tomamos en cuenta la competencia que existe en este campo, se reafirma la necesidad de llegar al mercado con un producto novedoso, atractivo y que ofrezca algo más, tanto al niño que lo va a utilizar como a los padres que desean estimular la inteligencia y creatividad de sus hijos.

Jean Piaget, estableció una clasificación para el juego, que se hizo extensiva a su vez a los juguetes y establece que podemos hablar de “juguetes funcionales, de construcción, de roles, reglas y didácticos, que tienen determinados contenidos, funciones educativas y patrones de acción, estrechamente relacionados con el desarrollo de los juegos a que se refieren, y que se materializan en tipos determinados de objetos que se supone gozan de estas propiedades.”<sup>31</sup>

A la vez que el juguete tiene la función de estimular la creatividad e iniciativa de los niños tomando en cuenta sus destrezas motrices, es ahora importante considerar que no todos los niños piensan de igual manera y por ello los juguetes deben adaptarse a las diversas formas de aprender que son conocidas como “Inteligencias Múltiples”.

---

<sup>31</sup> Disponible en Internet en <http://www.waece.org>

La teoría de las “Inteligencias Múltiples” elaborada por Gardner establece que “en cada persona coexisten siete inteligencias, si bien no todas al mismo nivel de desarrollo; éstas son la lingüística, la física y cinestética, la lógica y matemática, la espacial, la musical, la interpersonal y la intrapersonal y que las mismas funcionan juntas de manera compleja.”<sup>32</sup>

En este proyecto se hace particularmente importante la inteligencia espacial ya que se juega con factores como el color, la línea, la forma, la figura y la interrelación del juguete con el espacio. La familia de juguetes a desarrollar cumple con las características necesarias para el desarrollo de este tipo de inteligencia que prefiere objetos tales como juegos de engranaje, construcción de figuras geométricas y animales y el uso de modelos de medios de transporte para el desarrollo de la creatividad en el niño.

Pablo Bianchi, Diseñador Industrial argentino, establece la importancia de crear “juguetes proyectados” y establece que los mismos se diferencian de las artesanías en que “aquel que concreta el producto lo va pensando a medida que lo va haciendo, se podría decir que lo piensa con las manos; un juguete proyectado, implica que el diseñador primero prevé el producto, piensa cómo va a ser, con qué material se va a fabricar, lo documenta en planos, maquetas, imágenes, etc. con el propósito que otro lo fabrique.”<sup>33</sup>

Para muchas personas los juguetes son productos difíciles de diseñar ya que el uso final del mismo puede ser diferente al pensado por su creador. A diferencia de otra clase de productos, el juguete cobra vida en el momento en que el niño decide incorporarlo en su rutina lúdica y es él quien decide la función que le va a dar; por ello, se hace relevante darle al usuario diversas opciones para que el juguete se pueda acomodar a sus deseos cambiantes.

---

<sup>32</sup> Ibid.

<sup>33</sup> Disponible en Internet [www.jugueteseguro.com](http://www.jugueteseguro.com)

Tal como lo describió Pablo Bianchi... “el diseño es una actividad progresista que aspira a que las cosas respondan mejor a las necesidades y a los deseos de los usuarios. Y ésta es la expectativa del diseñador de juguetes. Se trata de un concepto romántico. Piensan que si los niños utilizan los juguetes que ellos diseñaron, van a ser mejores, van a ser más hábiles, más inteligentes, etc. Este es el combustible de la gente que hace juguetes para seguir adelante.”<sup>34</sup>

---

<sup>34</sup> Ibid.

## 4. CICLO DE INDAGACIÓN BIÓNICA

La información recolectada para esta parte del proyecto, fue obtenida de libros especializados, búsquedas en Internet y consultas con especialistas del campo de la biología y entomología los cuales son mencionados en la bibliografía del proyecto.

### 4.1 CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA DE LA AVISPA

A continuación se presenta el compendio de la indagación ejecutada:

Tabla 3. Clasificación científica de la avispa

Reino: Animalia
Filo: Arthropoda
Sub Filo: Mandibulata
Super Clase: Hexápoda
Clase: Insecta
Orden: Hymenóptera
Sub Orden: Apócrita
Super Familia: Vespoidea
Familia: Vespidae
Sub Familia: Eumeninae
Género: Polybia

Fuente: Elaborado por el autor

- **Filo Artrópoda**

(Artrópodos) patas articuladas (del griego arthron: 'articular' y podos: 'pie'). Constituyen el filo más numeroso y diverso del reino animal (Animalia). Presentan apéndices articulados (patas, antenas), sus cuerpos están constituidos por segmentos repetitivos, fenómeno conocido como metamería, a su vez, la segmentación va acompañada de divisiones del cuerpo en dos o tres regiones en la mayoría de los casos.

- **Clase Insecta**

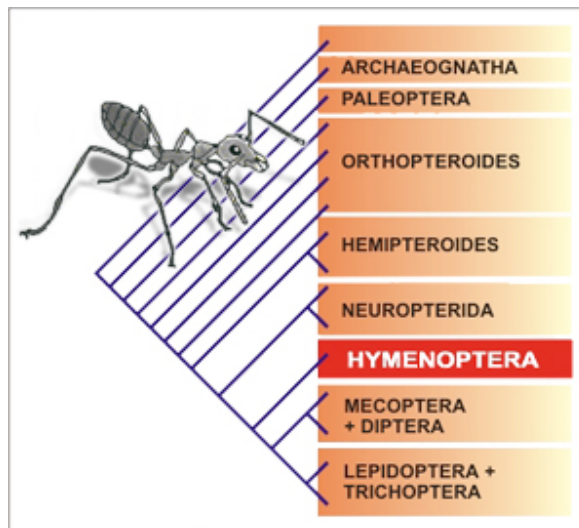
Los insectos comprenden el grupo de animales más diverso de la Tierra, con unas 950.000 especies descritas, más que todos los otros grupos de animales juntos, y con estimaciones de hasta 30 millones de especies no descritas, con lo que, potencialmente, representarían más del 90% de las formas de vida del planeta. Se estima que hay 200 millones de insectos por cada ser humano.

- **Orden Himenóptera**

Del griego hymen: 'piel delicada', membrana y pteron: 'ala', en referencia a lo membranoso y desnudo de las alas.

Se considera que las avispas, abejas y hormigas comprenden uno de los grupos más diversos del reino animal, el orden Himenóptera. Desde el punto de vista humano, este orden es probablemente el más benéfico de todas las clases de insectos. Dentro de los insectos, *Coleóptera*, *Himenóptera*, *Lepidóptera* y *Díptera* constituyen los cuatro órdenes hiperdiversos, comprendiendo en conjunto la gran mayoría de los seres vivos en el planeta. En el caso de los himenópteros, se han descrito alrededor de 120.000 especies y se estiman más de 200.000.

Figura 26. Filogenia de las Grandes Divisiones de Hexápoda



Fuente: Tomado de <http://www.sea-entomologia.org>

La importancia de los himenópteros radica no sólo en su número, sino en sus funciones y adaptaciones ecológicas. La vasta mayoría de especies son parasitoides, atacando gran cantidad de artrópodos, especialmente otros insectos.

La polinización de muchas plantas con flores depende de las abejas y otros himenópteros. Las hormigas son insectos dominantes en los ecosistemas tropicales, donde influyen la estructura y dinámica de suelos y árboles. Dentro del orden ha surgido la sociabilidad varias veces, además de varias formas de subsociabilidad y parasitismo.

Estudios en diferentes campos de la biología reconocen a los himenópteros como un grupo monofilético y de larga historia, con fósiles conocidos desde el Triásico. Presentan abdomen con un primer segmento unido estrechamente al tórax. Insectos como las avispas, las hormigas y las abejas pertenecen a este orden. El ovopositor (órgano femenino cuya función es la de poner huevos) está usualmente bien desarrollado. En algunos casos este se ha convertido en un aguijón, el cual funciona como un órgano de ataque y de defensa. Debido a que el órgano de

picar (aguijón) evolucionó de un órgano para poner huevos, solamente las hembras pueden picar. La metamorfosis es completa, y en la mayoría del orden, las larvas son similares a gusanos.

Figura 27. Diferentes estadios del desarrollo post - e-brionario de un himenóptero alado



Fuente: Tomado de [http:// www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

Los miembros alados de este orden tienen cuatro alas membranosas, siendo las alas posteriores más pequeñas que las alas anteriores. Las partes de la boca son mandibulares pero en muchas, especialmente en las abejas, los labios y maxilares forman una estructura similar a una lengua a través de la cual ingieren comida

líquida. Las antenas usualmente contienen diez o más segmentos y son generalmente moderadamente largos. Los tarsos (“pie” del insecto) son usualmente penta segmentados.

- **Sub Orden Apócrita**

Los apócrita (Apócrita) son un suborden de himenópteros, que incluye avispas, abejas y hormigas. Son las formas más avanzadas de los himenópteros, caracterizados por la presencia de una estrecha cintura que separa los dos primeros segmentos del abdomen, el primero de los cuales está fusionado al tórax. El ovipositor de la hembra es retráctil, y en algunas especies se ha convertido en un aguijón empleado como mecanismo de defensa. Las larvas carecen de patas, y se crían en un nido o como parásitos de un huésped.

Figura 28. Nido o avispero de avispa del sub orden Apócrita.



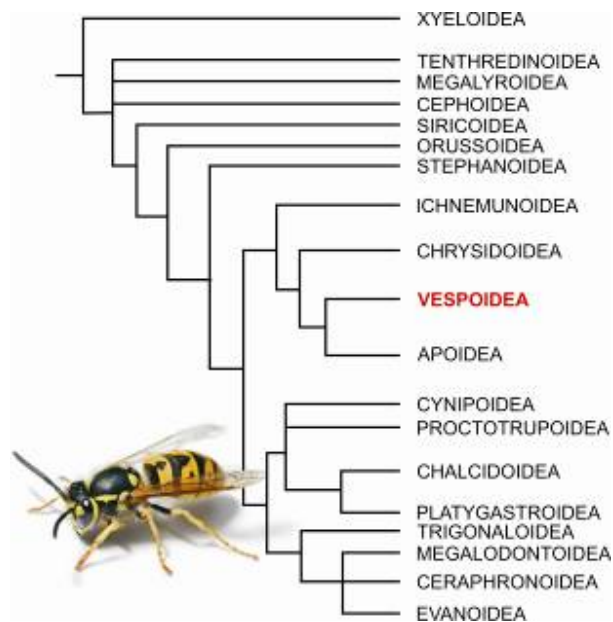
Fuente: Eduardo Guevara Melo

En la anterior figura pueden observarse las cápsulas cefálicas de algunas larvas ya crecidas, asomando cerca de los bordes de sus celdillas. Algunas de estas celdillas están cerradas, y dentro está ocurriendo la pupación.

- **Super Familia Vespoidea**

Es un grupo con gran riqueza en tipos de vida y biología, con formas eusociales, prueba de ello es la manera como varias hembras cuidan a la vez varias larvas, por lo que existe interrelación entre individuos de la misma generación y de distintas generaciones, algunos ejemplos clásicos son las sociedades de las hormigas, abejas, Vespidae y algunas Sphecidae Este es un grupo de gran riqueza en formas de vida y biología. Comprende 10 familias y alrededor de 7000 especies neotropicales.

Figura 29. Filogenia de las superfamilias de Hymenóptera



Fuente: Elaborado por el autor con base en <http://www.sea-entomologia.org>

- **Familia Vespidae**

Son una familia de himenópteros apórenatales diversos (alrededor de 5.000 especies), entre ellos están las llamadas avispas papelera, chaqueta amarilla, alfarera y el avispon. Se diferencian de otras avispas porque pliegan las alas en reposo, esto les permite introducir su cuerpo en espacios pequeños tales como

grietas en la corteza y aberturas debajo de las rocas. La mayoría son negros con manchas amarillas.

Figura 30. Véspula Germánica



Fuente: Richard Bartz

Algunas especies son sociales y los individuos en una colonia están divididos en tres castas: reinas, obreras y machos. Las reinas y las obreras tienen aguijones efectivos. En algunas especies hay muy poca diferencia entre las reinas y las obreras, pero usualmente la reina es más larga. Las colonias en climas templados existen debido a que sólo la reina sobrevive el invierno y en la primavera cada reina empieza una nueva colonia. La reina inicia la construcción del nido (o incluso puede usar un nido construido en años anteriores) y levanta su primera prole que consiste en obreras. Las obreras luego asumen las responsabilidades de la colonia y por lo tanto la reina se limita a poner los huevos. Las larvas son alimentadas principalmente de insectos y otros animales.

- **Sub Familia Eumeninae**

También reciben el nombre de avispas alfareras, anteriormente era considerada como una familia separada, Eumenidae. Su nombre común alude al hecho de que algunas especies construyen nidos de barro.

Es un grupo amplio al cual pertenecen cerca de 200 géneros. Casi todas las especies conocidas de Eumeninae son predadoras solitarias. La mayoría de son de color negro o marrón, y marcadas con patrones llamativos que ponen en contraste amarillo, blanco, anaranjado o rojo.

Figura 31. Vista superior de avispa Eumeninae



Fuente: Foto tomada por el autor

- **Género Polybia**

Descripción del nido: los nidos se construyen con material vegetal en poco tiempo (3-4 días). Son de forma esférica, o piriformes, con envoltura de capas de celulosa, que tienden a aumentar en la parte baja del nido y compuestos de varios pisos horizontales y paralelos; cada piso va fusionado y cubierto por la envoltura.

Generalmente los construyen en árboles frutales, especialmente en cítricos. Se nutren del néctar de las flores y de jugos de frutas.

Figura 32. Hábitat de las avispas



Fuente: Fotos tomadas por el autor

Las colonias se mantienen al menos durante 4 años, período en el cual crecen en tamaño, alcanzando en algunos casos hasta 35 cm de longitud y 25 cm de diámetro.

Por lo general, poseen una abertura lateral por la cual entran y salen del nido. Los nidos activos muestran una importante cantidad de avispas posadas sobre su cubierta exterior, en actitud vigilante, aumentando la cantidad de éstas cuando el nido es perturbado.

Figura 33. Nido de avispas

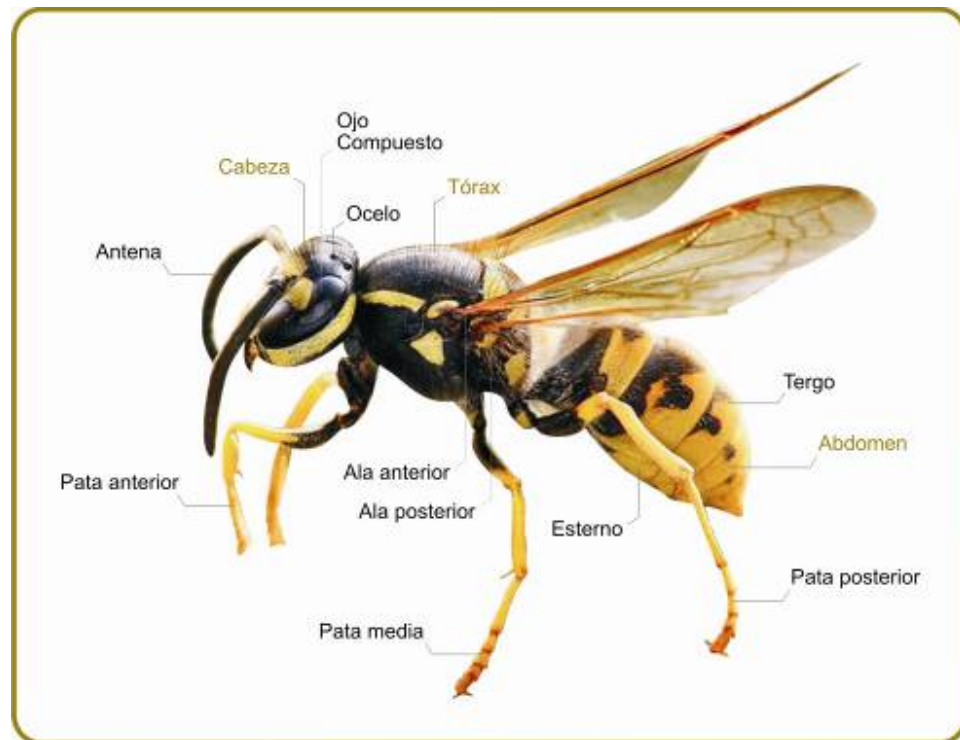


Fuente: Foto tomada por el autor

## 4.2 ANATOMÍA DE LA AVISPA

El cuerpo de todos los himenópteros adultos se compone principalmente de tres partes: cabeza, tórax y abdomen. Además poseen dos pares de alas membranosas unidas al tórax y apéndices tales como un par de antenas que salen de la frente y tres pares de patas de diferentes tamaños, siendo las delanteras las más cortas y las traseras las más largas. Su abdomen está conformado por 11 placas o escleritos: 6 dorsales (tergos) y 5 ventrales (esternos).

Figura 34. Anatomía de una avispa

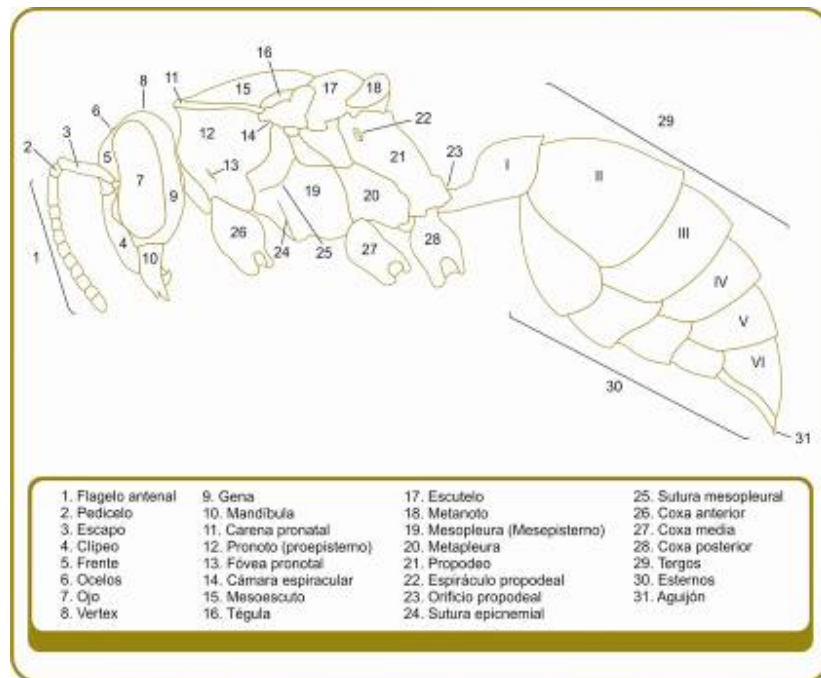


Fuente: Elaborada por el autor con base en [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

Las características torácicas usadas en la identificación de la himenóptera incluyen principalmente la forma del Pronoto (parte anterior superior del tórax) y de ciertos escleritos y surcos meso-torácicos. Su forma vista de lado sirve para separar grupos de superfamilias de Apócritos.

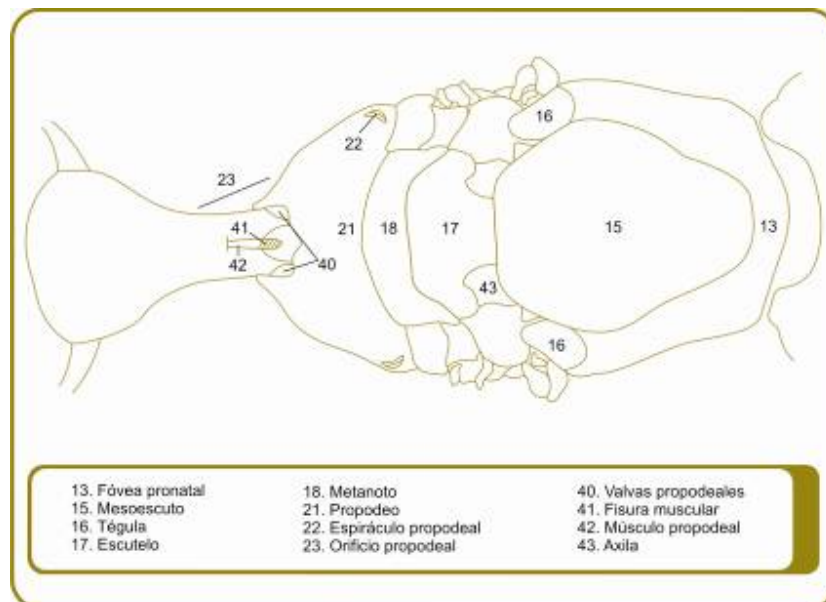
El pronoto en los Apócritos puede parecer de perfil más o menos triangular y extendiéndose bastante cerca de la Tégula (pequeño lóbulo o escama que recubre la base del ala anterior).

Figura 35. Vista lateral de un Hymenóptero adulto.



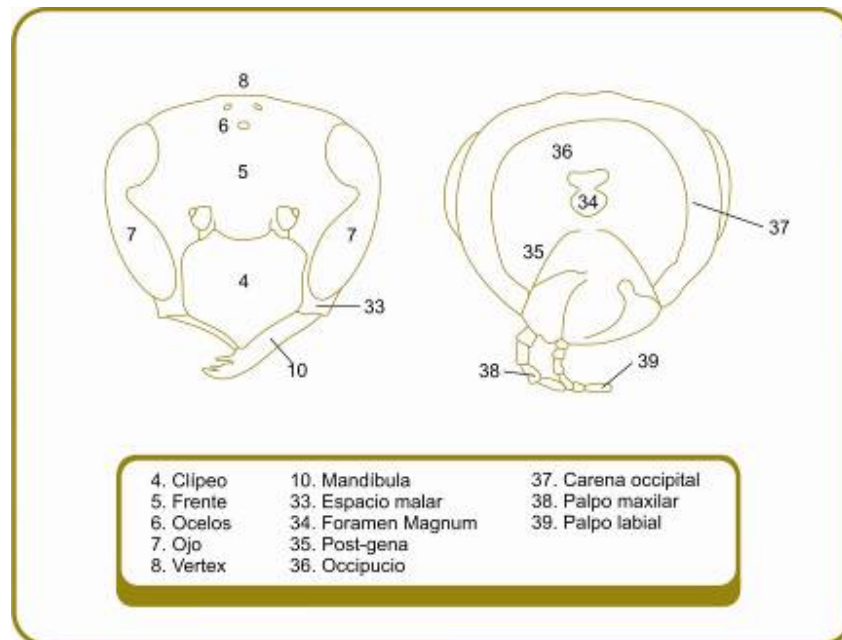
Fuente: Elaborado por el autor con base en el libro “Insectos de Colombia Volumen II”

Figura 36. Vista superior del tórax un Hymenóptero adulto.



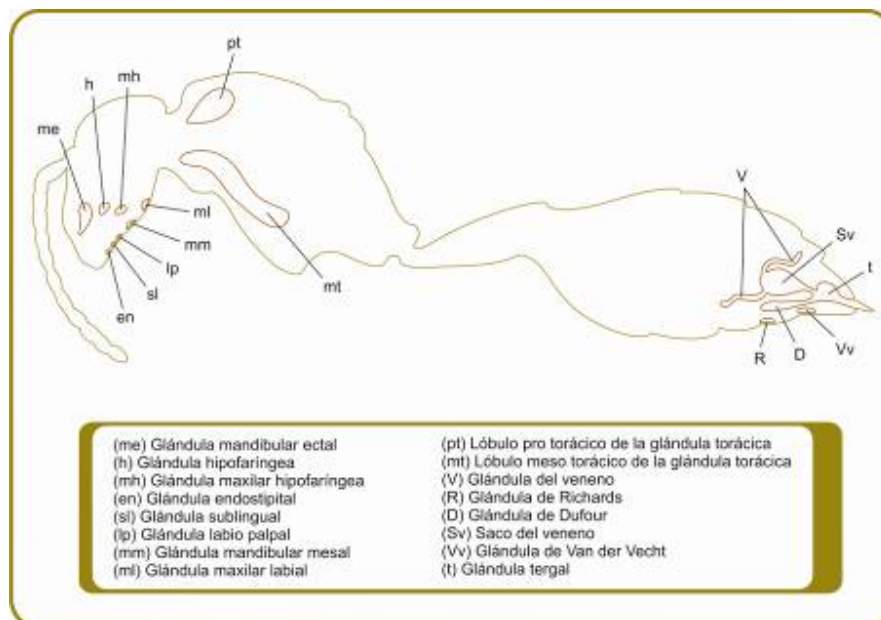
Fuente: Elaborado por el autor con base en el libro “Insectos de Colombia Volumen II”

Figura 37. Vista anterior y posterior de la cabeza de un Hymenóptero adulto



Fuente: Elaborado por el autor con base en el libro "Insectos de Colombia Volumen II"

Figura 38. Localización de las glándulas exocrinas de un Hymenóptero adulto.



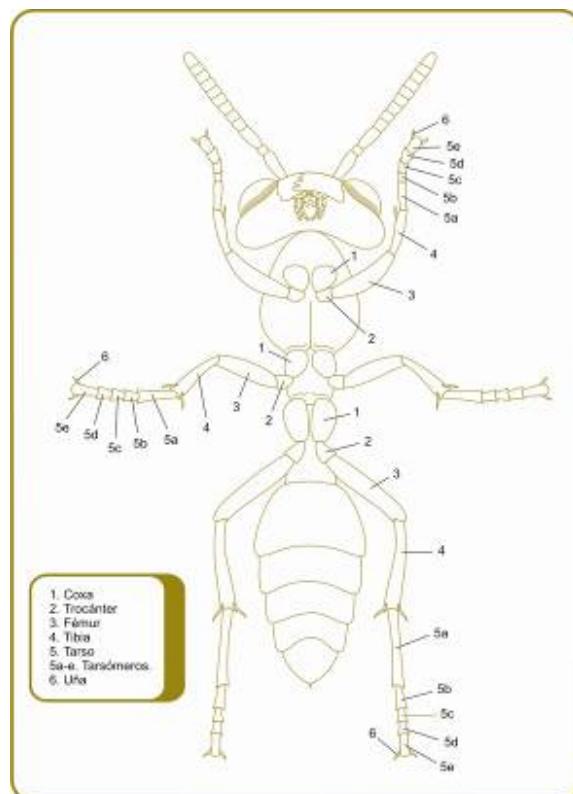
Fuente: Elaborado por el autor con base en el libro "Insectos de Colombia Volumen II"

Las características de las patas usadas para identificación son principalmente el número de segmentos del trocánter, el número y la forma de las espuelas en la parte terminal de la tibia y la forma de los segmentos del tarso.

En los Símfidos y algunas superfamilias de los Apócritos, hay dos segmentos en el trocánter. De hecho, el llamado segundo trocánter es en realidad una subdivisión básica del fémur y jamás tiene movimiento distal articulado.

En algunas superfamilias el tamaño y forma de la Coxa posterior puede ayudar a separar las familias.

Figura 39. Vista inferior de un Himenóptero adulto



Fuente: Elaborado por el autor con base en el libro "An Introduction to the Study of Insects"

Los miembros alados de este orden tienen cuatro alas membranosas. Las alas posteriores son más pequeñas que las alas delanteras y tienen una línea de diminutos garfios en su extremo anterior por medio de los cuales las alas posteriores se adhieren a un pliegue en el extremo posterior del ala delantera. Las alas contienen relativamente pocas venas y en algunas variedades diminutas no se presentan venas en lo absoluto.

### 4.3 TOMA DE MUESTRAS

Los ejemplares se obtuvieron en diferentes momentos a lo largo de la realización del proyecto con el fin de aprovechar al máximo los distintos instrumentos para la toma de fotos.

**4.3.1 Ejemplar 1.** Para la observación de los detalles del insecto, se acudió en primer lugar al laboratorio de Entomología de la escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander, cuyo microscopio estereoscópico cuenta con un lente ocular con zoom de 6.3x que ofrece campos de aumento de 0.63, 1, 1.6, 2, 5 y 4.

Figura 40. Cámara digital Sony DSC H7



Fuente: Tomado de <http://www.sony.com.co/corporate>

La toma de fotografías fue efectuada con la ayuda de una cámara digital SONY DSC H7 de 8.1 mega pixeles, con pantalla LCD de 2,5" objetivo zoom óptico de 15x, lente Carl Zeiss Vario Tessar CANON Powerlite 40 de 10 mega pixeles, con pantalla LCD giratoria de 2,5" d" ángulo variable, objetivo zoom óptico 4x, zoom de precisión digital 30x, diámetro de filtro 74 mm.

Figura 41. Fotos Ejemplar 1 en Diversas Posiciones



Fuente: Fotos tomadas por el autor

Las anteriores fotografías fueron hechas a ejemplares del insecto con 25 días de muerto, razón por la cual las alas están deterioradas y algunas partes del cuerpo están incompletas; la calidad de las fotos no es la adecuada para la clase de estudio que se está realizando y por lo tanto se procede a la obtención de más ejemplares y mejores equipos.

**4.3.2 Ejemplar 2.** Estas muestras fueron fotografiadas en la Facultad de Biología y Bacteriología de la UIS haciendo uso de los microscopios disponibles

en las mismas. Desafortunadamente no tienen una definición óptima debido a las limitaciones del zoom que restringían los acercamientos. Las fotografías se obtuvieron con la misma cámara digital mencionada anteriormente y usando un ejemplar con 15 días de muerto.

Figura 42. Fotos Ejemplar 2 en Diversas Posiciones



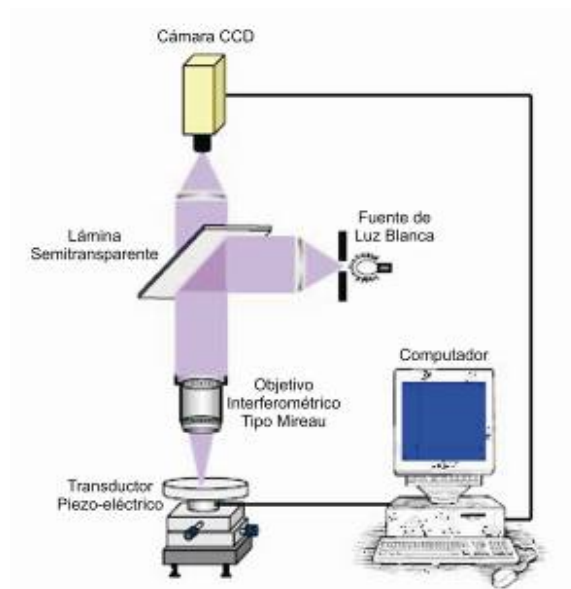
Fuente: Fotos tomadas por el autor

**4.3.3 Ejemplar 3.** La tercera toma se realizó usando un ejemplar con 5 días de muerto y un microscopio metalográfico con un objetivo interferométrico tipo Mirau de 10X y 50X, referencia Nikon Eclipse ME 600, perteneciente al Laboratorio del Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales UIS, con sede en Guatiguará.

La ventaja de este equipo radica en la posibilidad de obtener fotografías más detalladas debido a que se encuentra apoyado por una pieza eléctrica con micro y

nano desplazamiento y usando el software MALVIS, diseñado por el Doctor Arturo Plata, miembro de la Escuela de Física de la UIS.

Figura 43. Microscopio Nikon Eclipse ME 600



Fuente: Elaborado por el autor con base en <http://calima.univalle.edu.co>

Las imágenes que muestran las figuras 44 a la 50 fueron tomadas por el autor con la ayuda del ingeniero Juan José Barrios Arlante, perteneciente al grupo de Óptica y Tratamiento de Señales UIS.

Se capturaron con una cámara CCD que está adaptada a un microscopio y son analizadas. El microscopio puede dar cambios en la intensidad de la luz y permite la reconstrucción de la superficie iluminada; la limitante de este equipo radica en la obtención de imágenes únicamente en blanco y negro.

Figura 44. Escapo y pedicelo de antena

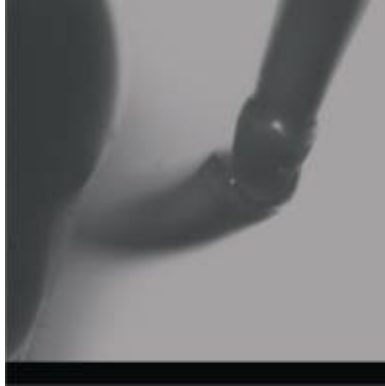


Figura 45. Unión de tórax y abdomen



Figura 46. Tergos de abdomen

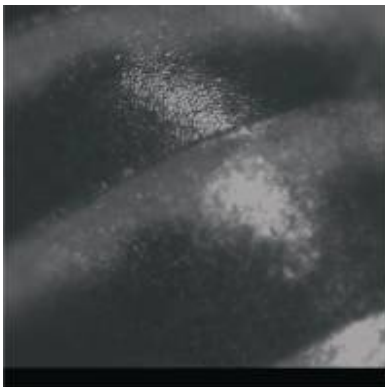


Figura 47. Coxa, trocánter y fémur de patas posteriores

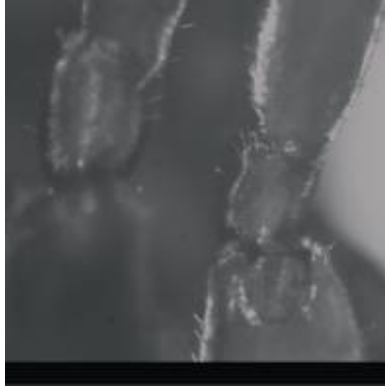


Figura 48. Ojo de la avispa

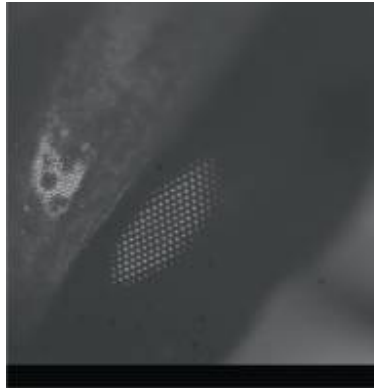


Figura 49. Acercamiento del ojo de la avispa

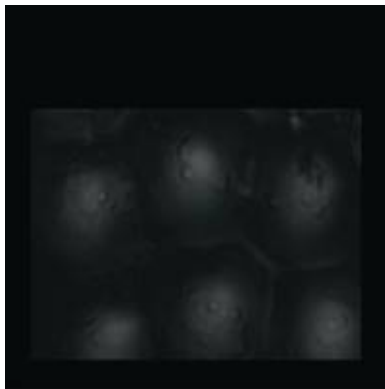
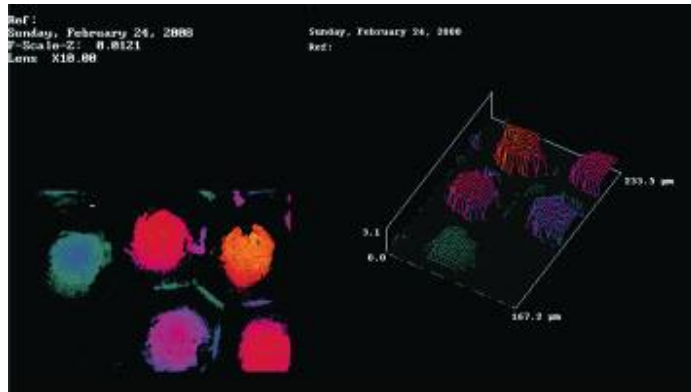


Figura 50. Reconstrucción de la superficie del ojo por medio de intensidades de luz



Fuente: Figura 44-50 Fotos tomadas por el autor

**4.3.4 Ejemplar 4.** Estas tomas fueron realizadas con el video microscopio digital 3D HIROX KH7700 del Centro de Biomateriales de la UIS. Este equipo permite lograr acercamientos óptimos tanto para fotografía como para video y usando un ejemplar de 2 días de muerto.

Figura 51. Microscopio Hirox KH7700



Fuente: Tomado de [www.hirox-asia.com](http://www.hirox-asia.com)

Estas muestras fueron tomadas con la ayuda del ingeniero Carlos Andrés Oviedo Paúl, de la Facultad de Ingeniería Metalúrgica de la UIS, quien logró en esta

instancia un acercamiento máximo de 250X lo que facilitó realizar la medición exacta del insecto estudiado.

Figura 52. Cabeza – Frente, ojos y cíleo. Zoom 100x



Figura 53. Cabeza – frente, ojos y cíleo. Zoom 100x



Figura 54. Mandíbula – Palpo labial y maxilar. Zoom 150x



Figura 55. Mandíbula. Zoom 200x



Figura 56. Antena – Escapo y pedicelo. Zoom 100x



Figura 57. Cabeza – Antenas, ojo y ocelos. Zoom 100x



Figura 58. Cabeza – Vértex, ojos y ocelos. Zoom 100x



Figura 59. Cabeza – Ojo. Zoom 150x



Figura 60. Tórax – Fóvea pronatal y Tégula. Zoom 100x



Figura 61. Tórax – Metanoto y Propodeo. Zoom 100x



Figura 62. Tórax y abdomen. Zoom 100x



Figura 63. Abdomen – Tergo I. Zoom 100x



Figura 64. Abdomen – Tergos I, II y III. Zoom 100x



Figura 65. Abdomen – Tergos I y II. Zoom 100x



Figura 66. Abdomen – Vista inferior. Zoom 100x



Figura 67. Abdomen – Tergos y esternos. Zoom 100x



Figura 68. Patas – Coxa, trocánter y fémur. Zoom 100x



Figura 69. Metanoto, coxa y trocánter. Zoom 100x



Figura 70. Coxa y Trocánter. Zoom 100x



Figura 71. Trocánter y fémur. Zoom 100x



Figura 72. Fémur, tibia y tarso. Zoom 100x



Figura 73. Fémur y tibia. Zoom 100x



Figura 74. Tórax y alas de la avispa. Zoom 100x



Figura 75. Ala anterior y posterior derecha. Zoom 100x

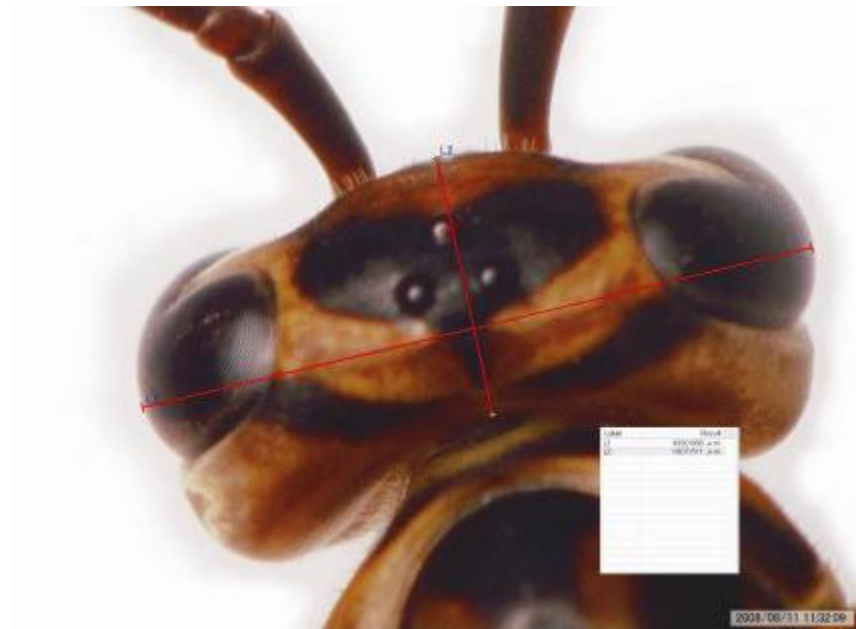


## 5. ANÁLISIS DE LA AVISPA Y SU HABITÁCULO

### 5.1 ANÁLISIS DE PROPORCIONES

Gracias al video microscopio digital 3D HIROX KH7700 del Centro de Biomateriales de la UIS se lograron obtener las medidas exactas de este diminuto insecto las cuales fueron convertidas de micras a milímetros.

Figura 76. Medidas de la cabeza de la avispa a la altura del vértex. Zoom 100x



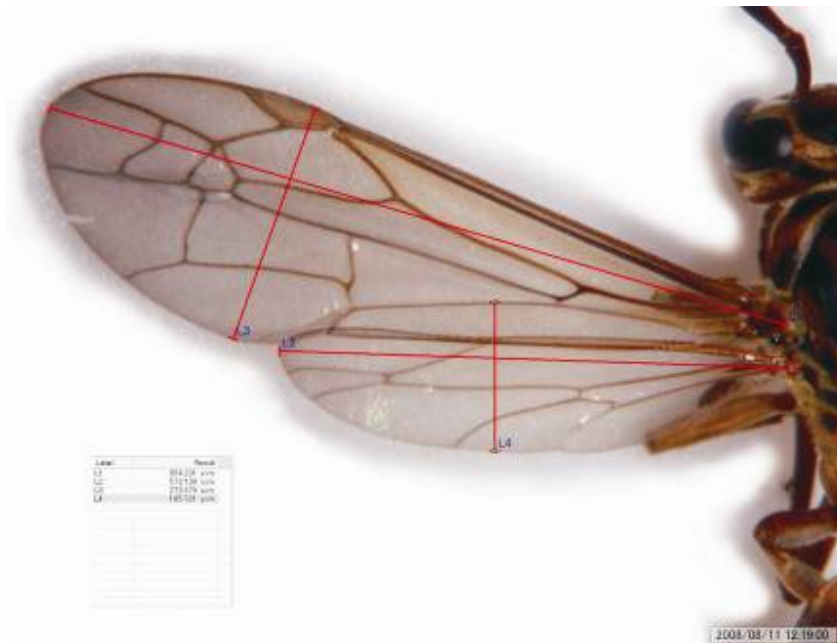
Fuente: Foto tomada por el autor

Figura 77. Medidas de la carena prorenatalla fóvea prorenatal Zoom 100x



Fuente: Foto tomada por el autor

Figura 78. Medidas del ala anterior y posterior izquierdas. Zoom 100x



Fuente: Foto tomada por el autor

Figura 79. Medidas del tarso, tarsómeros y uña de la pata anterior derecha. Zoom 100x



Fuente: Foto tomada por el autor

Figura 80. Medidas de los tergos del abdomen. Zoom 100x

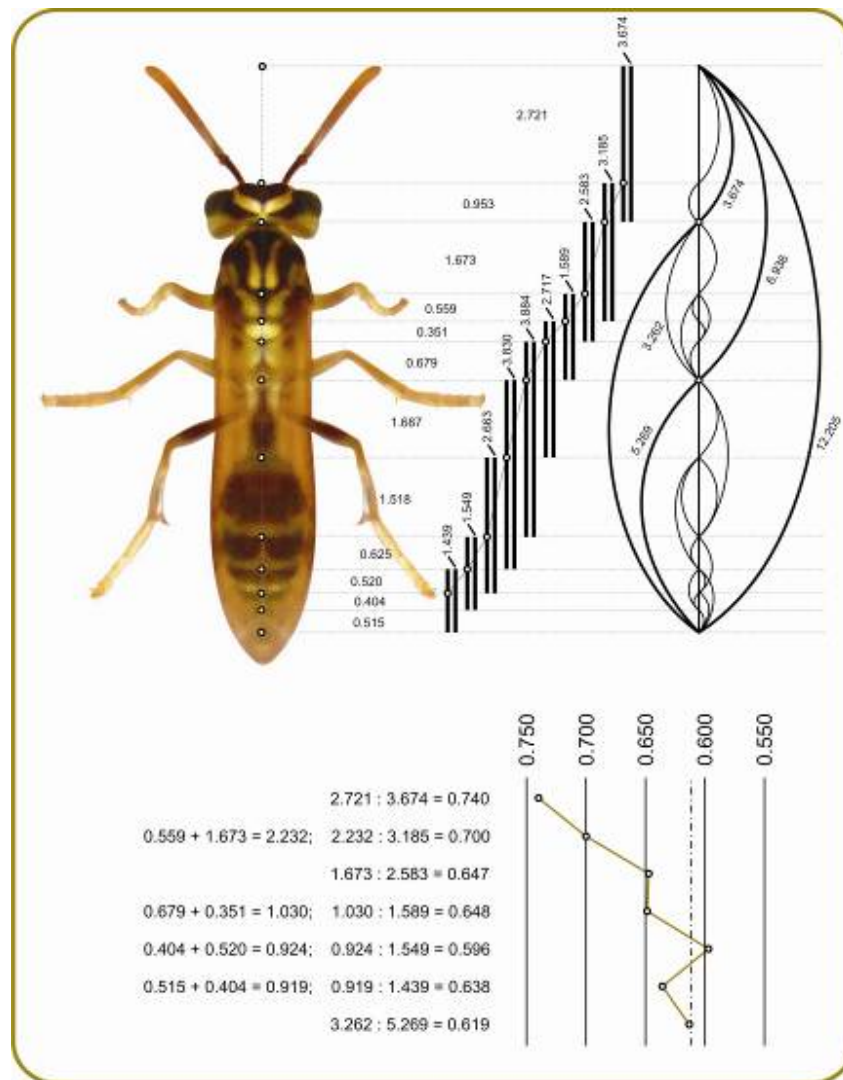


Fuente: Foto tomada por el autor



donde la comparación entre diversas secciones tiende al valor de 0.618 y establece la existencia de relaciones recíprocas de crecimiento.

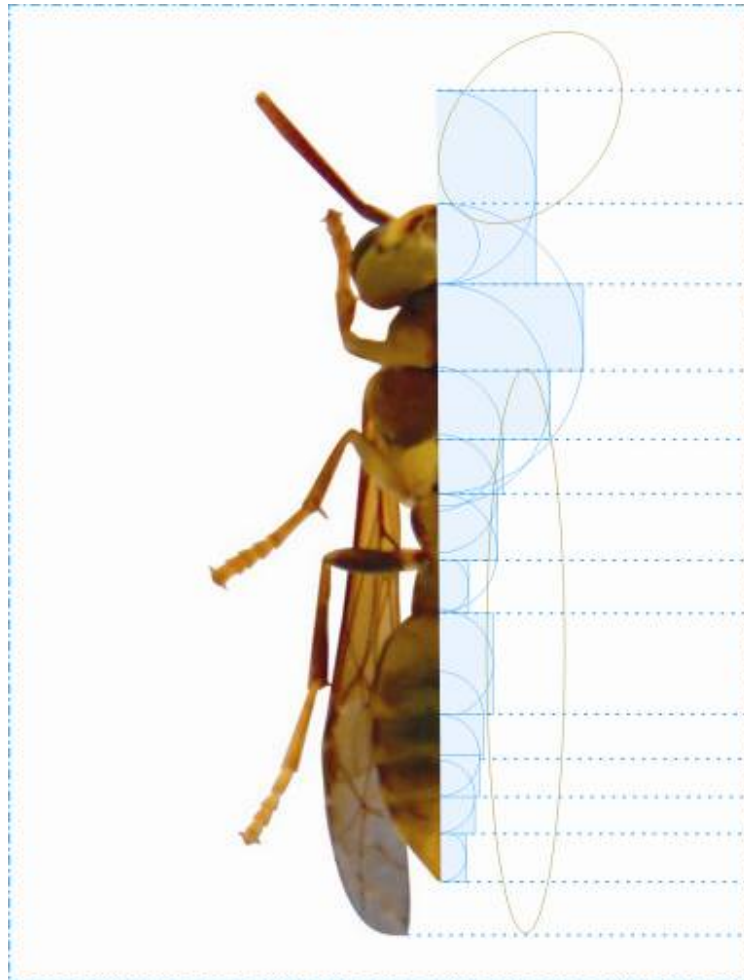
Figura 83. Proporciones Generales Vista de Arriba



Fuente: Elaborado por el autor

Utilizando las medidas recolectadas en la figura anterior se procede a realizar el análisis proporcional del cuerpo de la avispa que se observa en la figura 84; en la cual, se recurrió al uso de circunferencias y elipses para mostrar las diferentes distancias a lo largo del cuerpo del insecto.

Figura 84. Análisis Proporcional del Cuerpo de la Avispa



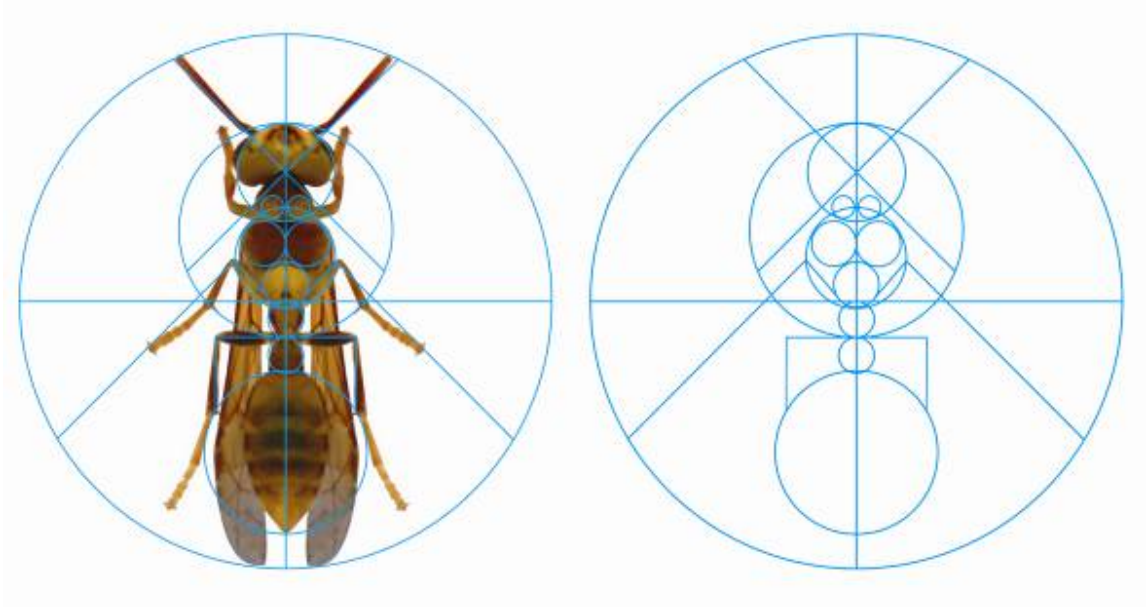
Fuente: Elaborado por el autor

## 5.2 ANÁLISIS ASPECTOS CONFORMATIVOS

**5.2.1 Simetría.** Como ya se estableció en el marco teórico, la naturaleza muestra un patrón de simetría que se repite a través de sus diversas creaciones.

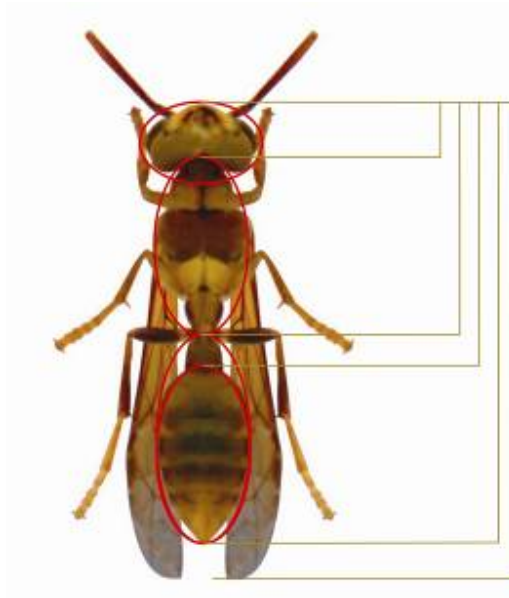
En la figura 85 podemos observar que al dividir la avispa por la mitad en dirección sagital, la configuración de su cuerpo es idéntica tanto para el lado izquierdo como para el derecho.

Figura 85. Patrones de Distribución Simetría Axial



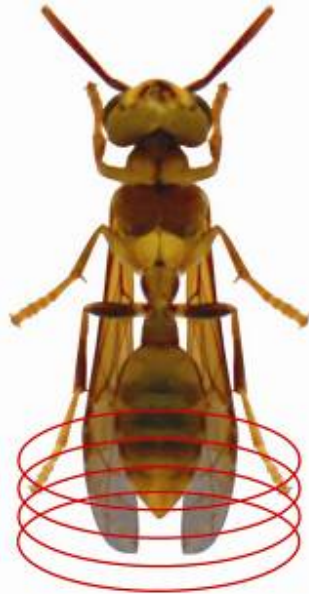
Fuente: Elaborado por el autor

Figura 86. Análisis Proporcional



Fuente: Elaborado por el autor

Figura 87. Radiación Concéntrica – Repetición Estructural

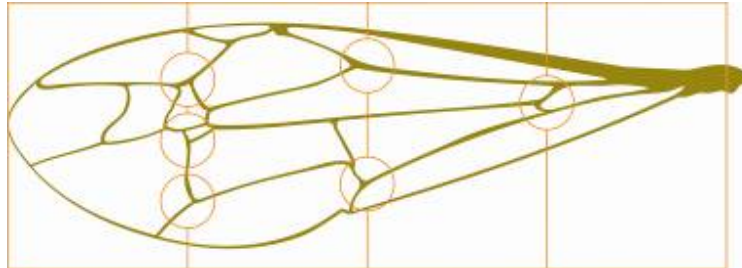


Fuente: Elaborado por el autor

En las figuras 88 y 89 se observa la venación y patrones de proporción en el ala anterior y posterior respectivamente. Se encontraron bifurcaciones a distancias equidistantes en las dos alas las cuales obedecen a un patrón generado con el fin de dar una mayor resistencia a las mismas.

El ala anterior, por ser más grande presenta más puntos de bifurcación que aumentan al alejarse de su base, para facilitar el proceso de plegado del ala, característica innecesaria en el ala posterior.

Figura 88. Venación y Patrones de Proporción en el Ala Anterior



Fuente: Elaborado por el autor

Figura 89. Venación y Patrones de Proporción en el Ala Posterior

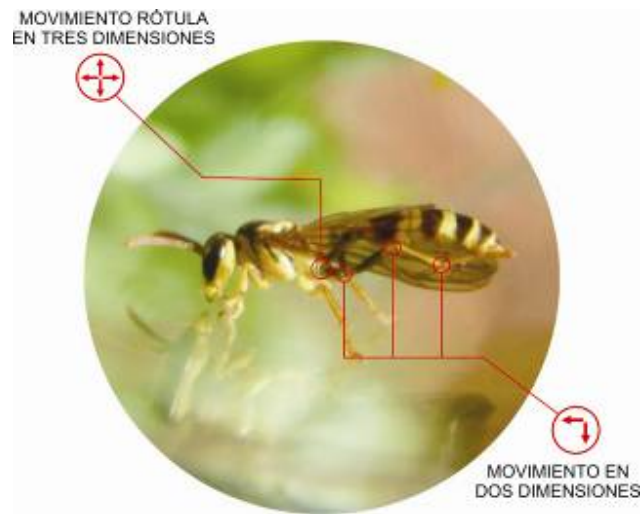


Fuente: Elaborado por el autor

**5.2.2 Articulaciones.** La avispa tiene tres pares de patas ubicadas en el tórax las cuales presentan diferentes grados de movilidad gracias a los dos tipos de articulaciones presentes en las mismas.

Gracias a estos puntos articulados, la avispa puede realizar movimientos en dos y tres dimensiones logrando de esta forma un mayor grado de libertad lo cual puede apreciarse en la figura 90.

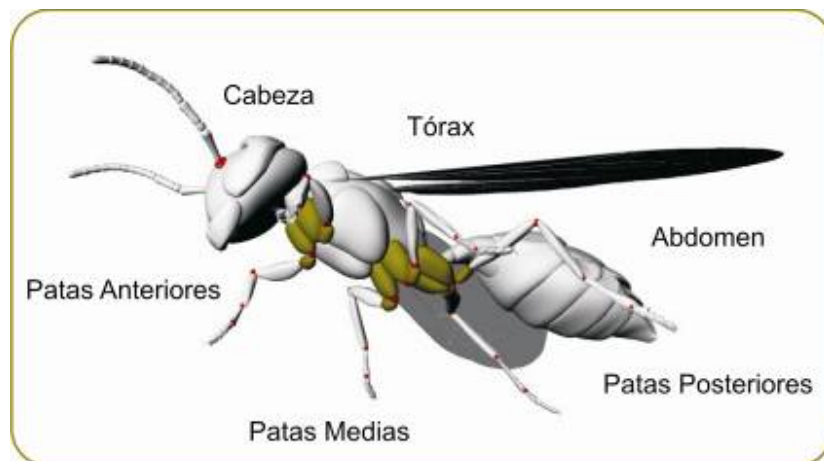
Figura 90. Articulaciones de la Avispa en Vista Lateral



Fuente: Foto tomada por el autor

En la figura 91 se puede observar la estructuración esquemática de la avispa en perspectiva, la cual fue modelada por el autor en el software Rhinoceros 4, mostrando los diversos puntos articulados del insecto.

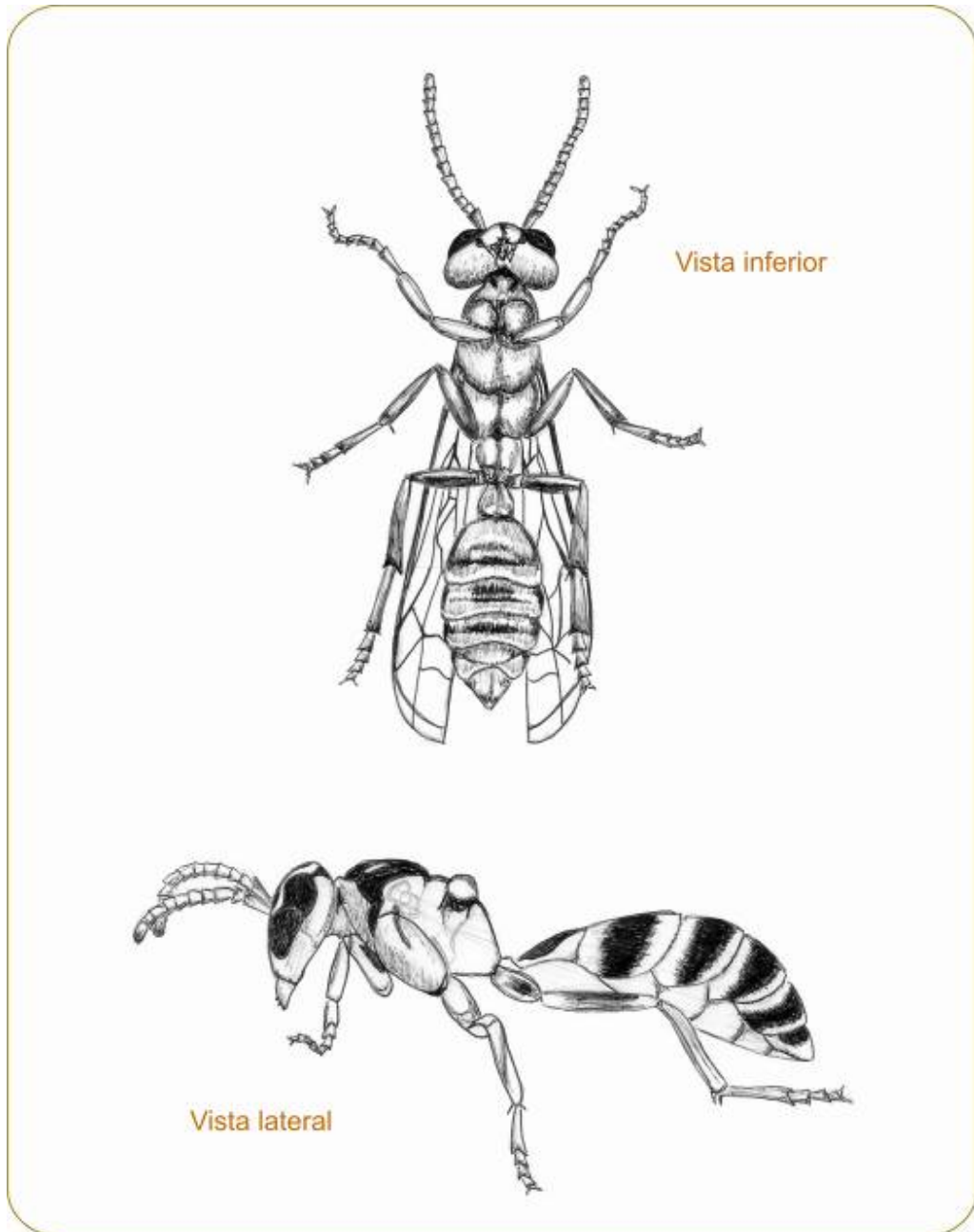
Figura 91. Estructuración Esquemática de la Avispa en Perspectiva



Fuente: Elaborada por el autor

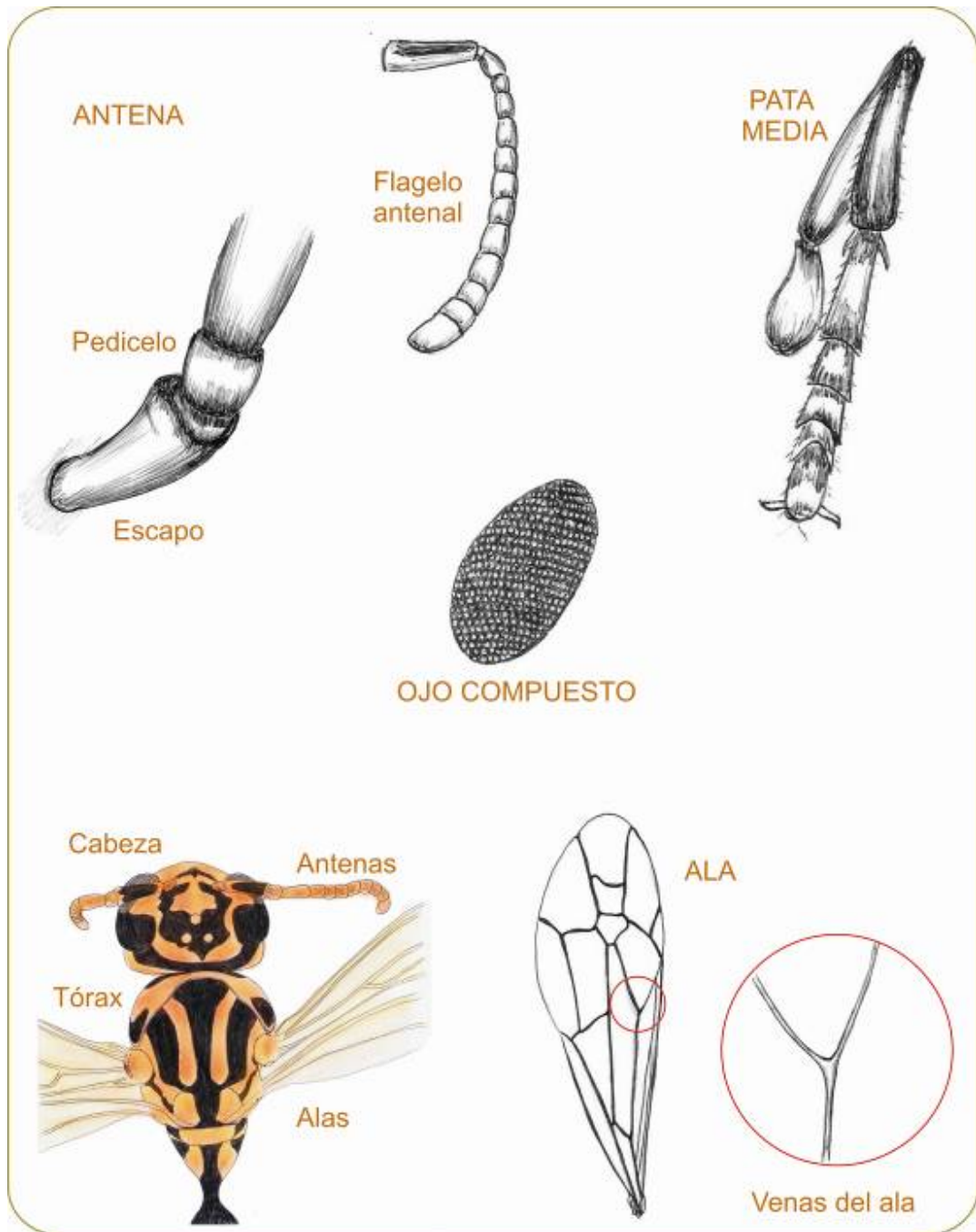
### 5.3 ESTUDIO BIDIMENSIONAL DE LA AVISPA

Figura 92. Bocetos Diversas Perspectivas del Cuerpo de la Avispa



Fuente: Elaborada por el autor

Figura 93. Bocetos Diversas Perspectivas de las Partes de la Avispa

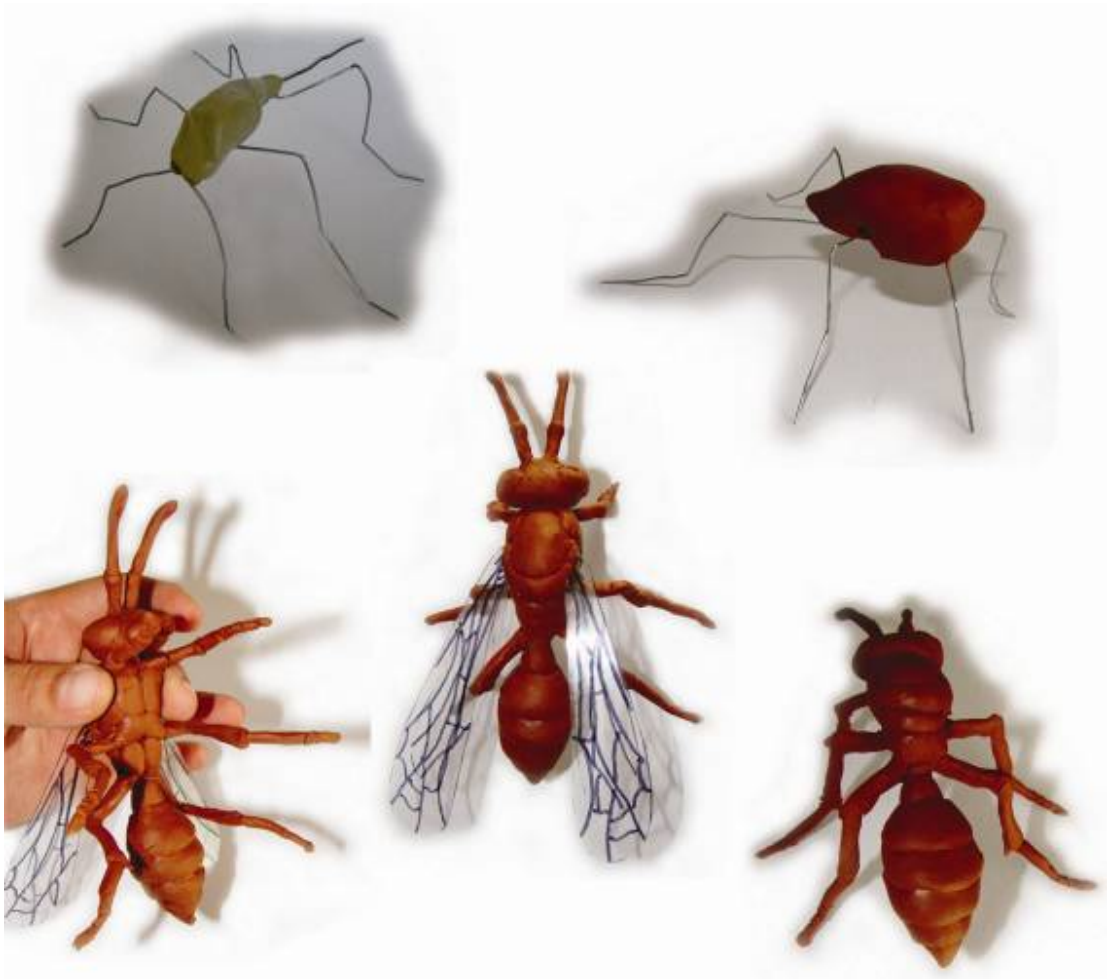


Fuente: Elaborada por el autor

## 5.4 ESTUDIO TRIDIMENSIONAL DE LA AVISPA

**5.4.1 Modelado Físico en Plastilina con Estructura de Alambre.** Este modelado nació de la necesidad de contar con un ejemplar físico a una escala más grande que la del insecto real para facilitar el modelado digital.

Figura 94. Modelos en Plastilina con Estructura de Alambre

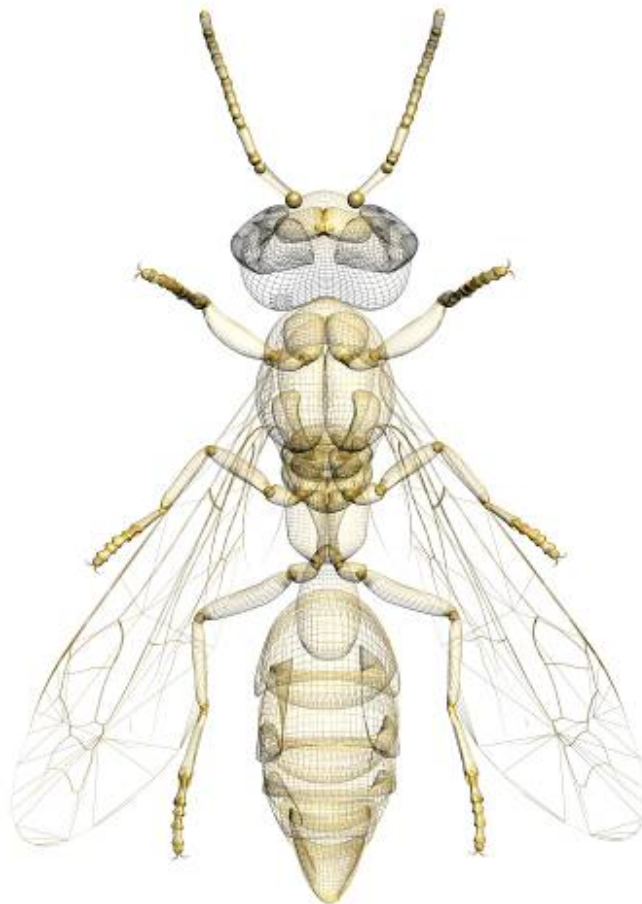


Fuente: Elaborado y Fotografiado por el autor

**5.4.2 Modelado Digital.** En esta etapa se puede observar el resultado del análisis de proporciones hecho hasta el momento gracias a la observación de ejemplares, compilación de medidas y análisis de las mismas.

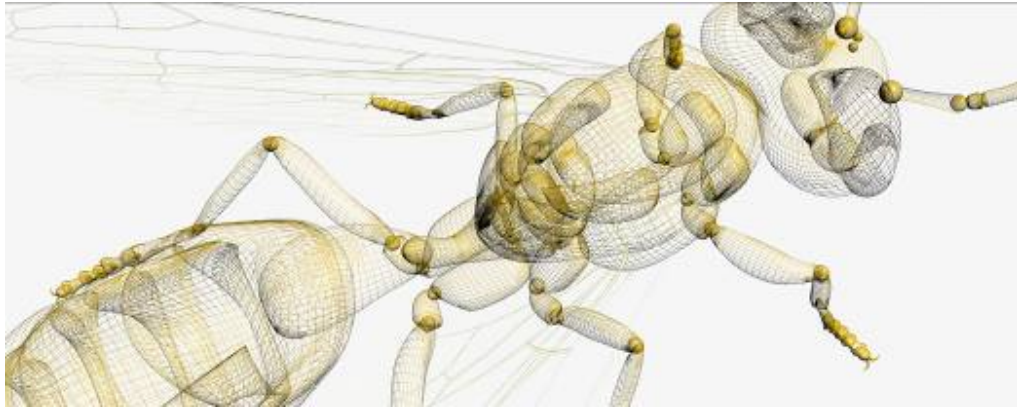
Para esta parte se utilizaron los software Rhinoceros 4, para modelamiento y 3Ds max para renderizado de imágenes. En cada figura se aprecian diferentes perspectivas explicadas en los títulos.

Figura 95. Vista Superior



Fuente: Elaborado por el autor

Figura 96. Perspectiva Superior con Acercamiento



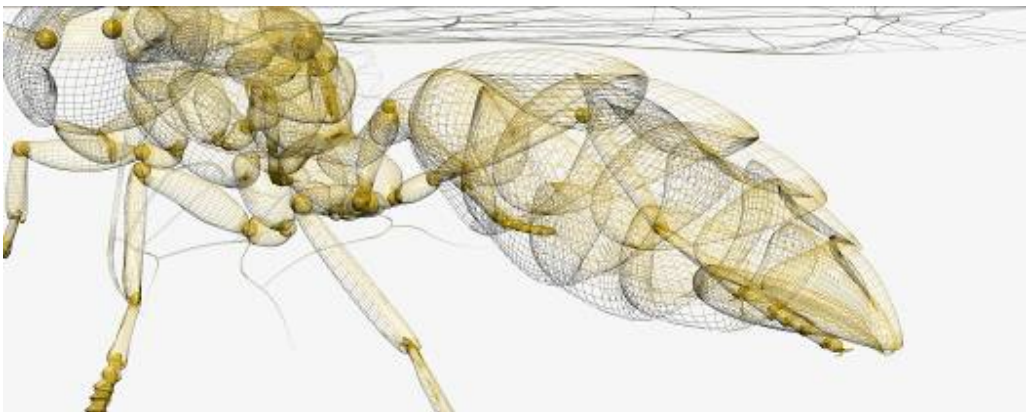
Fuente: Elaborado por el autor

Figura 97. Vista Lateral



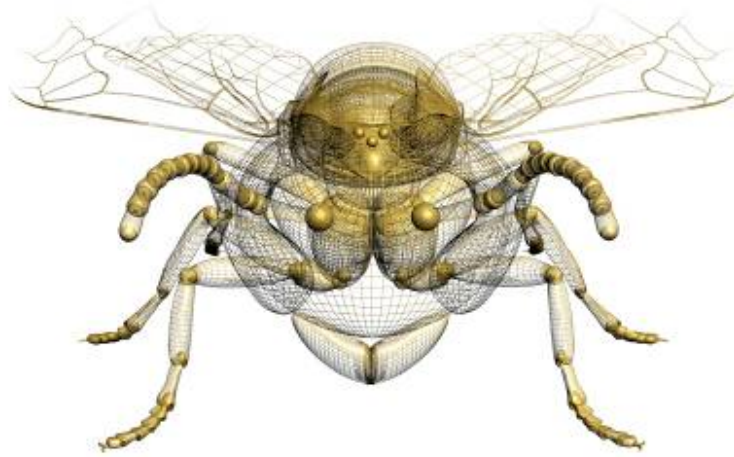
Fuente: Elaborado por el autor

Figura 98. Perspectiva Vista de Atrás



Fuente: Elaborado por el autor

Figura 99. Vista Frontal en Perspectiva



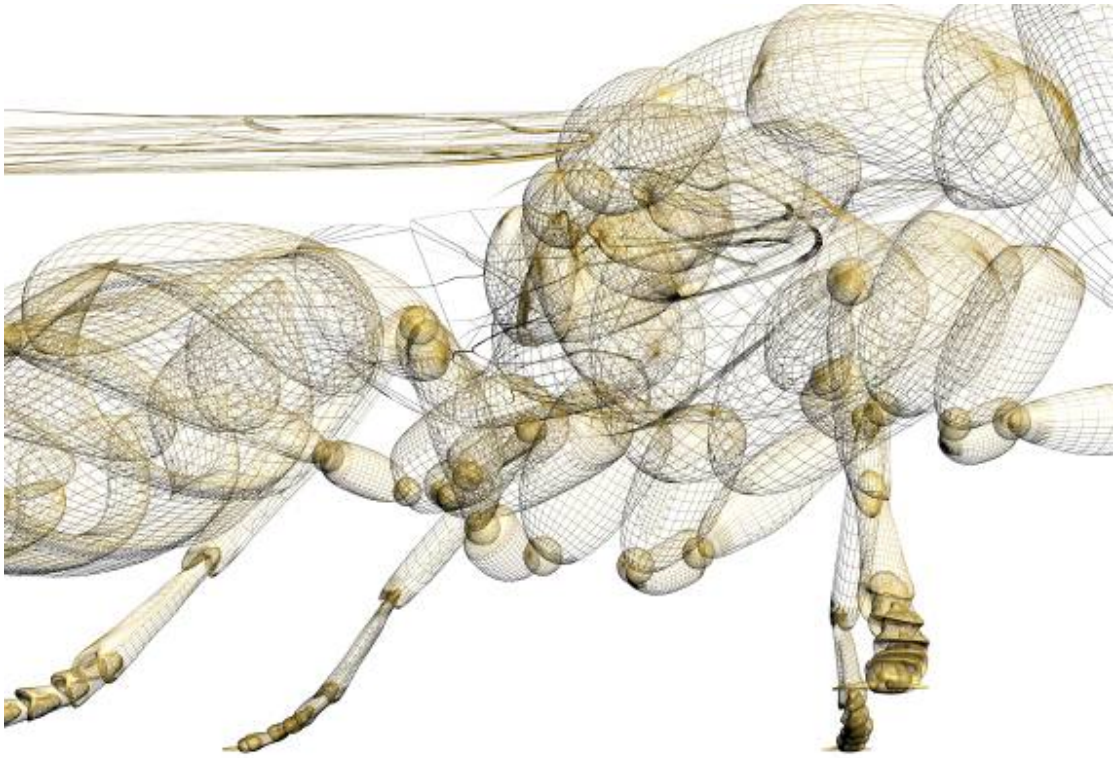
Fuente: Elaborado por el autor

Figura 100. Vista Superior en Perspectiva de Atrás



Fuente: Elaborado por el autor

Figura 101. Vista Lateral en Perspectiva con Acercamiento



Fuente: Elaborado por el autor

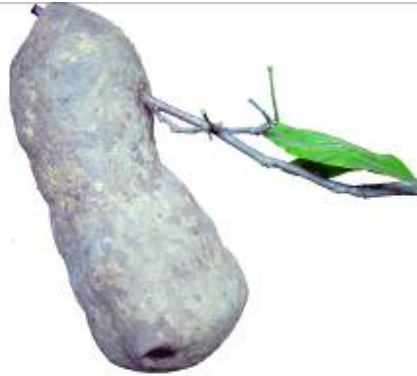
## 5.5 ANÁLISIS DEL HABITÁCULO DE LA AVISPA

Figura 102. Avispa volando hacia el nido



Fuente: Eduardo Guevara Melo

Figura 103. Nido de avispas



Fuente: Foto tomada por el autor

Figura 104. Visualización parcial del interior de un nido de avispas



Fuente: Foto tomada por el autor

Figura 105. Visualización total del interior de un nido con avispas y embriones



Fuente: Eduardo Guevara Melo

Figura 106. Orificio de entrada al nido de avispas



Fuente: Foto tomada por el autor

Figura 107. Sección de un nivel interno del nido



Fuente: Foto tomada por el autor

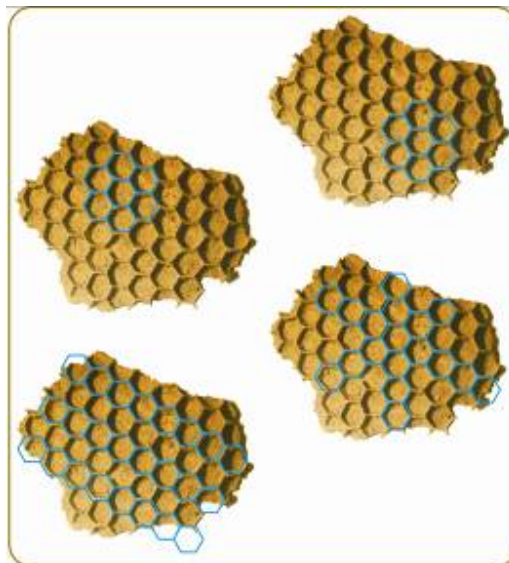
**5.5.1 Geometrización.** El estudio de diversos fragmentos del habitáculo de la avispa sirvió como punto de partida para la creación de módulos sencillos los cuales se muestran de las figuras 108 a la 110.

Figura 108. Retícula de Módulos 1



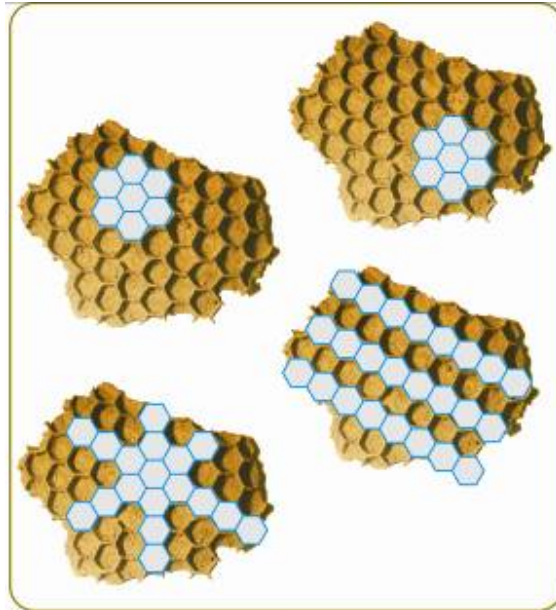
Fuente: Elaborado por el autor

Figura 109. Retícula de Módulos 2



Fuente: Elaborado por el autor

Figura 110. Retícula de Módulos 3



Fuente: Elaborado por el autor

**5.5.2 Bioconfiguración Modular.** A continuación se desarrollan una serie de composiciones modulares gráficas bidimensionales a las cuales se les aplicó conceptos de diseño como repetición, simetría, contraste, intersección, toque y superposición.

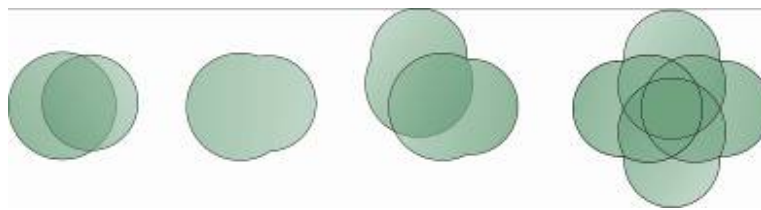
En la figura 111 se puede observar el habitáculo de la avispa sobre el cual se dibujaron dos circunferencias que sirvieron de base para realizar las composiciones bidimensionales de la figura 112 y 113.

Figura 111. Geometrización del Nido

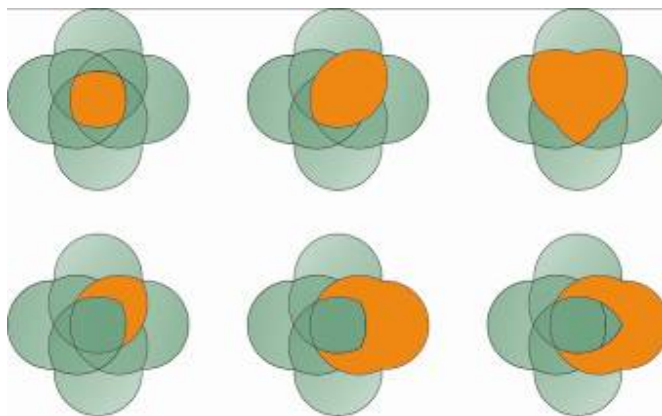


Fuente: Elaborado por el autor

Figura 112. Composición Bidimensional 1



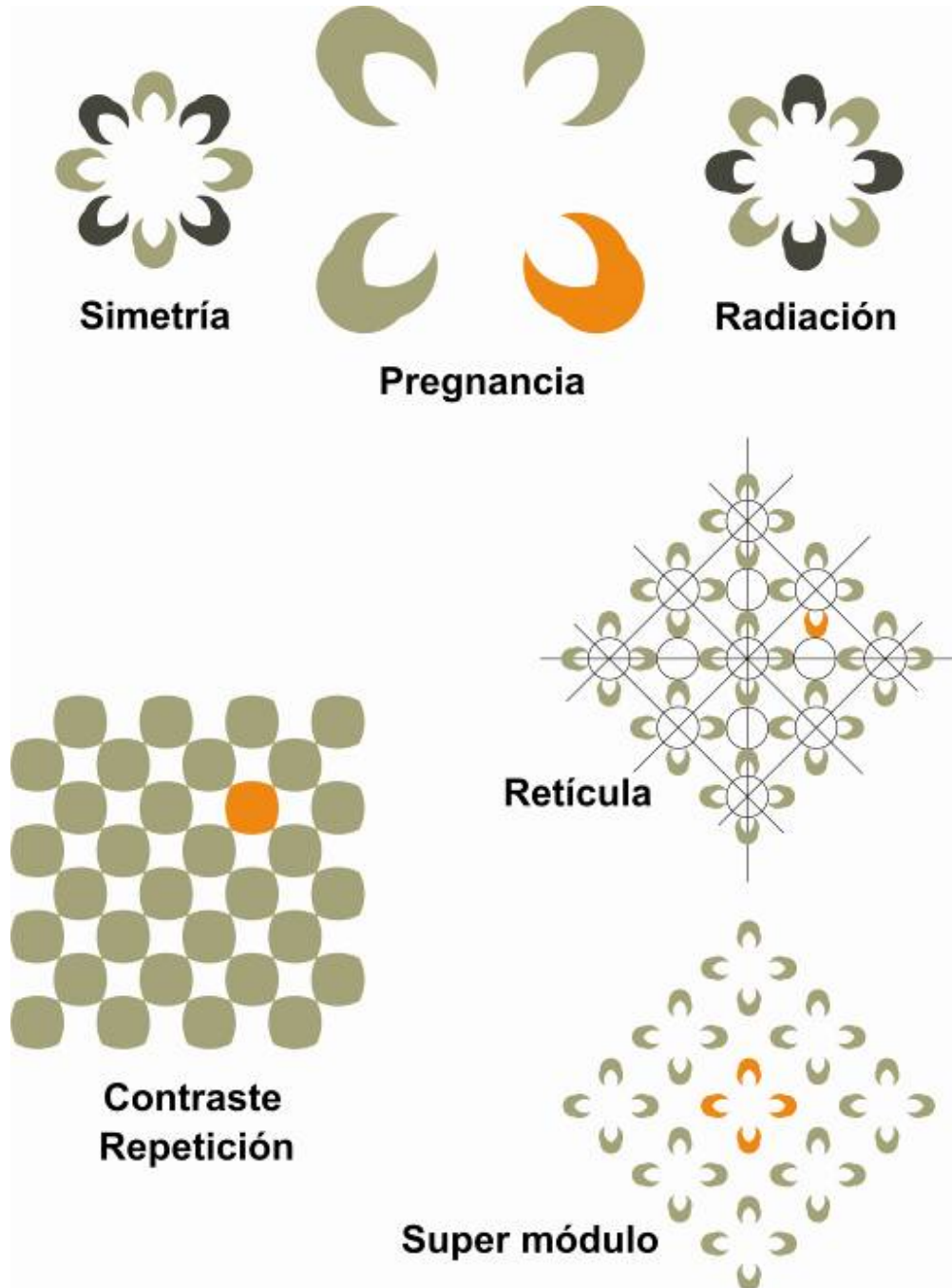
**Unión – Reflejo - S-perposición**



**Creación de Módulos**

Fuente: Elaborada por el autor

Figura 113. Composición Bidimensional 2



Fuente: Elaborada por el autor

## **6. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS**

A continuación se realizará el planteamiento de una serie de familias de juguetes dirigidos a un público infantil de diferentes edades, generadas a partir de la configuración de módulos abstraídos de las formas del insecto y su habitáculo.

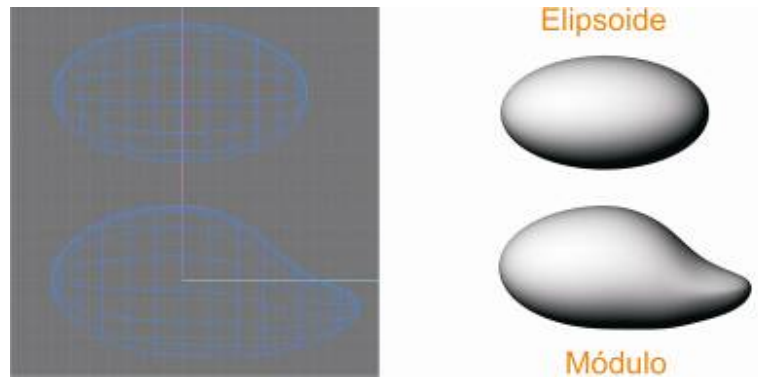
### **6.1 ALTERNATIVA 1**

Un elipsoide abstraído del análisis formal de la avispa fue el elemento básico para la configuración tridimensional de cada juguete, los cuales en conjunto presentan un alto grado de coherencia formal entre ellos. Entre sus características estéticas predominan la sencillez, esbeltez y armonía.

Esta familia de juguetes está constituida por una ballena, una estrella de mar y una tortuga, ya que éstos hacen parte de la decoración para el ambiente propicio de los bebés a la hora del baño. El tamaño de cada uno no excederá los 10 cm. de Largo y se plantean en un material similar al hule para que sean livianos y se puedan mojar.

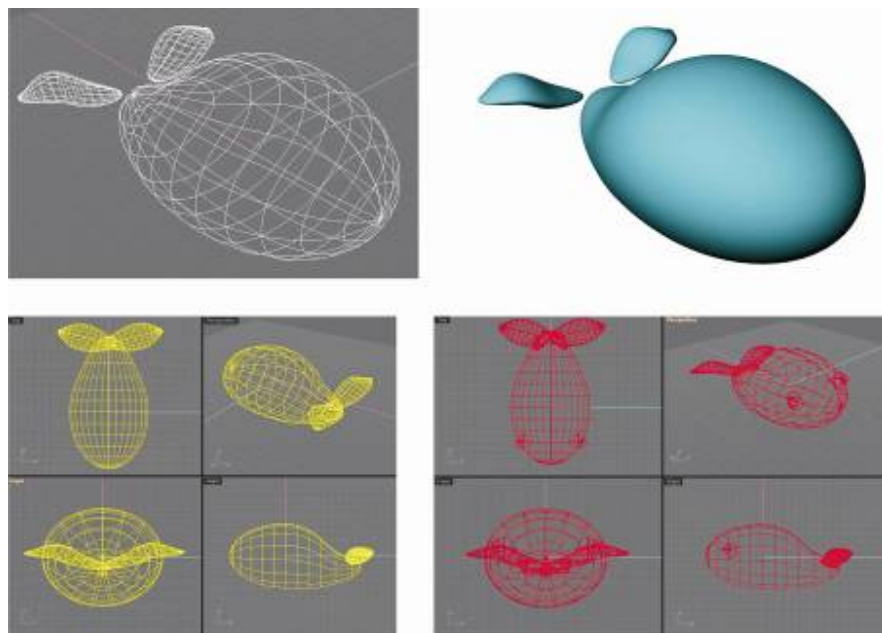
### 6.1.1 Ballena

Figura 114. Creación del Módulo para la Ballena



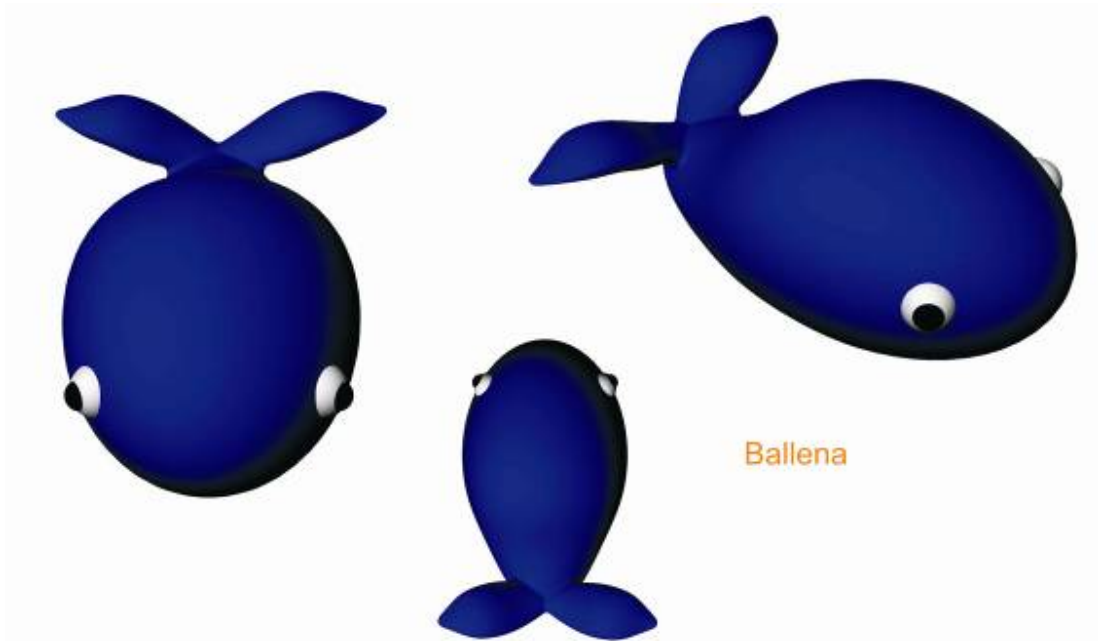
En la figura 114 se muestra la manera en la cual el elipsoide es sometido a una deformación en uno de sus extremos para dar origen a un nuevo módulo.

Figura 115. Construcción Tridimensional de la Ballena



En esta etapa el módulo se convierte en el cuerpo de la ballena y se complementa con otros dos que se deforman para dar lugar a las aletas. Por último se insertan los ojos, que a su vez son esferas.

Figura 116. Ballena en Diferentes Perspectivas



El procedimiento anterior es aplicable de igual manera para la elaboración de la estrella de mar y la tortuga.

### 6.1.2 Estrella de Mar

Figura 117. Creación del Módulo para la Estrella de Mar



Figura 118. Construcción Tridimensional de la Estrella de Mar

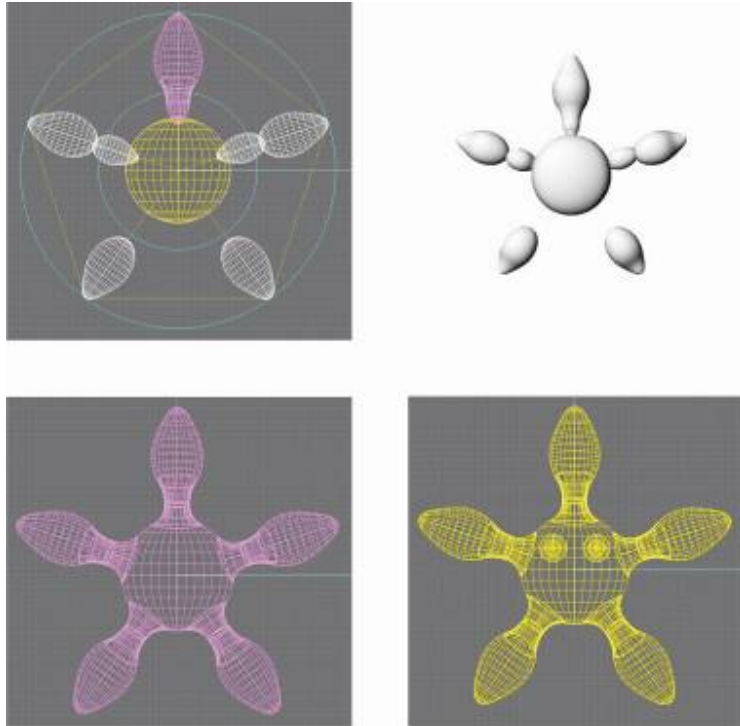
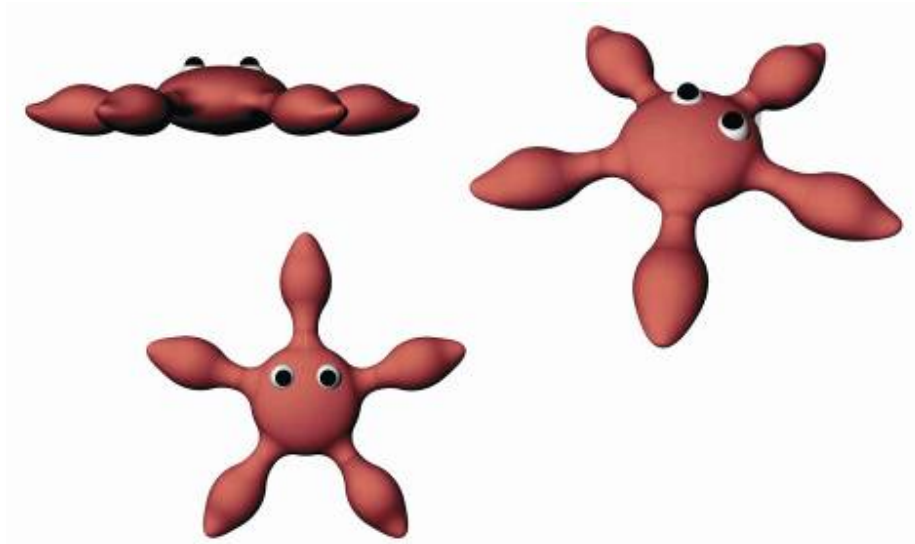


Figura 119. Estrella de Mar en Diferentes Perspectivas



### 6.1.3 Tortuga

Figura 120. Construcción Tridimensional de la Tortuga

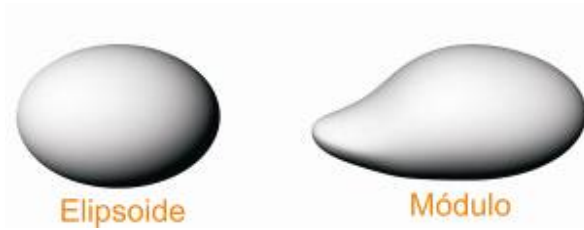


Figura 120. Construcción Tridimensional de la Tortuga

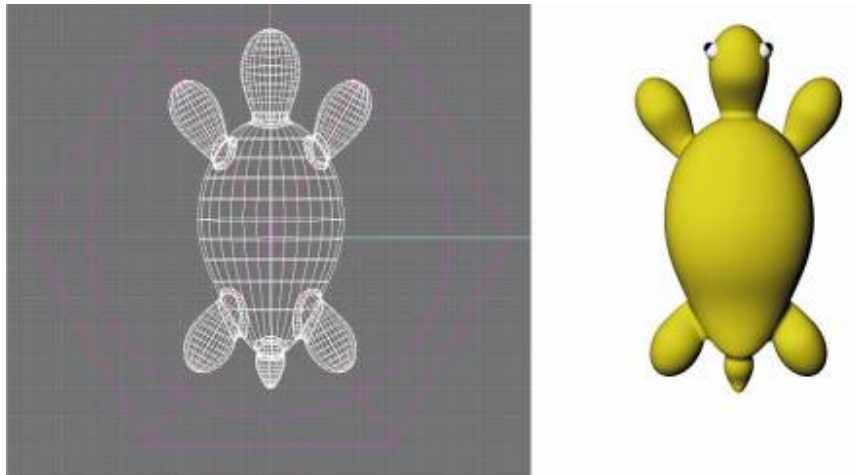
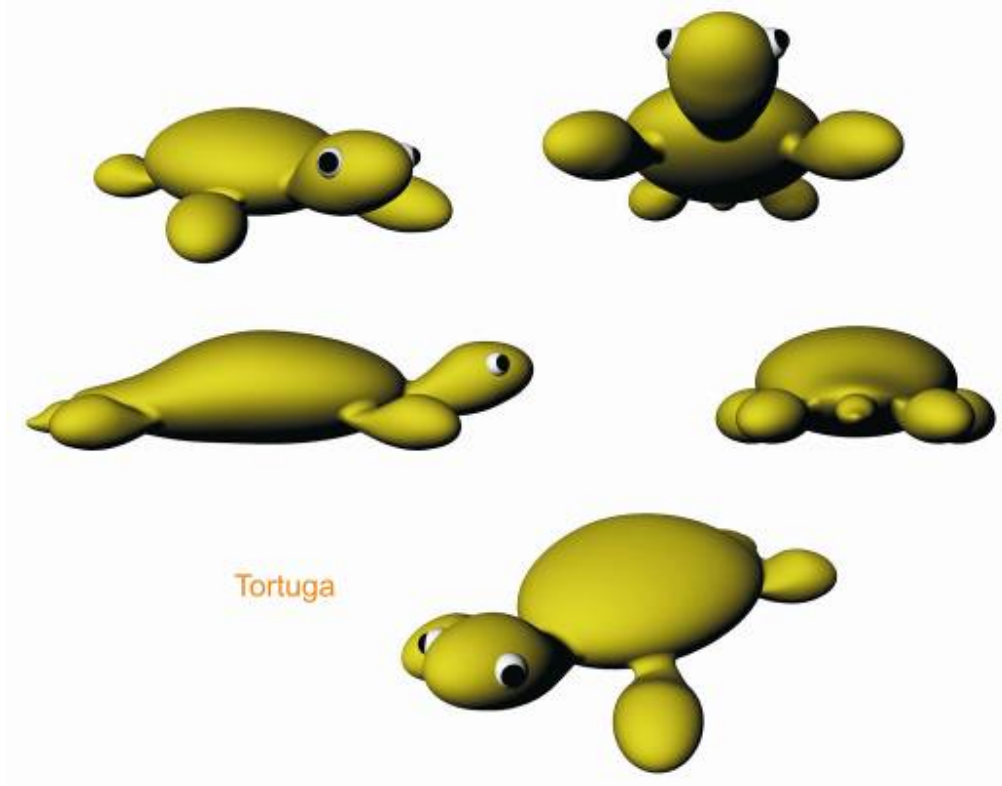


Figura 121. Tortuga en Diferentes Perspectivas



## 6.2 ALTERNATIVA 2

El desarrollo de esta propuesta tiene como aspecto fundamental el análisis formal y funcional de las patas de la avispa, específicamente de la coxa y el trocánter. Estas articulaciones presentan grados de libertad que le permiten al insecto flexionar sus extremidades.

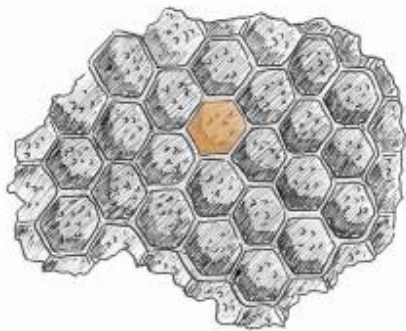
Figura 122. Ubicación de la Coxa y Trocánter en la Avispa



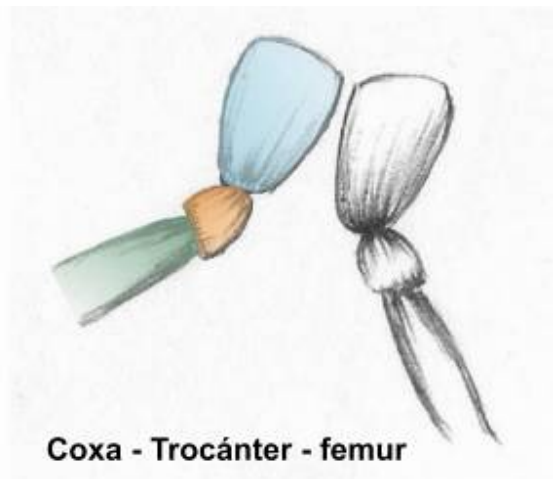
Fuente: Elaborada por el autor

También se quiere integrar en el desarrollo de esta alternativa la forma hexagonal presente tanto en el habitáculo como en los ojos de la avispa.

Figura 123. Análisis del Habitáculo y las Patas de la Avispa

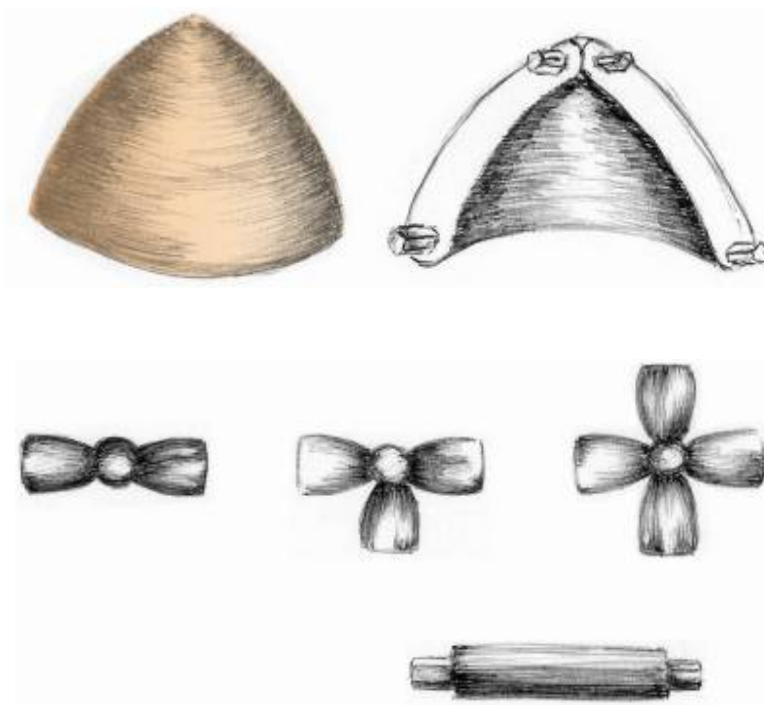


**Hexágonos del Habitáculo**



**Coxa - Trocánter - femur**

Figura 124. Planteamiento de Módulos



Con base en el análisis de las partes en mención se llegó a esta serie de piezas, las cuales cumplen parámetros de proporcionalidad, simetría, reflejo y repetición, presentes en el material de estudio.

La finalidad de esta alternativa es hacer que los conectores actúen como la coxa y el trocánter y los ejes como el fémur, a su vez los grados de libertad de movimiento serán representados en los conectores por ángulos de  $90^\circ$  y  $120^\circ$ . Los hexágonos del hábitaculo serán tomados en cuenta para los ensambles entre conectores y ejes, los cuales al presentar esta forma impiden que éstos giren en su eje axial.

El siguiente es el resultado del modelado virtual tridimensional, en donde se puede apreciar el aspecto externo e interno de cada pieza. Primero estarán los conectores, seguidos de los ejes y por último algunas superficies curvas.

Figura 125. Conector Doble de 180°

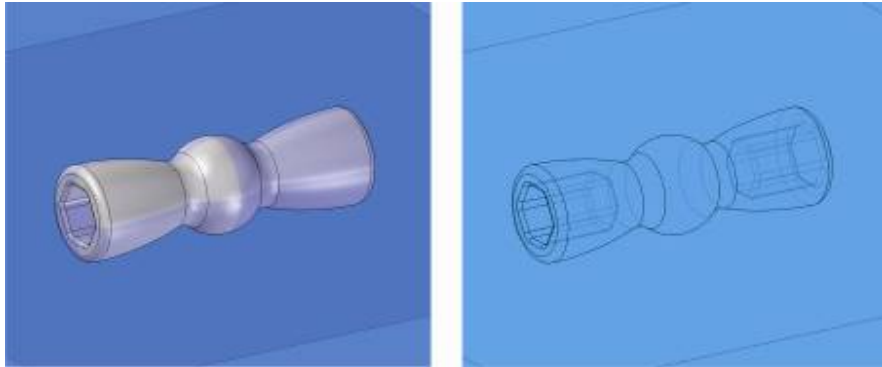


Figura 126. Conector Doble de 90°

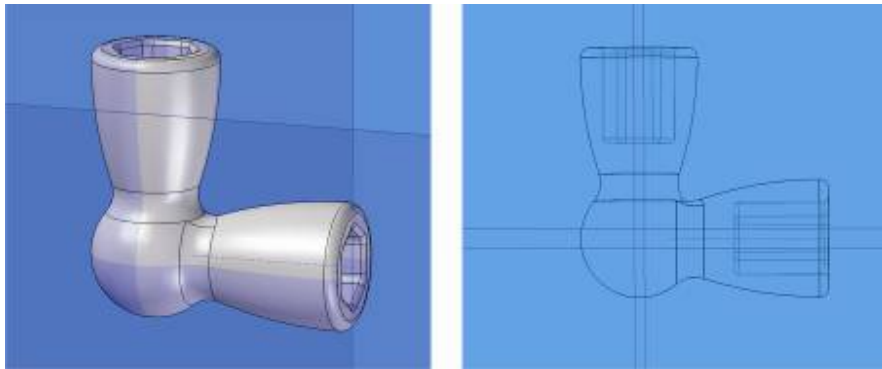


Figura 127. Conector Doble de 120°

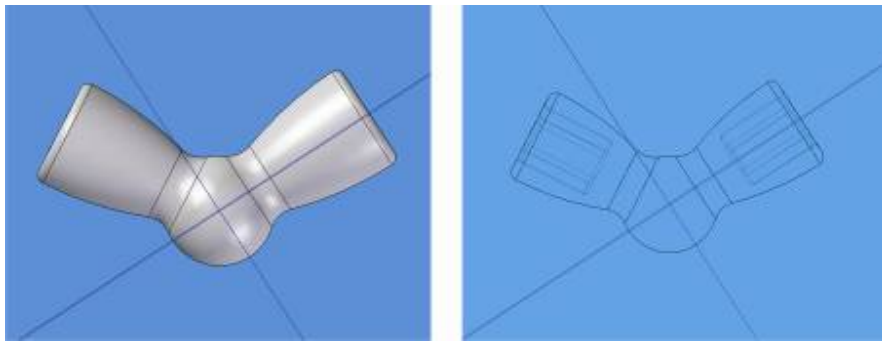


Figura 128. Conector Triple en Forma de T

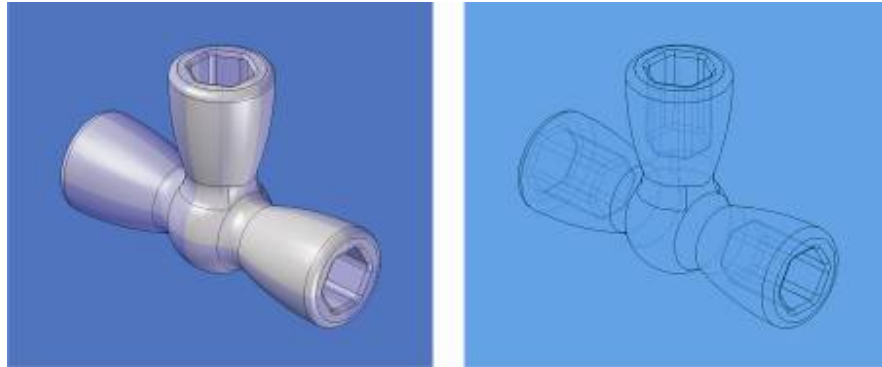


Figura 129. Conector Triple en Forma de Y

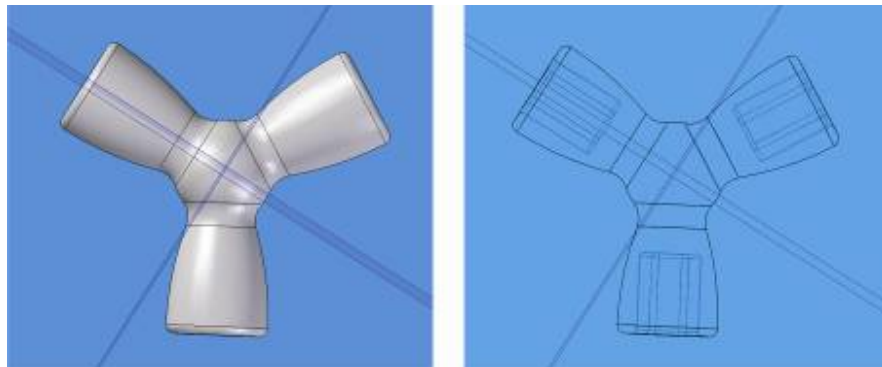


Figura 130. Conector Triple con brazos a 90°

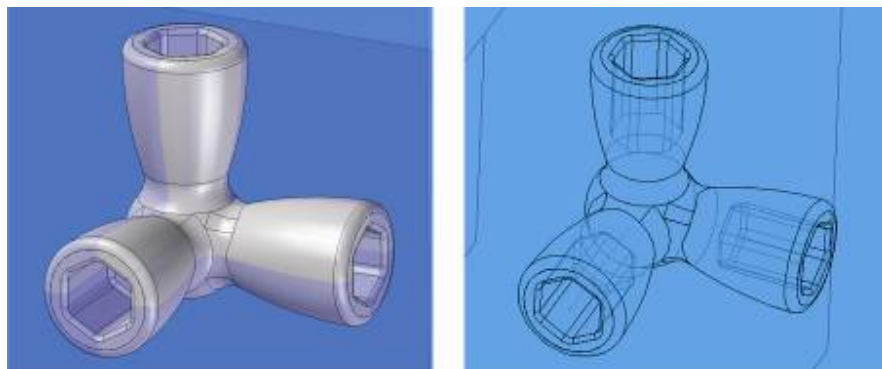


Figura 131. Conector de Y con brazo a 90°

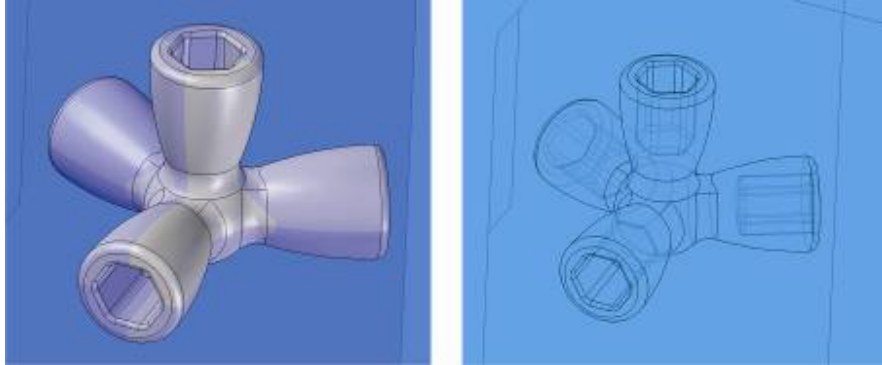


Figura 132. Conector en Forma de Cruz con Brazos a 90°

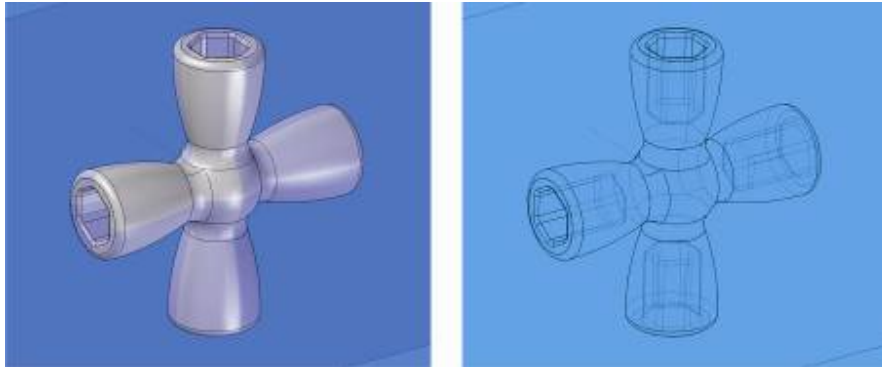


Figura 133. Conector en Forma de Cruz con Dos Brazos a 120°

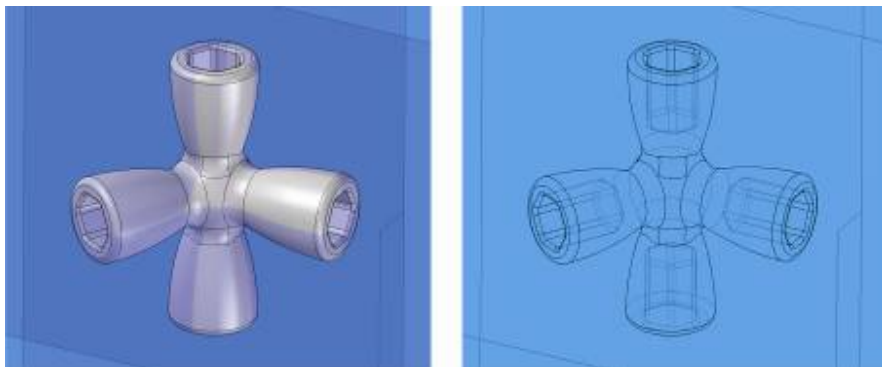


Figura 134. Conector Quíntuple con Brazos a 120°

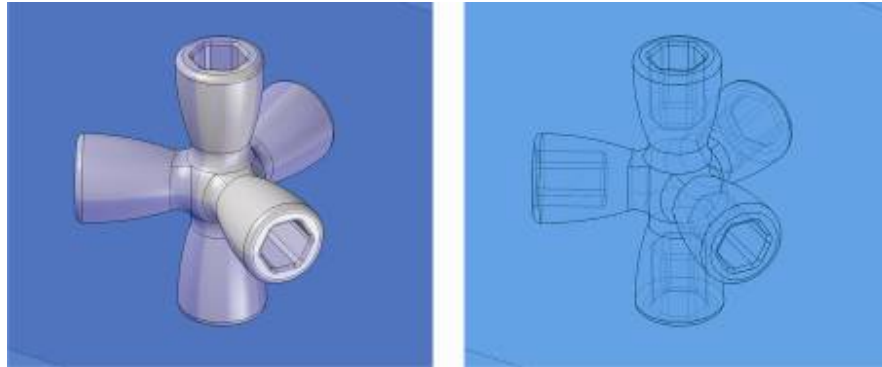


Figura 135. Conector Cuádruple con Brazos a 120°

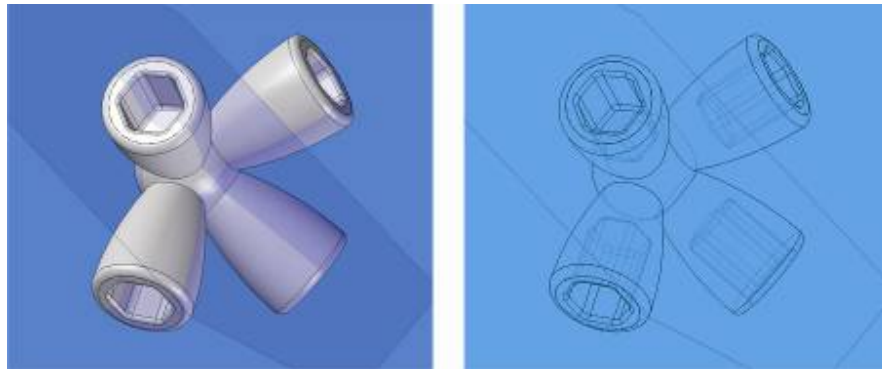


Figura 136. Conector Quíntuple a 90°

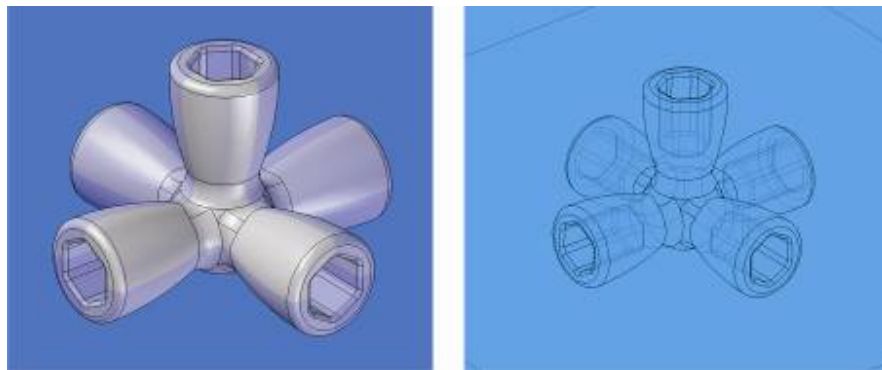
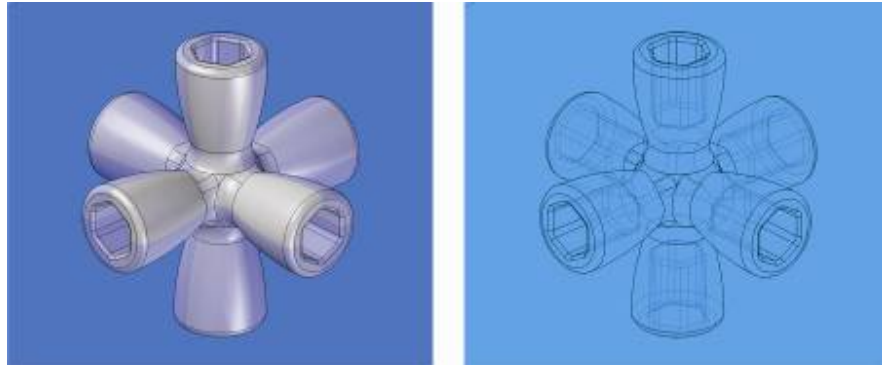


Figura 137. Conector Séxtuple a 90°



Con el fin de unir los conectores entre sí, es necesario que existan elementos que se inserten en ellos para generar continuidad y crecimiento. Algunos son rectos, otros son curvos y los hay también de diferentes tamaños, esto hace posible que se puedan obtener un alto número de posibilidades de composiciones diferentes.

Figura 138. Eje de Unión Interno entre Conectores

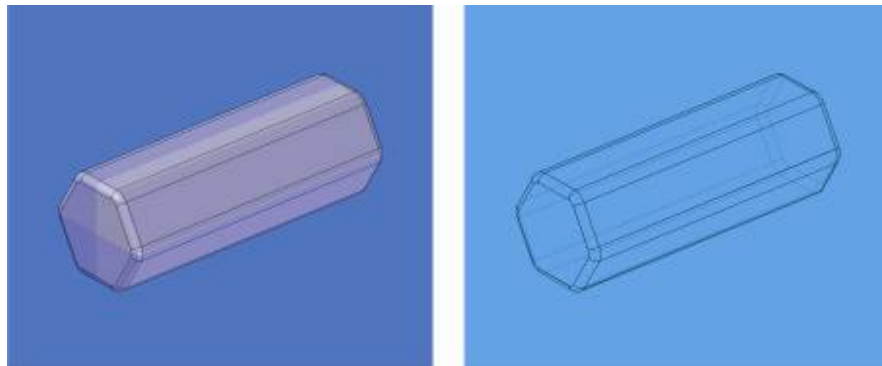


Figura 139. Eje Recto Pequeño

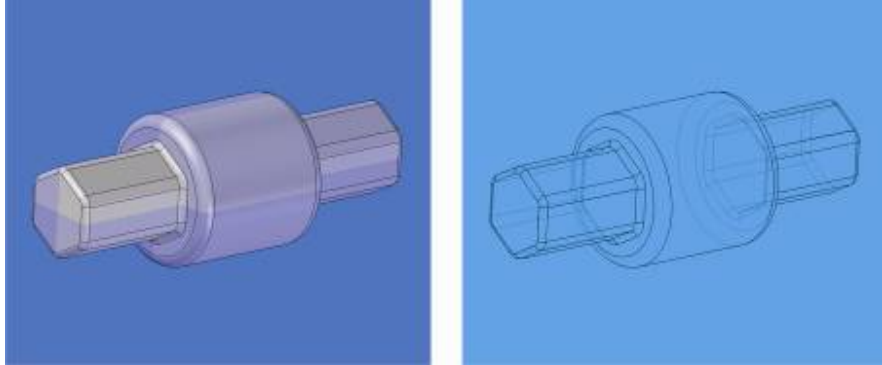


Figura 140. Eje Recto Mediano

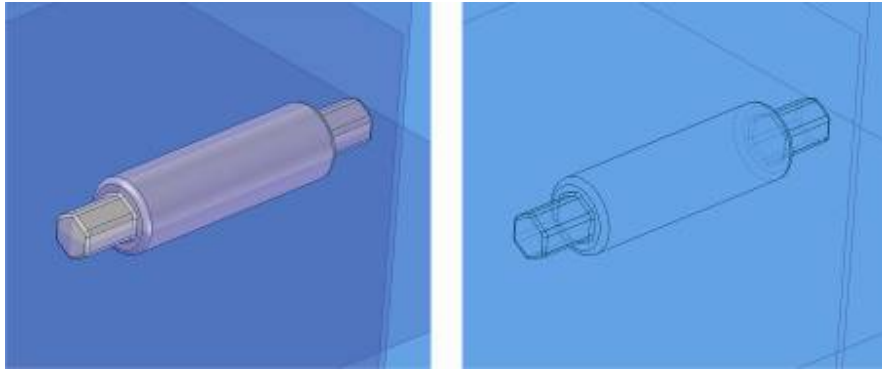


Figura 141. Eje Recto Largo

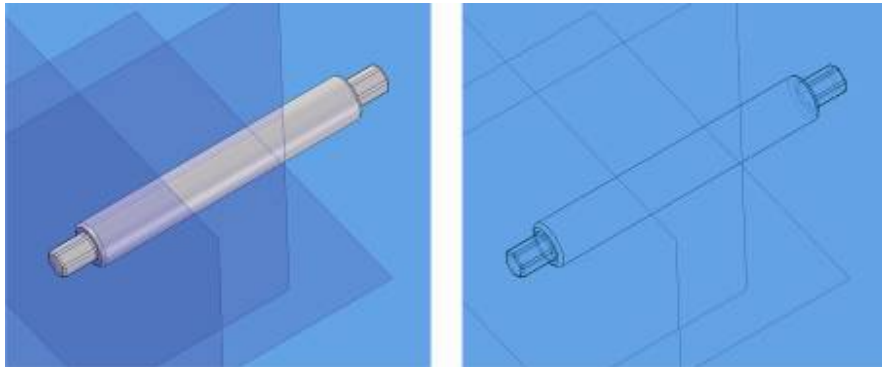


Figura 142. Eje Curvo a 110°

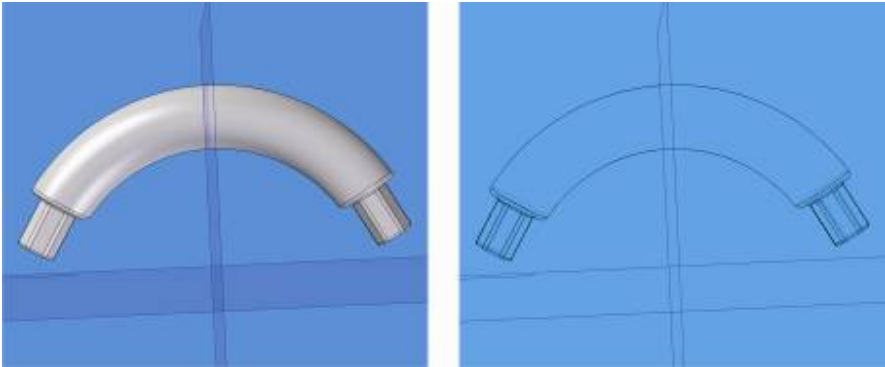


Figura 143. Eje Curvo a 120°

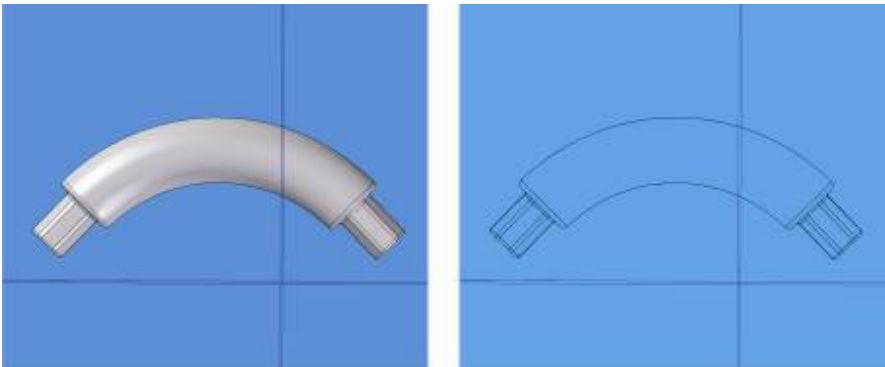
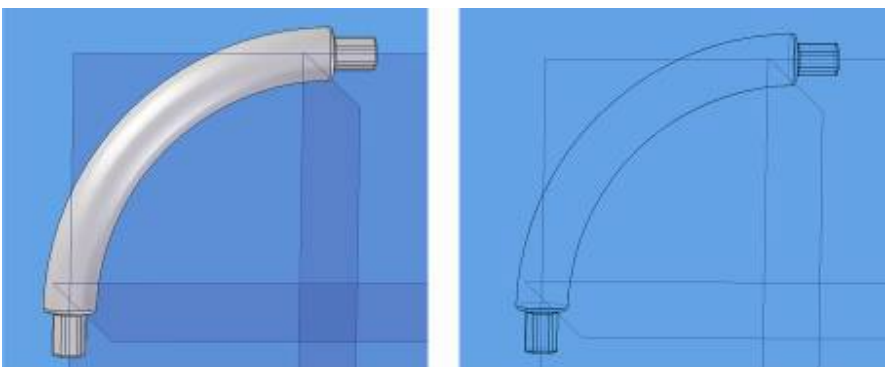


Figura 144. Eje Curvo a 90°



Para lograr módulos específicos como una esfera, un elipsoide o un automóvil, se plantea la elaboración de superficies de mayor tamaño que las anteriores que también son compatibles entre sí al momento del ensamble.

Figura 145. Superficie Curva Plana 1

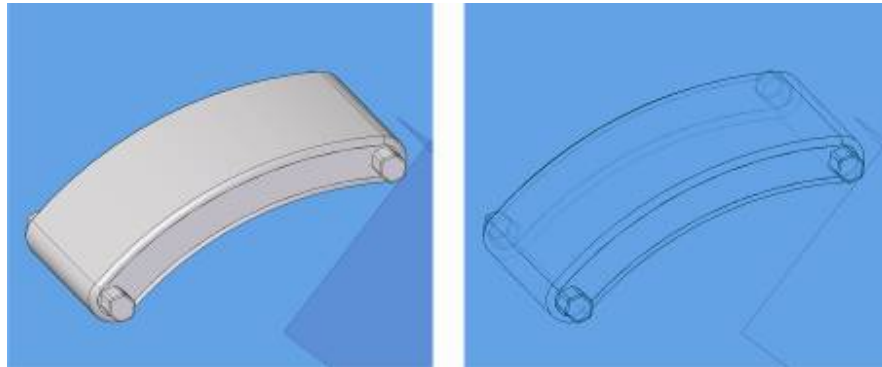


Figura 146. Superficie Curva Plana 2

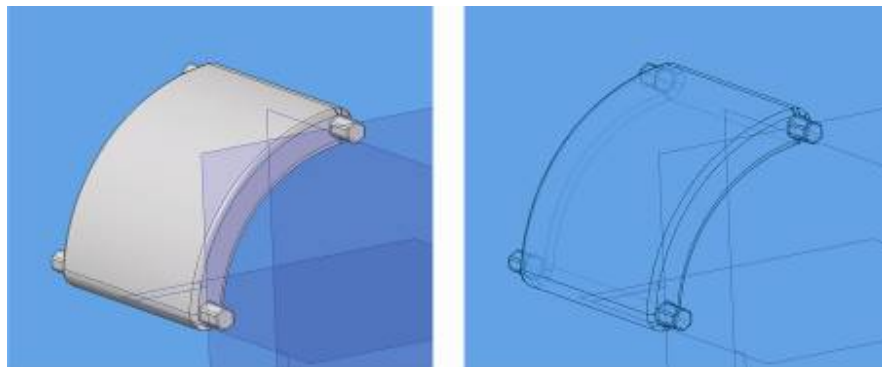


Figura 147. Superficie Curva Plana 3

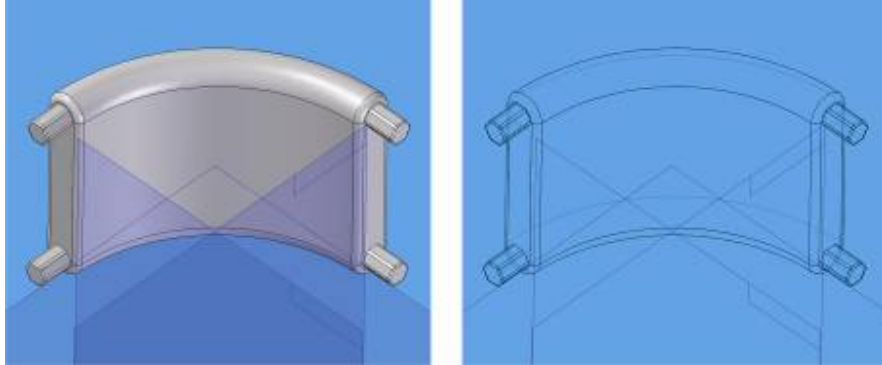


Figura 148. Superficie Esférica

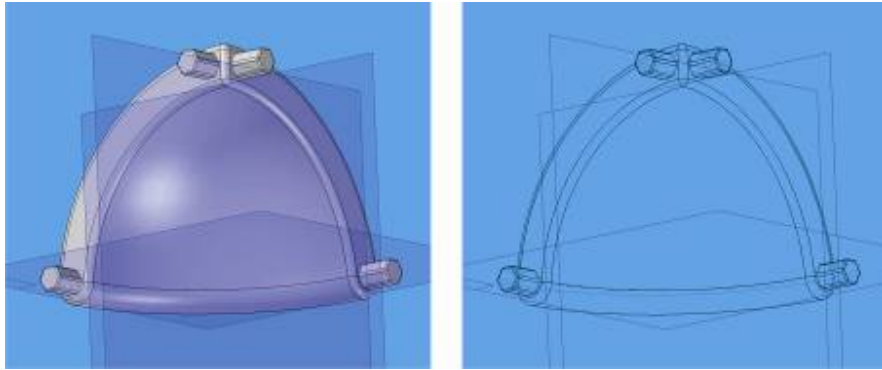


Figura 149. Pieza para Rueda 1

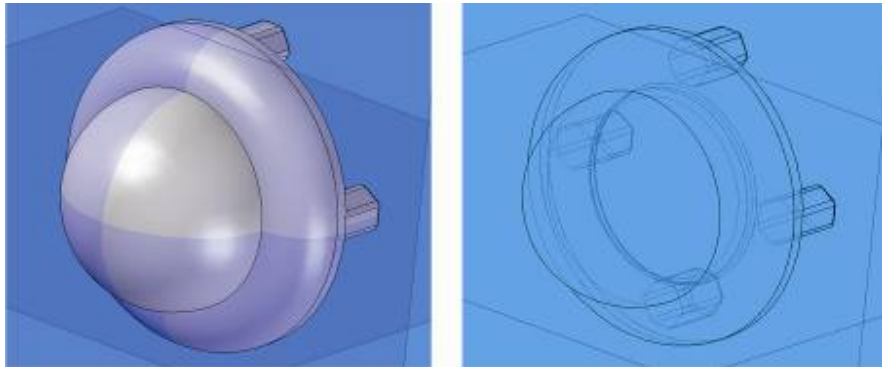


Figura 150. Pieza para Rueda 2

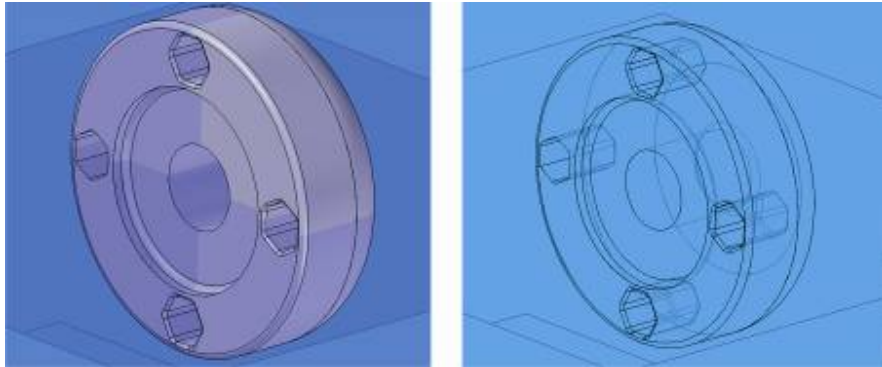
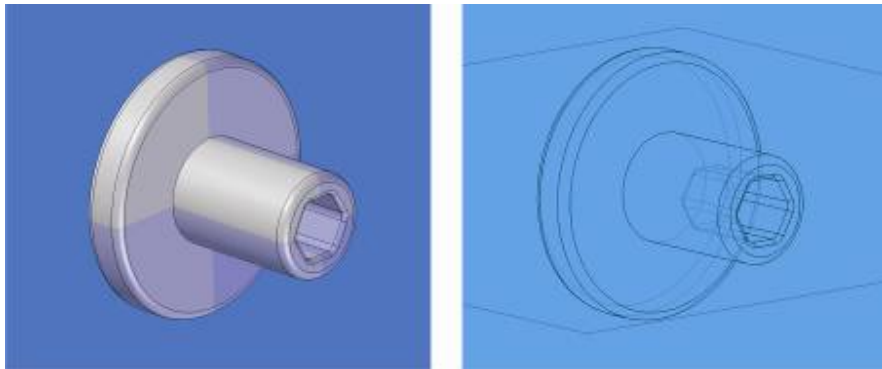


Figura 151. Pieza para Rueda 3



Los siguientes son algunos ejemplos de la manera como estos elementos se unen entre sí.

Figura 152. Ensamble de Conector T con Eje Curvo

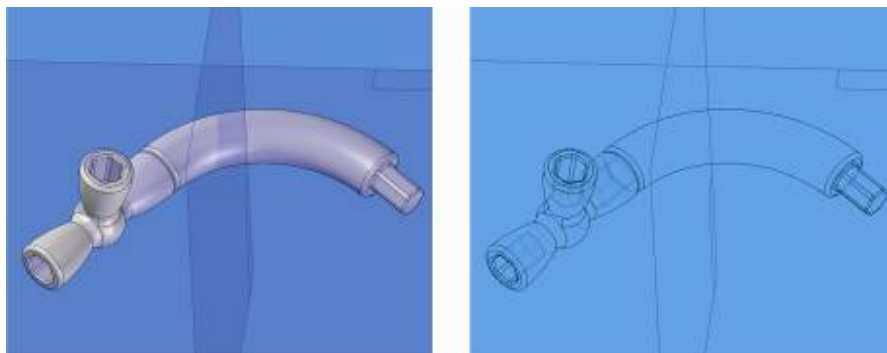


Figura 153. Ensamble de Conector Quíntuple con Eje Pequeño

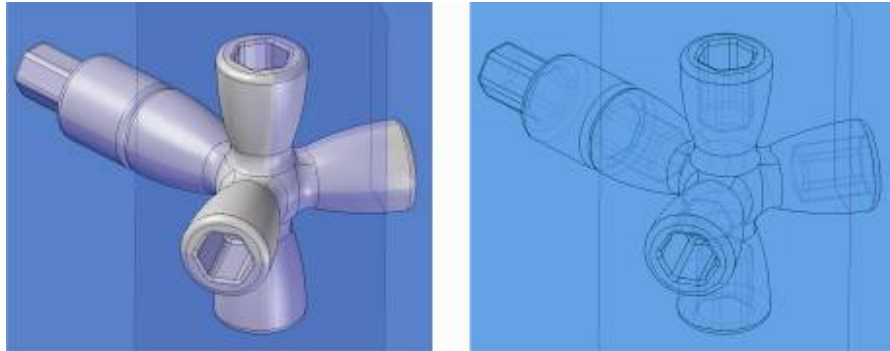


Figura 154. Ensamble de Superficie Esférica con Conector Doble a 180°

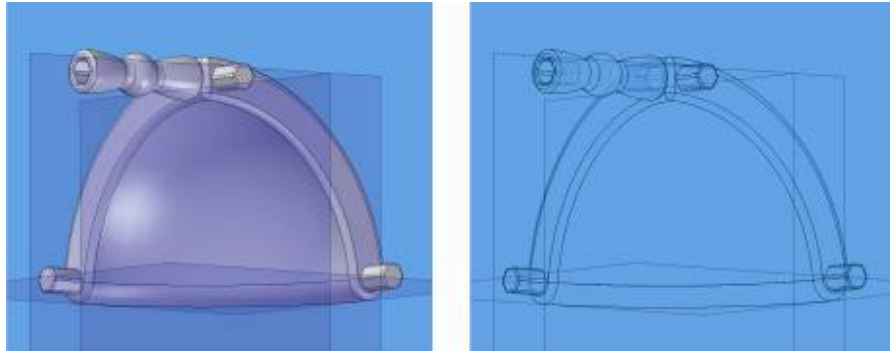
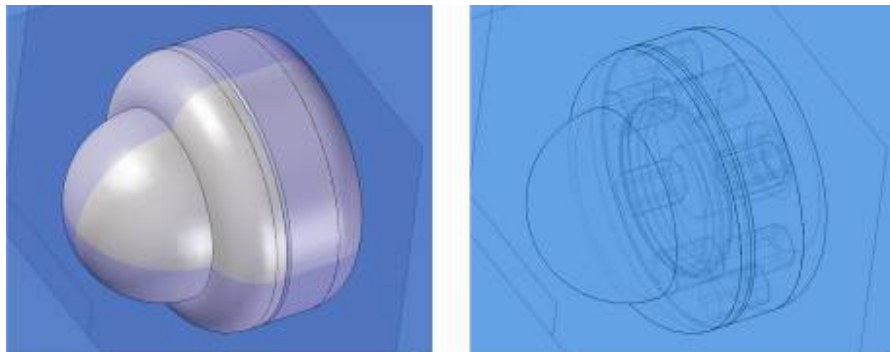


Figura 155. Ensamble de Piezas de la Rueda



Aunque los ensambles de las piezas anteriores funcionaban virtualmente, era probable que en la realidad no lo fuera, ya que con el tiempo podía presentarse un desgaste de material debido al roce del material con que estén fabricados. Por tal razón, se plantea una evolución en la manera de asegurar la unión de las piezas.

Figura 156. Conector Doble a 180° con Rediseño en Ensamble

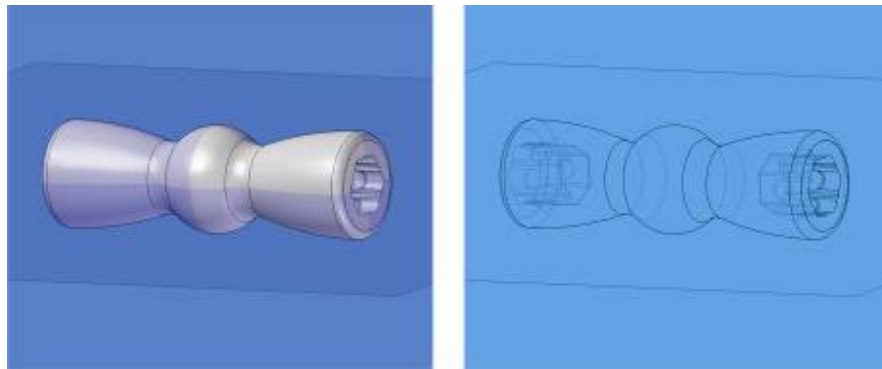


Figura 157. Conector Doble a 120° con Rediseño en Ensamble

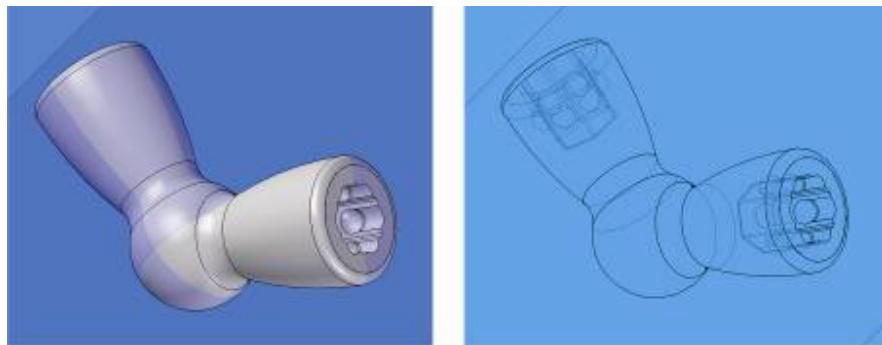


Figura 158. Conector en Forma de T con Rediseño en Ensamble

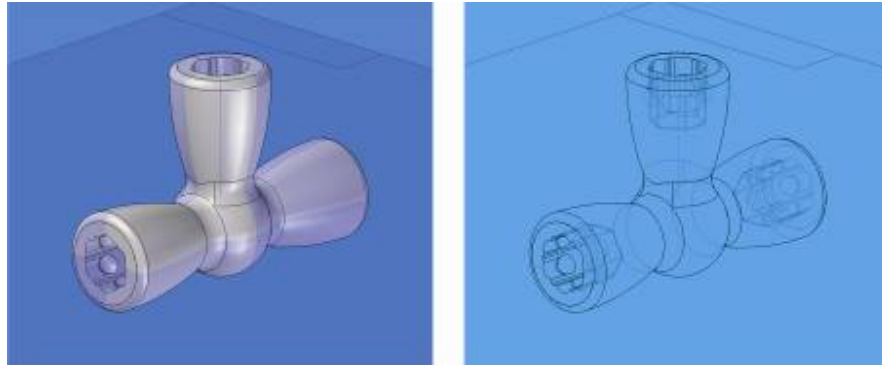


Figura 159. Conector Triple a 120° y 90° con Rediseño en Ensamble

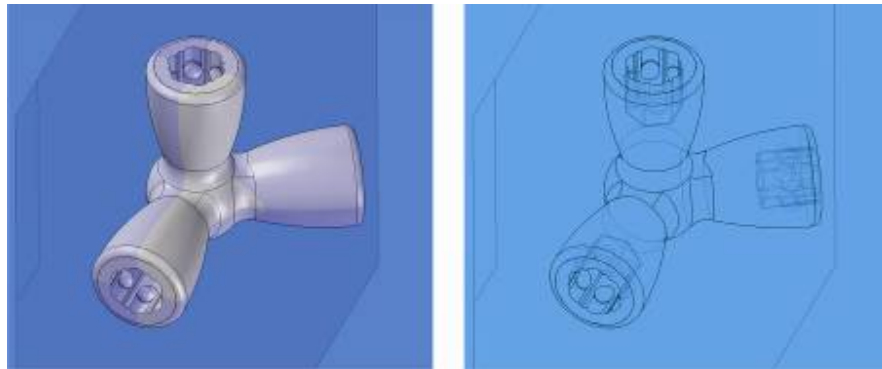


Figura 160. Conector en Forma de Cruz con Dos Brazos a 120° con Rediseño en Ensamble

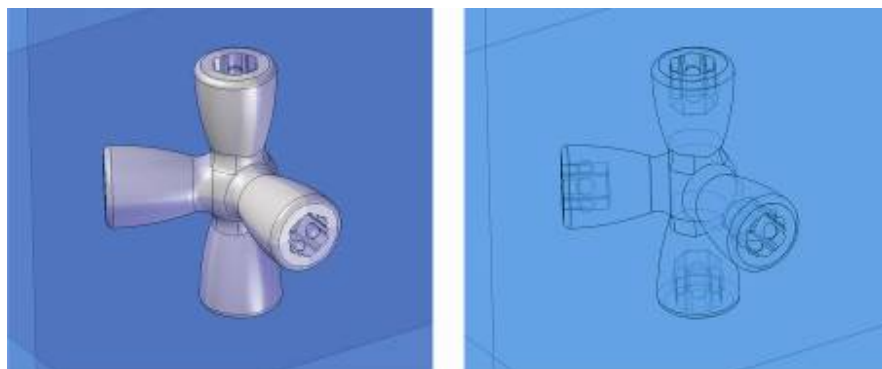


Figura 161. Conector Quíntuple con Rediseño en Ensamble

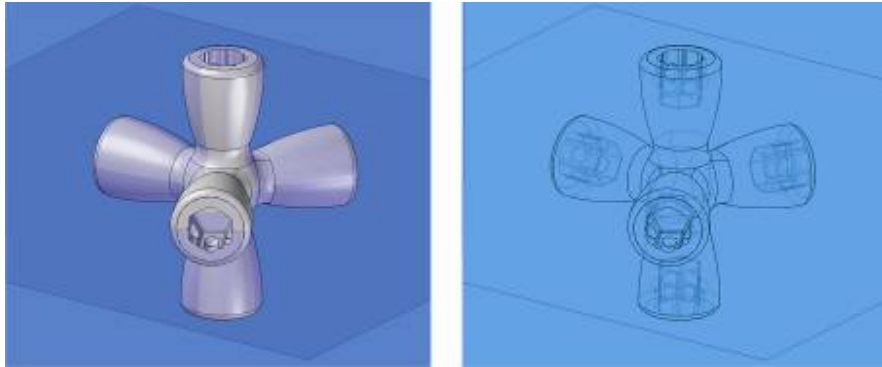


Figura 162. Eje Pequeño con Rediseño en Ensamble

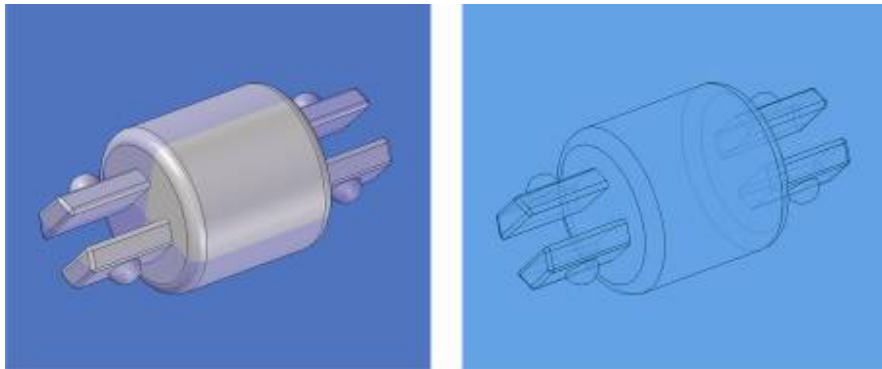


Figura 163. Eje Mediano con Rediseño en Ensamble

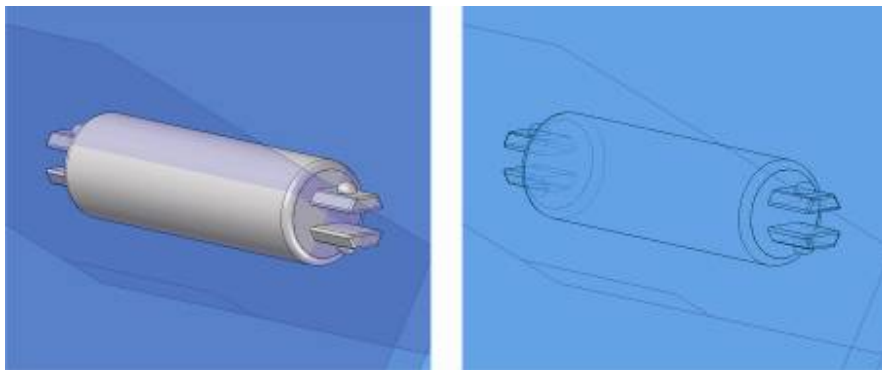


Figura 164. Ensamble con Piezas Rediseñadas 1

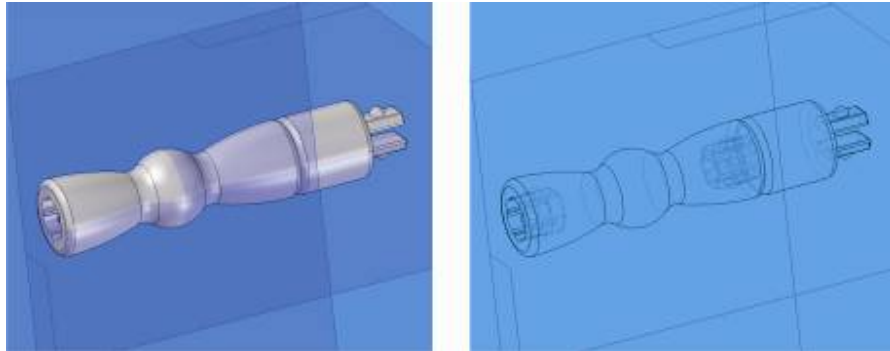
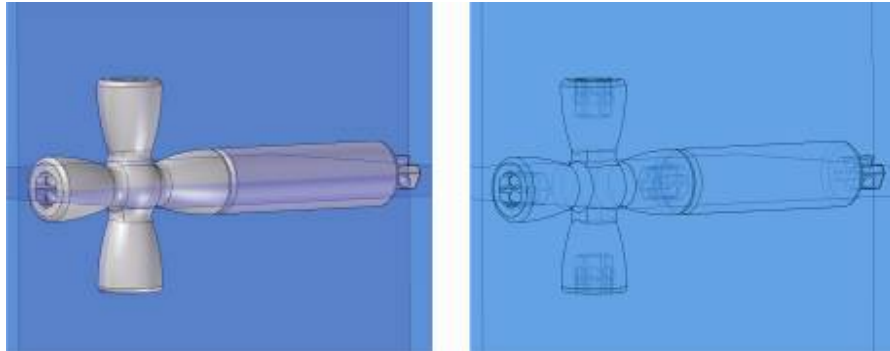


Figura 165. Ensamble con Piezas Rediseñadas 2



La propuesta anterior ofrecía un aseguramiento entre piezas más eficiente pero resultaba algo compleja para su fabricación, sobre todo en las cavidades internas. Por lo tanto se elaboró una nueva propuesta que no sólo permita un ensamble óptimo sino que también involucre una producción de piezas en serie sin mayores complicaciones.

Figura 166. Evolución Final Conector Doble a 180°

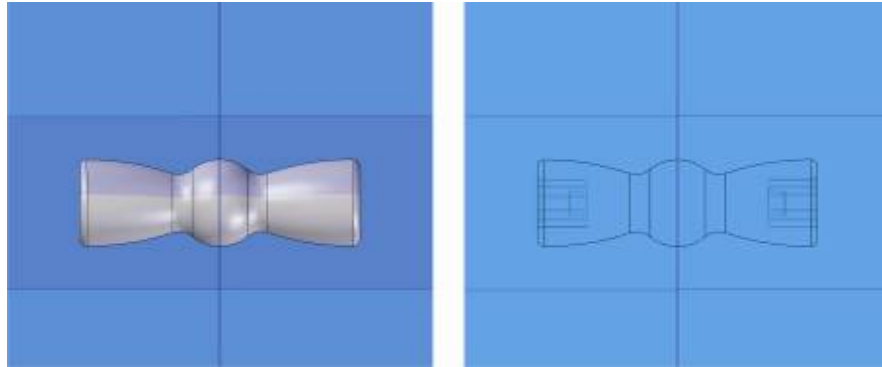


Figura 167. Evolución Final Conector Triple a 120°

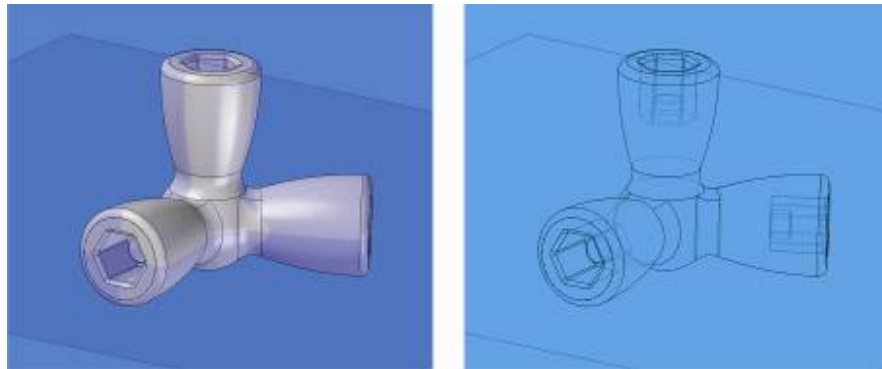


Figura 168. Evolución Final Conector en T a 90°

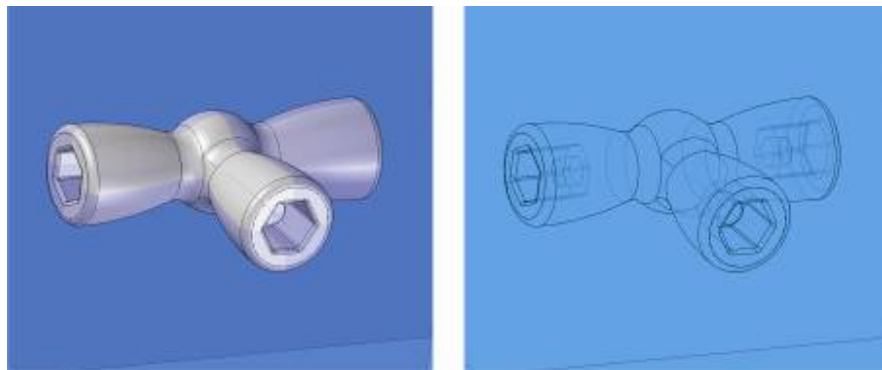


Figura 169. Evolución Final Conector en Cruz con Dos Brazos a 120°

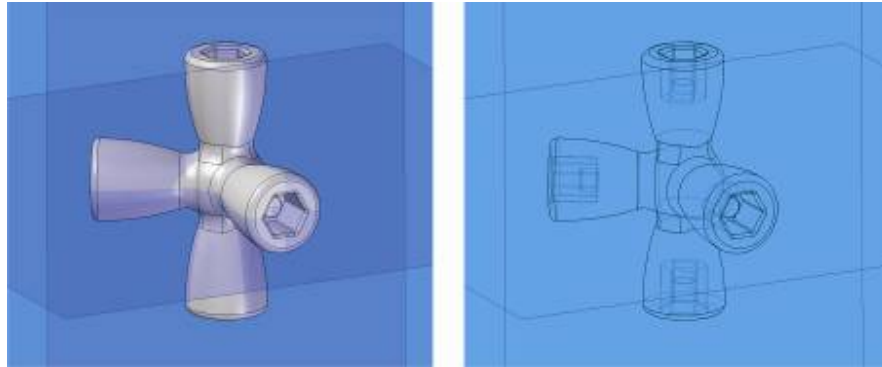


Figura 170. Evolución Final Conector Quíntuple con Brazos a 120°

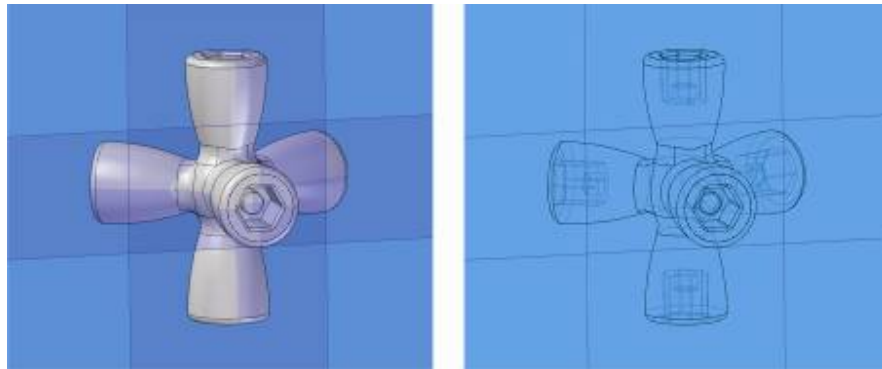


Figura 171. Evolución Final Eje de Unión Interno entre Conectores

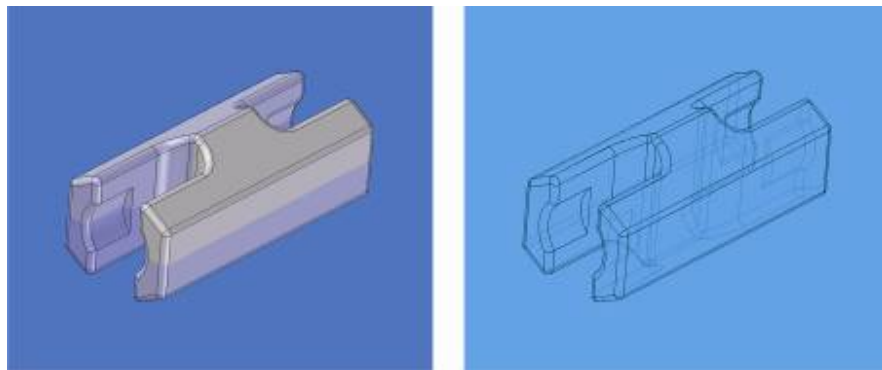


Figura 172. Evolución Final Eje Mediano

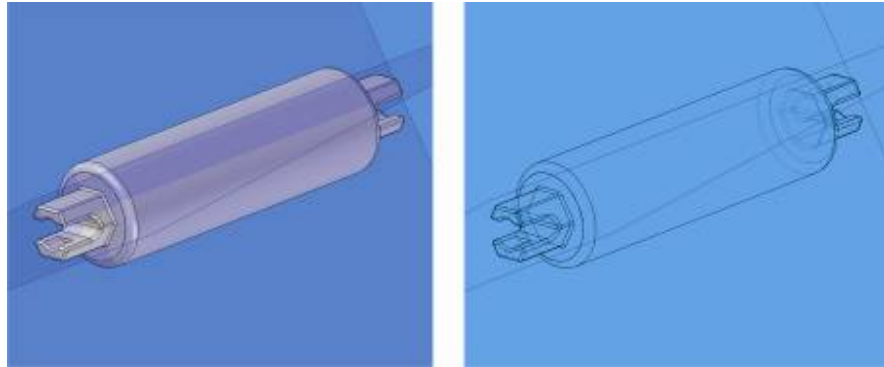


Figura 173. Ensamble 1 con Evolución Final

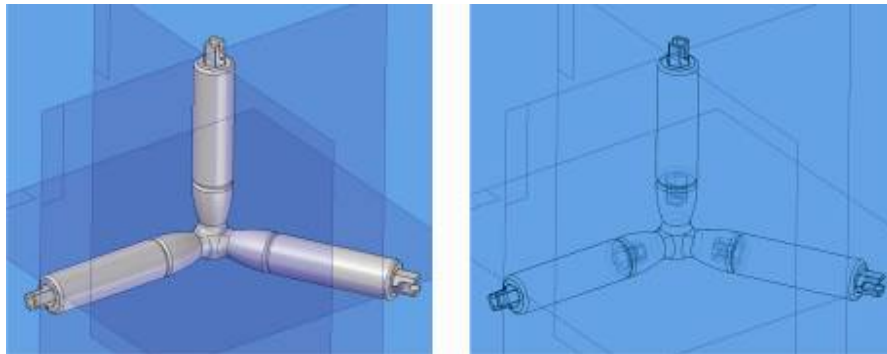


Figura 174. Ensamble 2 con Evolución Final

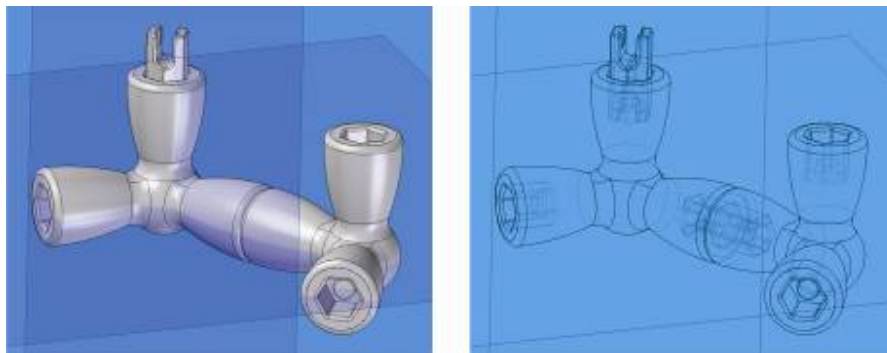


Figura 175. Configuración Tridimensional de Módulos 1

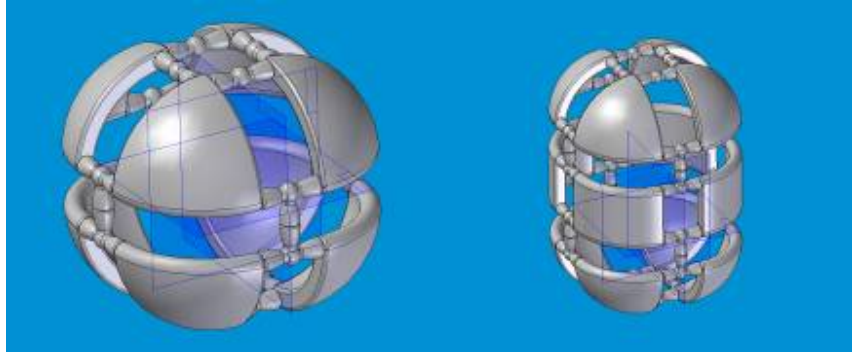


Figura 176. Configuración Tridimensional de Módulos 2

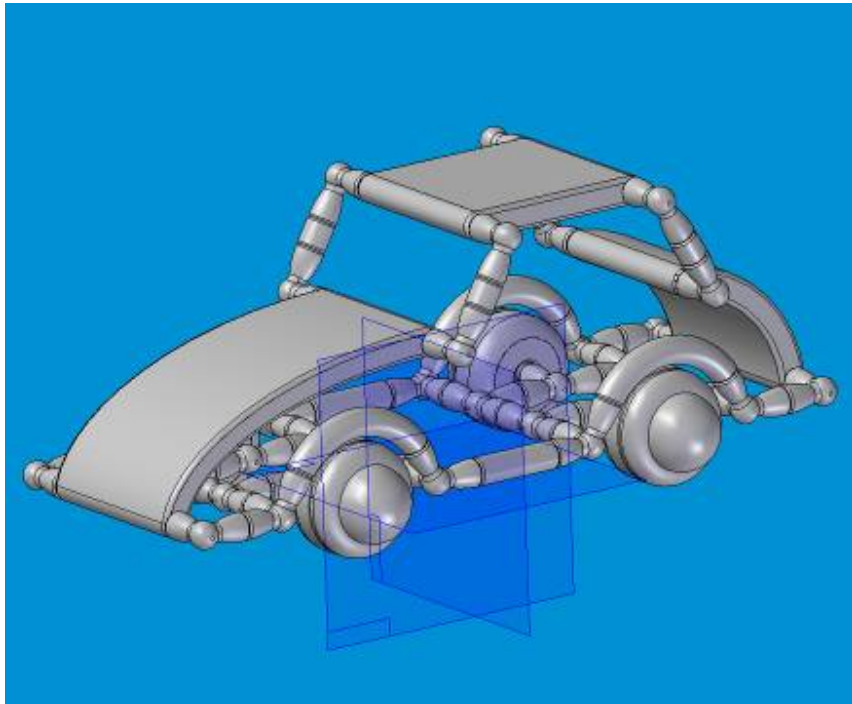


Figura 177. Configuración Tridimensional de Módulos 3

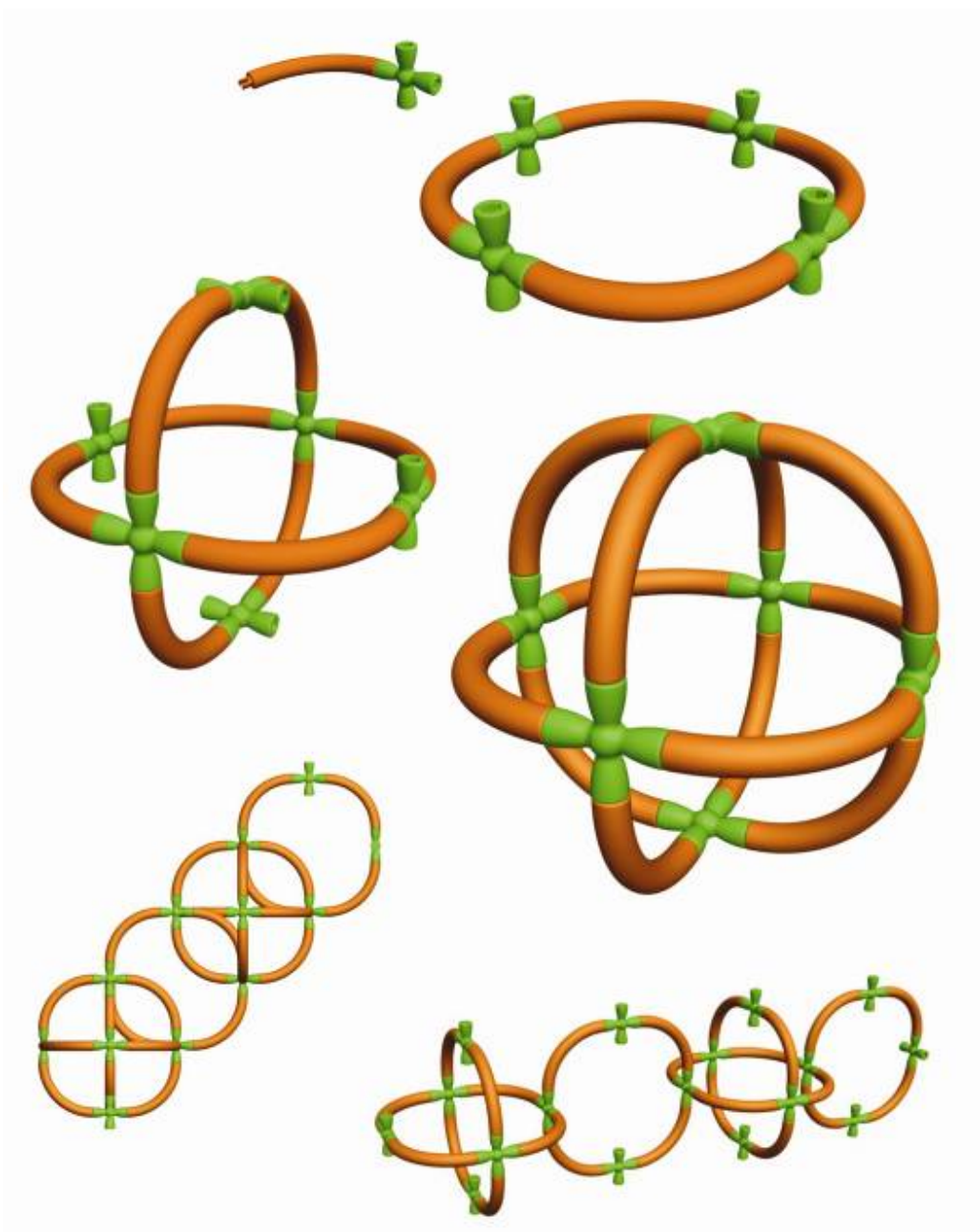


Figura 178. Configuración Tridimensional de Módulos 4

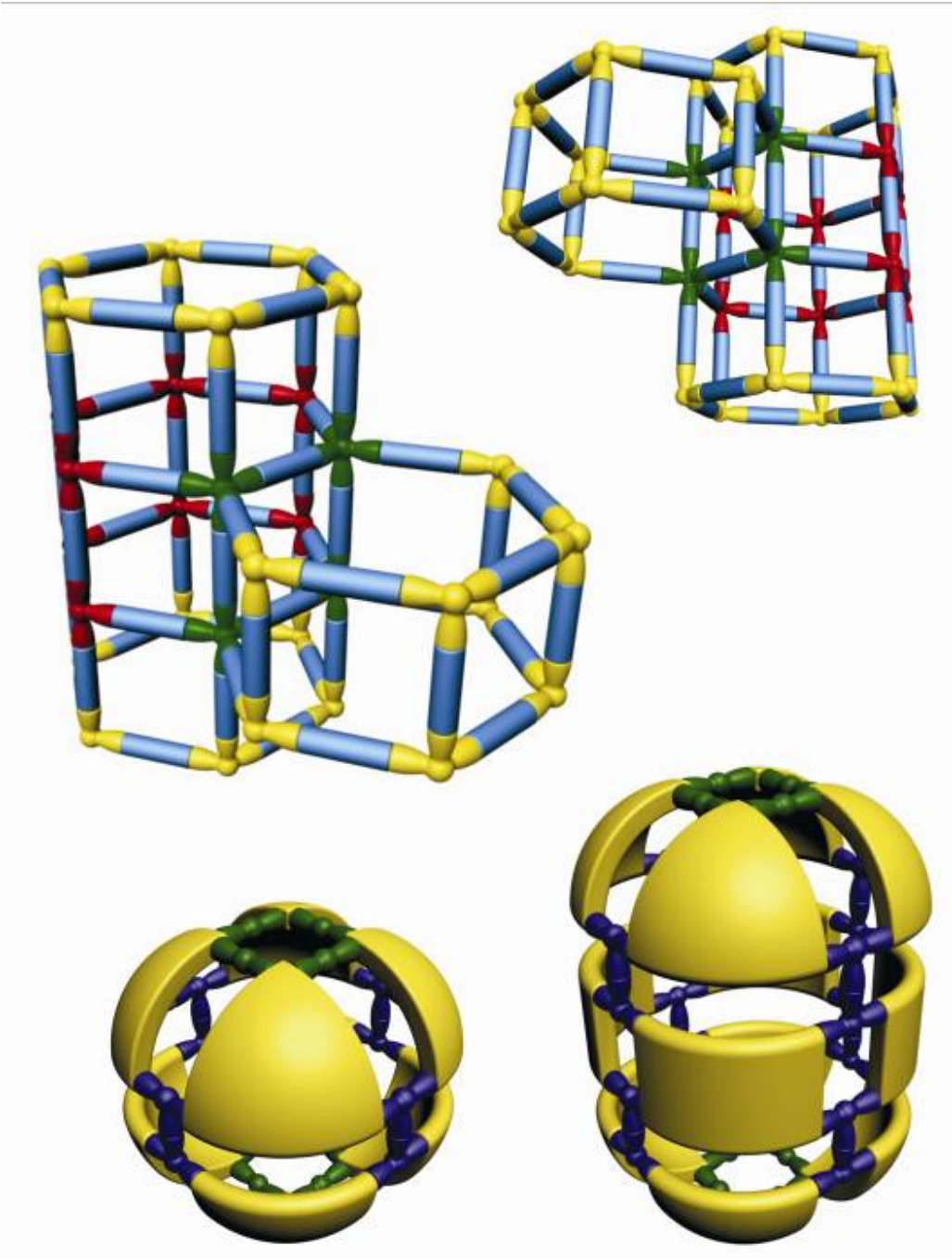


Figura 179. Configuración Tridimensional de Módulos 5

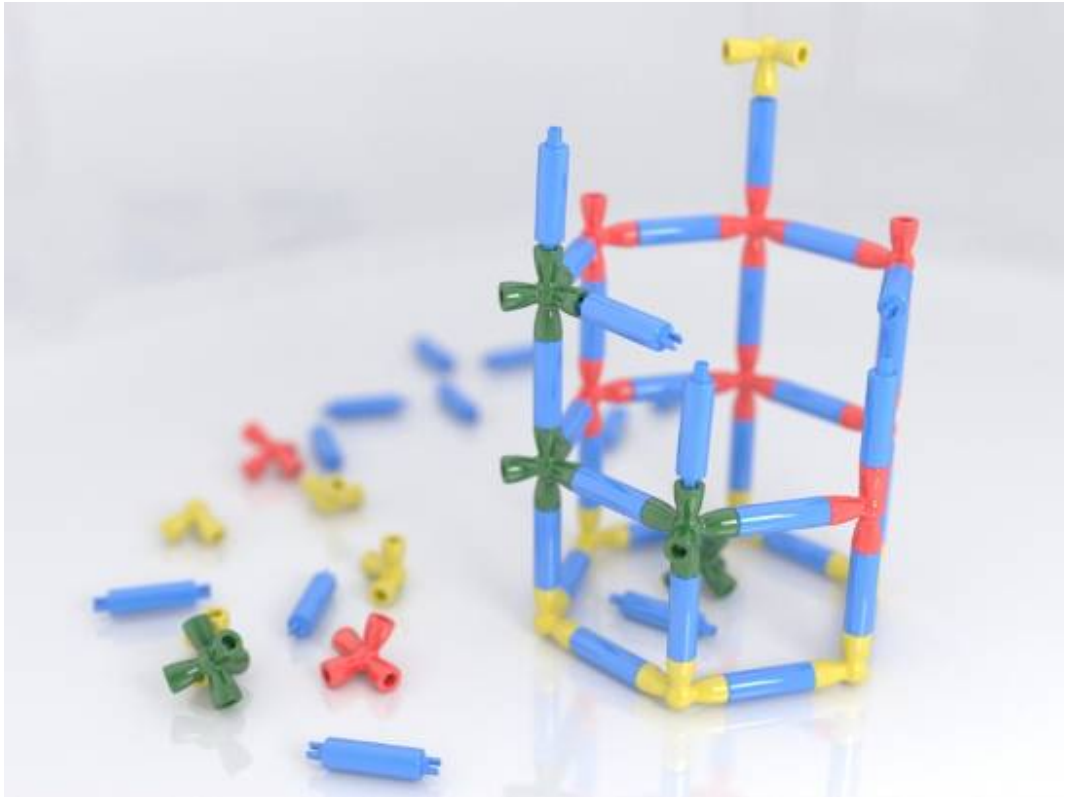


Figura 180. Configuración Tridimensional de Módulos 6

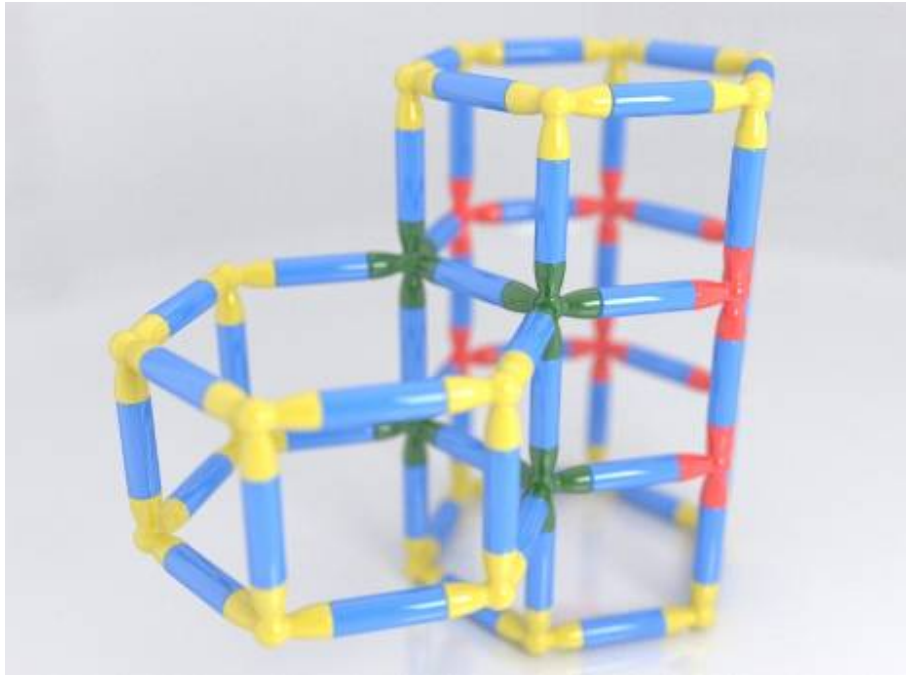


Figura 181. Configuración Tridimensional de Módulos 7

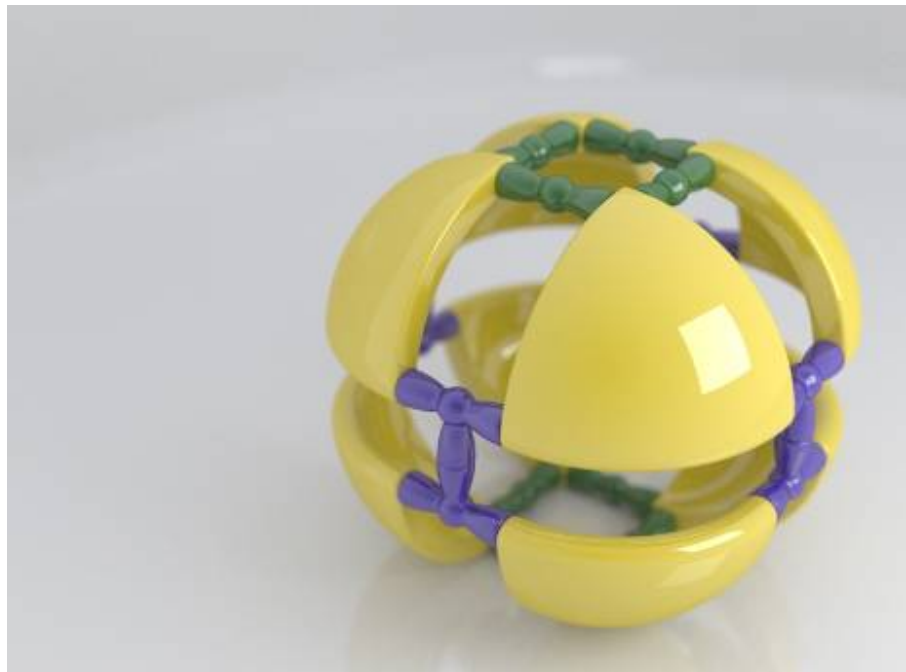


Figura 182. Planos de Conector en Forma de Cruz con Brazos a 90°

Conector triple en forma de T con brazos a 90°  
Escala: 1 : 1  
Milímetros

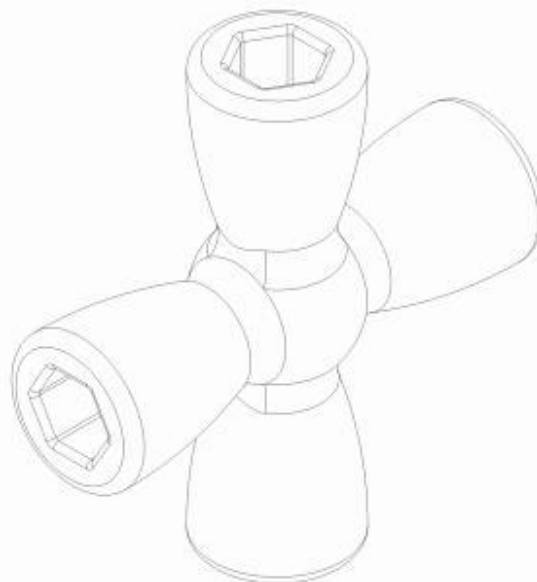


Figura 183. Planos de Conector Triple a 120° y 90°

Conector triple a 120° y 90°  
Escala: 1 : 1  
Milímetros

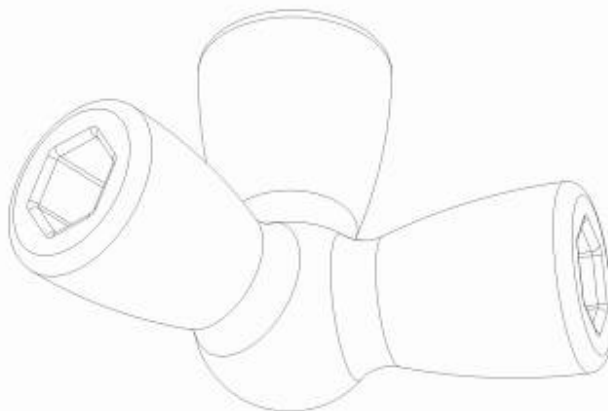
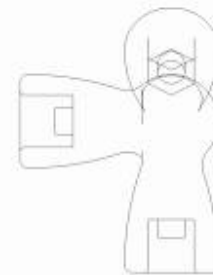
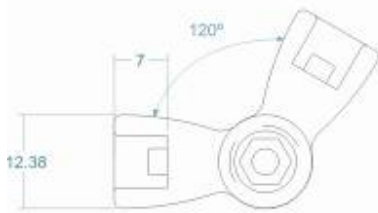


Figura 184. Planos de Conector Quíntuple con Brazos a 120°

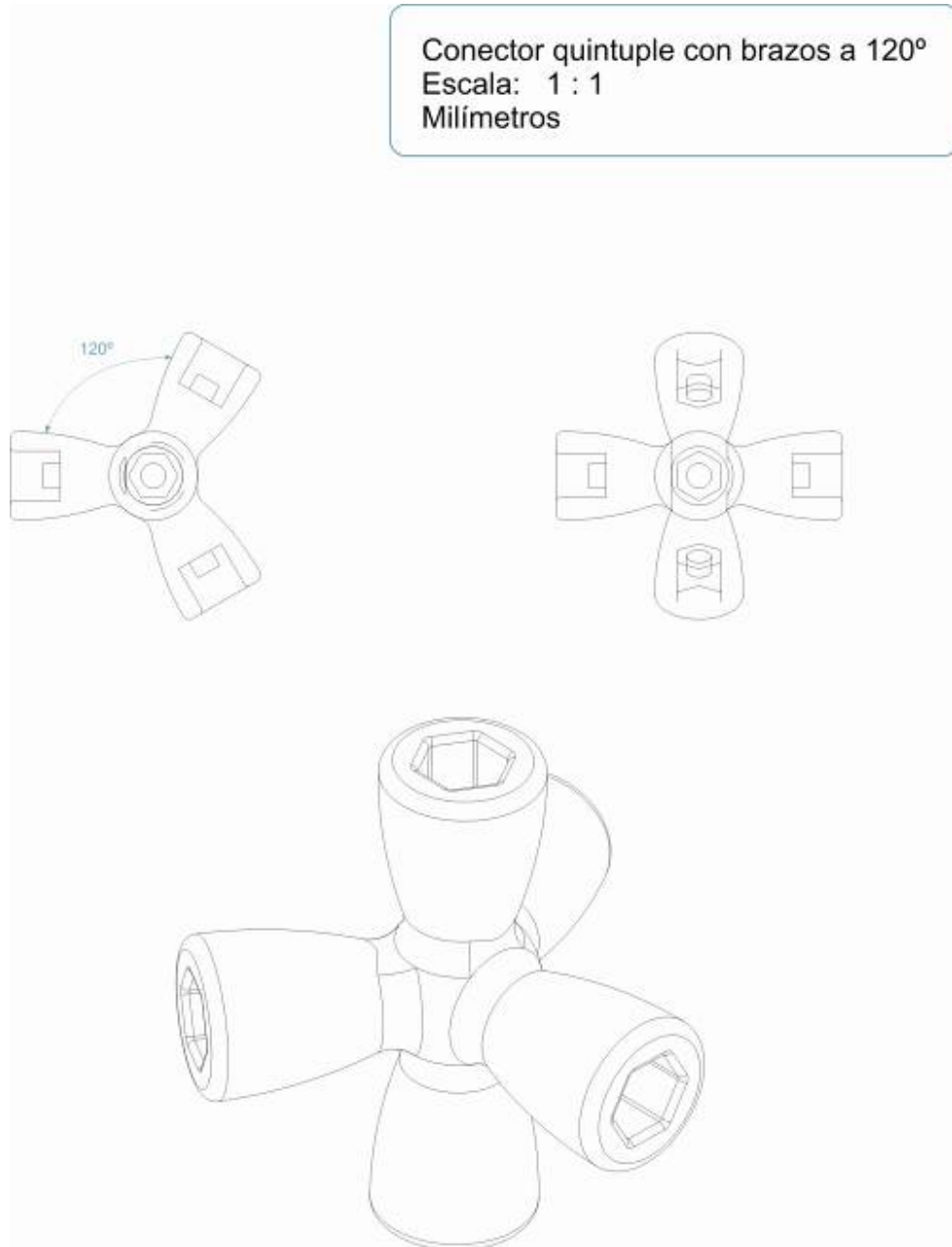


Figura 185. Planos de Eje Recto Mediano

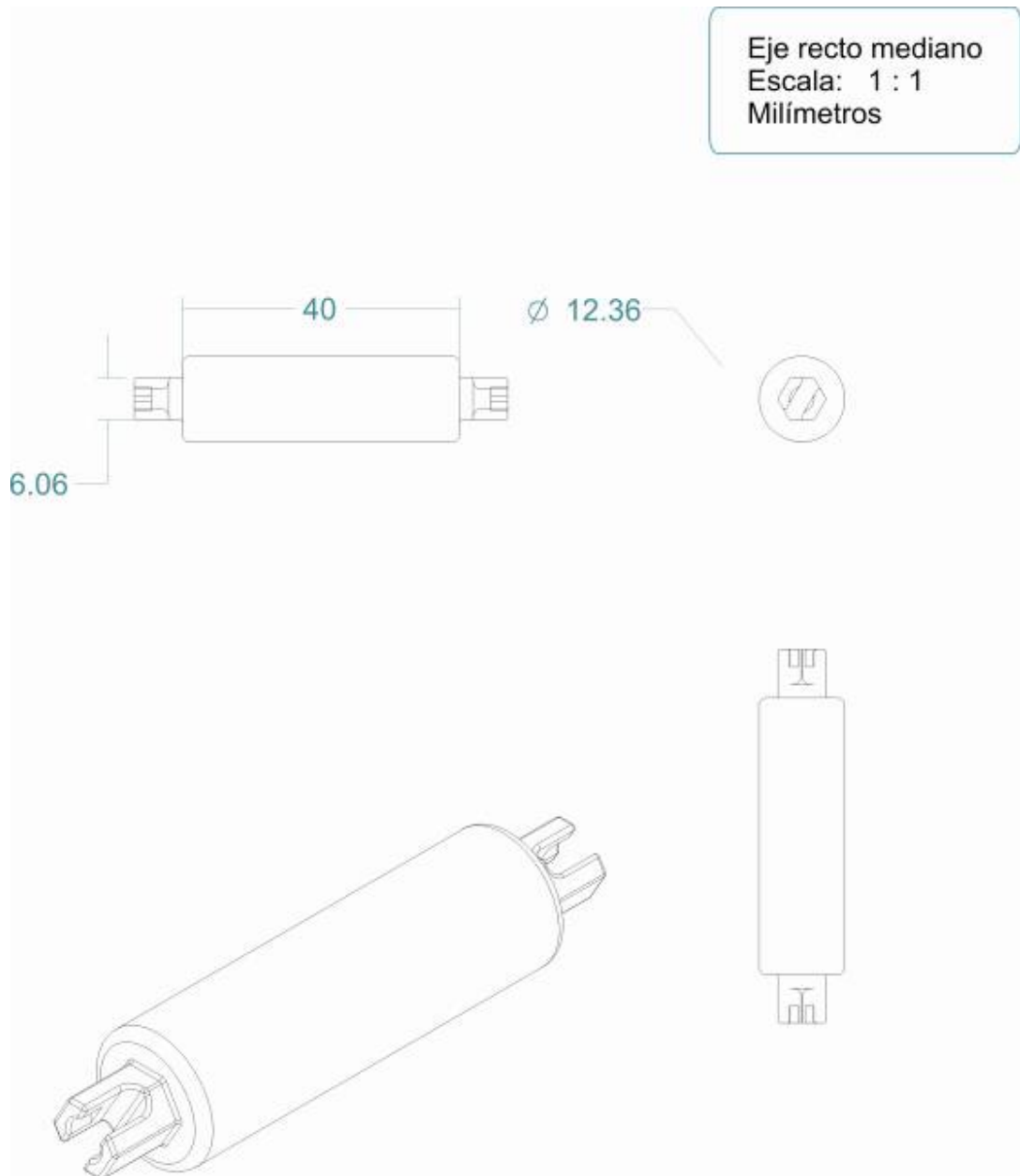


Figura 186. Planos de Conector en Forma de Cruz con Brazos a 90°

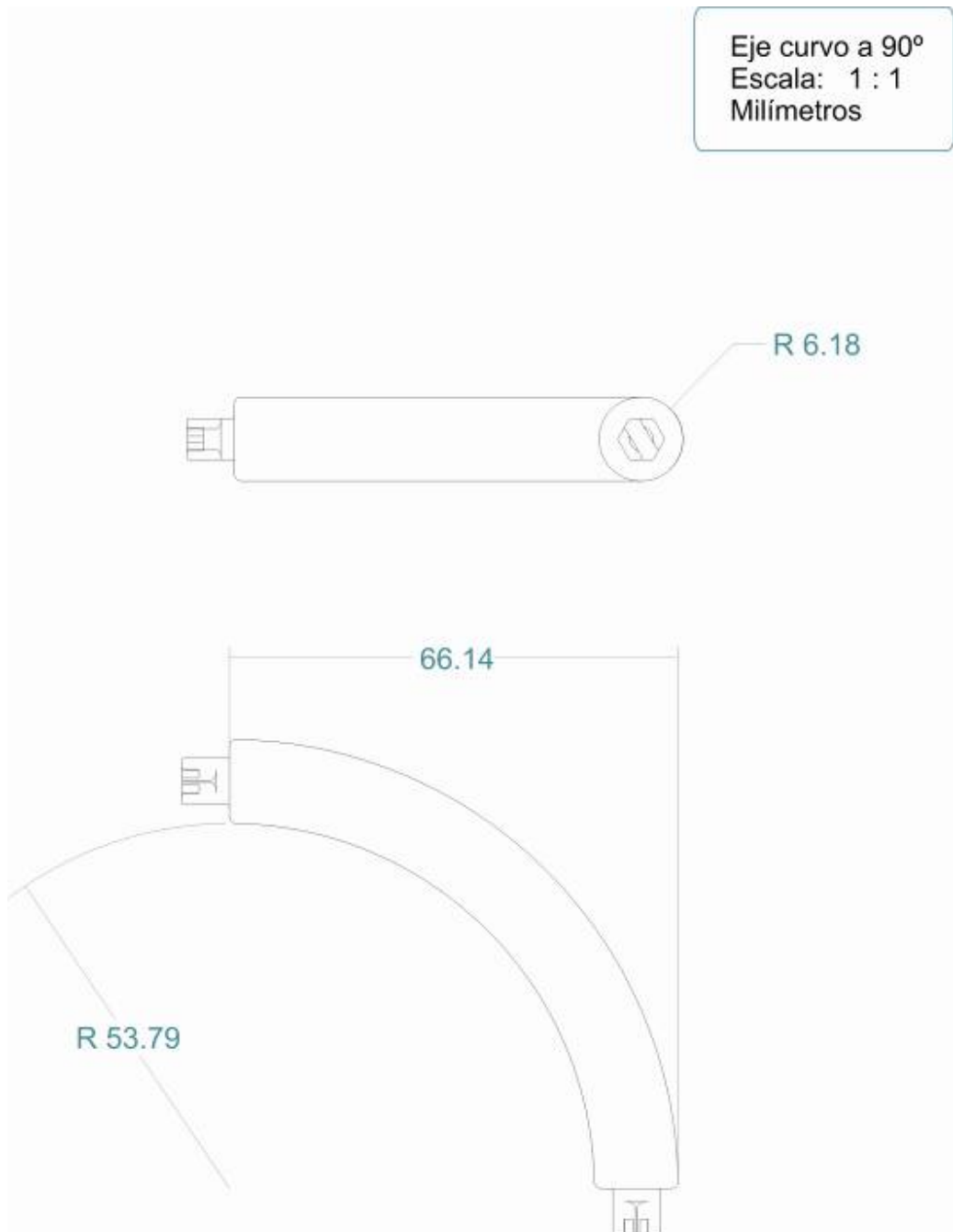
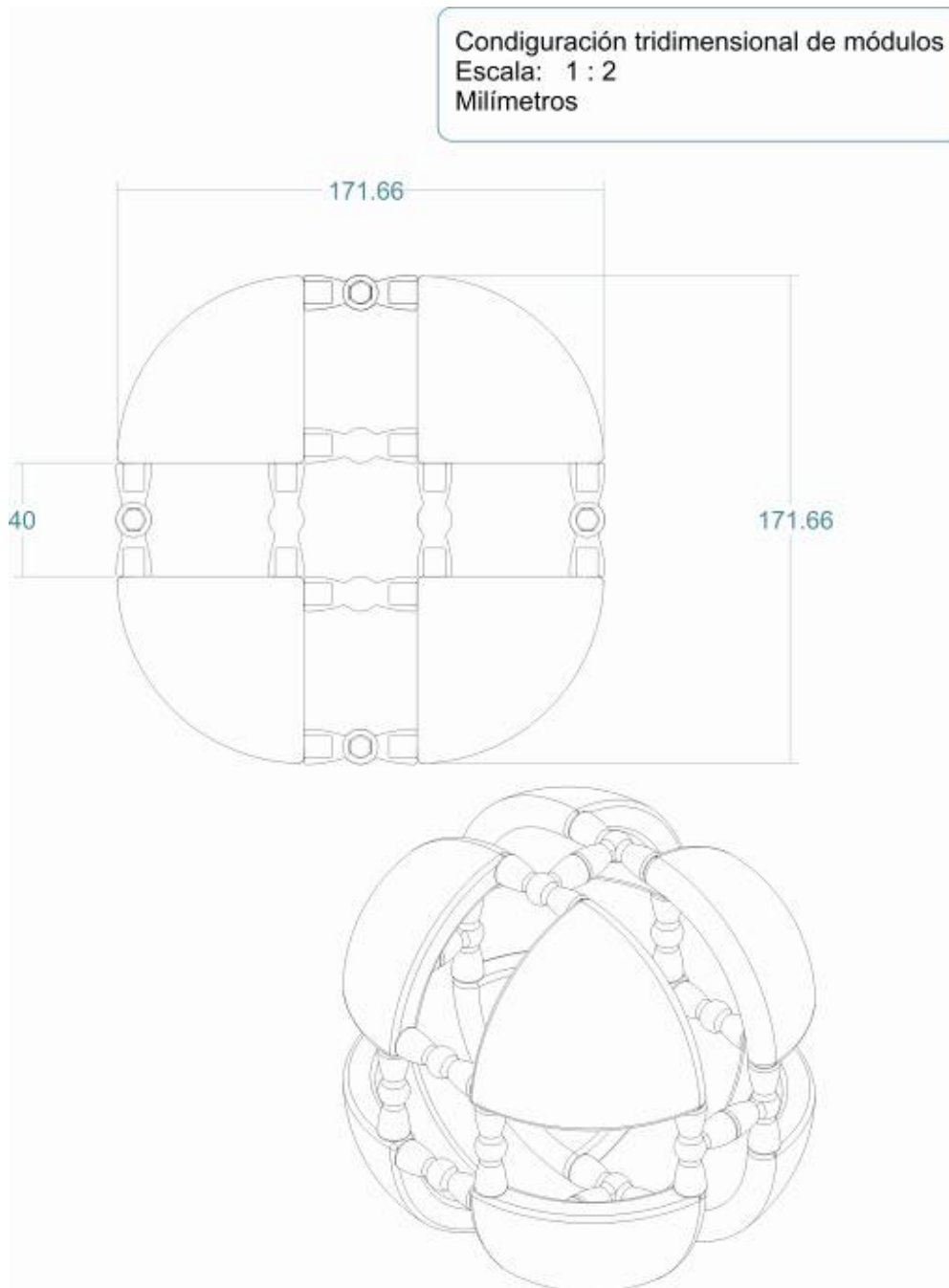


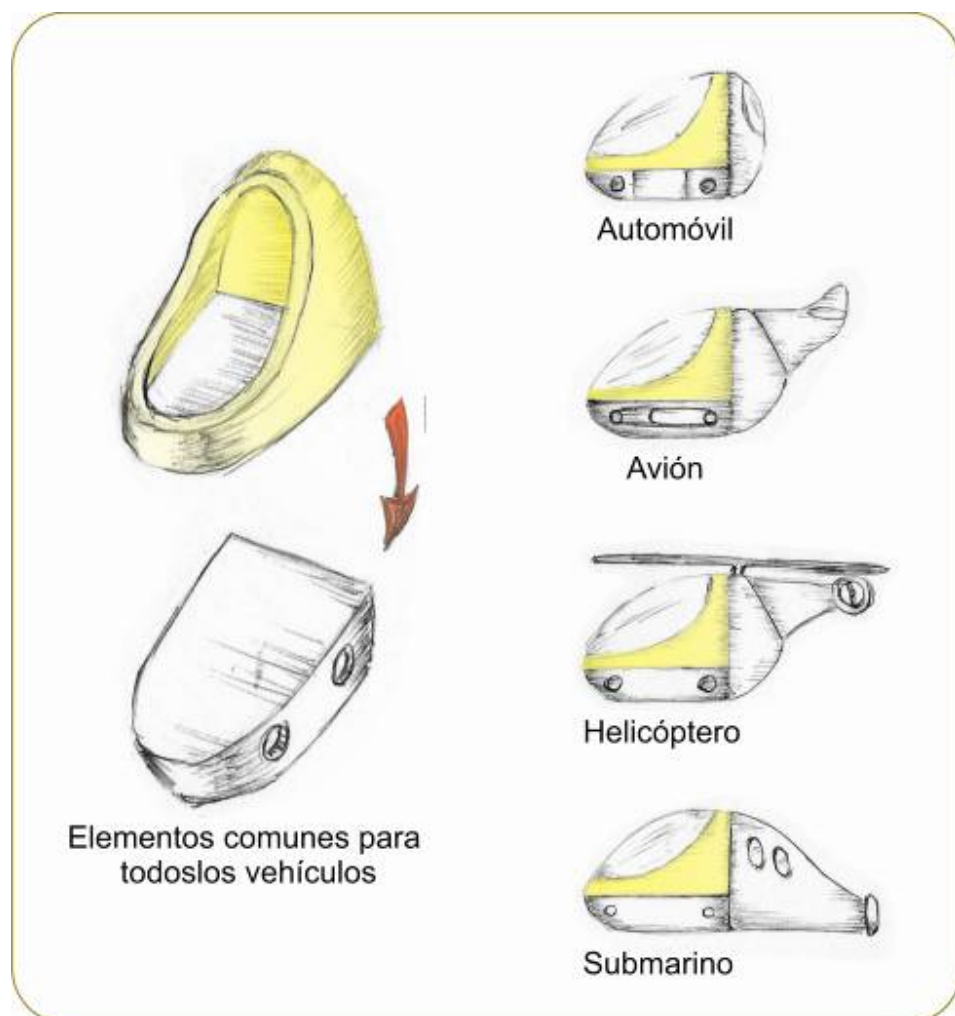
Figura 187. Planos de Configuración Tridimensional Esférica



### 6.3 ALTERNATIVA 3

La avispa se divide principalmente en cabeza, tórax y abdomen y es partiendo de estas partes que se realiza la tercera alternativa donde se contempla la elaboración de vehículos segmentados a través de diversos módulos. Se escoge trabajar con vehículos debido al enorme interés que despiertan en los niños.

Figura 188. Planos de Conector en Forma de Cruz con Brazos a 90°



Después de realizar propuestas bidimensionales se procedió a modelar tridimensionalmente en plastilina algunas partes de los vehículos.

Figura 189. Cabina y Plataforma Base para Varios Vehículos



Figura 190. Cabina, Plataforma Base y Complemento Trasero para Automóvil



Figura 191. Configuración Tridimensional del Auto



Figura 192. Ensamble de Pieza para Avión y Helicóptero



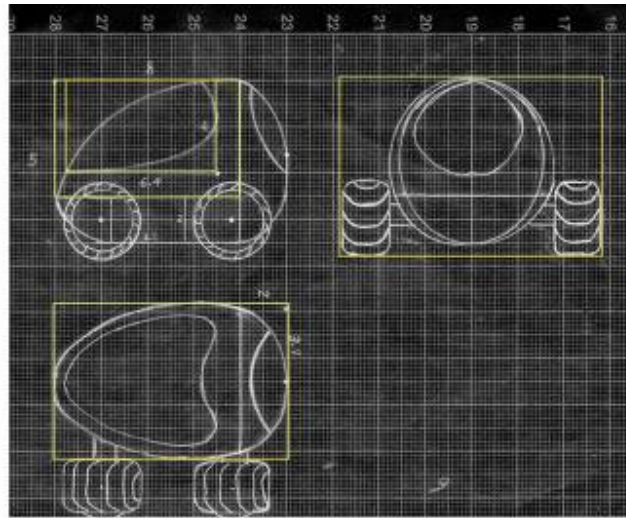
Figura 193. Configuración Tridimensional de Helicóptero, Submarino y Avión



Aunque los vehículos presentan una aceptable configuración tridimensional, es necesario simplificar el número de piezas y hacerlas lo más funcionales posibles. Por ejemplo, el submarino presenta una parte trasera muy grande y sólo sirve para ese modelo. También hay que estudiar la posibilidad de mejorar el sistema de ensamble de módulos y los espesores de los mismos.

Fue necesario un rediseño de los vehículos en cuanto a formas y proporciones; ésta última se hizo con el fin de mantener una correlación con las cifras halladas en la avispa a través del análisis del rectángulo dorado y las proporciones áureas.

Figura 194. Proporción Dorada en el Automóvil



Vista Lateral

Dimensión: 8 x 5 unidades	Dimensión: 6.4 x 4 unidades
$8/5 = 1.6$ $5/8 = 0.625$	$6.4/4 = 1.6$ $4/6.4 = 0.625$

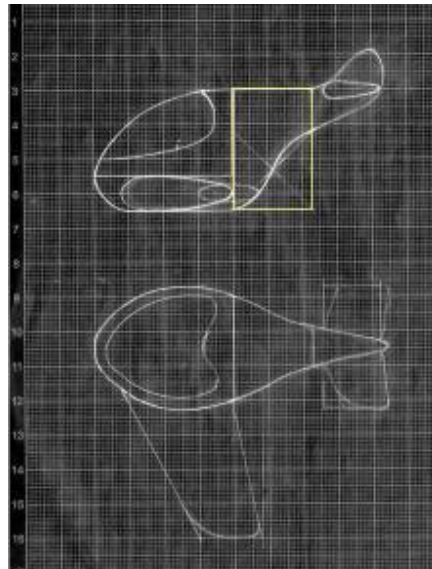
Vista Frontal

Dimensión: 11.2 x 7.6 unidades	Dimensión: 10 x 6.4 unidades
$11.2/7.6 = 1.473$ $7.6/11.2 = 0.678$	$10/6.4 = 1.562$ $6.4/10 = 0.64$

Vista Superior

También se aplicaron a piezas de los demás vehículos. En el caso del avión se simplificaron piezas como la que muestra el rectángulo dorado y estas medidas se realizan en hojas milimetradas para lograr una mayor precisión al llevar el modelado al computador.

Figura195. Proporción Dorada en el Diseño del Avión



Vista Lateral

Dimensión: 7 x 4.4 unidades

$$7/4.4 = 1.590$$

$$4.4/7 = 0.628$$

Para esta parte del proceso de diseño se usó el programa Solid Edge versión 14 y los modelos partieron del estudio de los bocetos que se aprecian en la figura 196. El programa utilizado no facilita la creación fácil de formas orgánicas, razón por la cual el modelamiento presenta algunas limitantes.

Figura 196. Modelamiento Virtual del Automóvil, Avión y Helicóptero

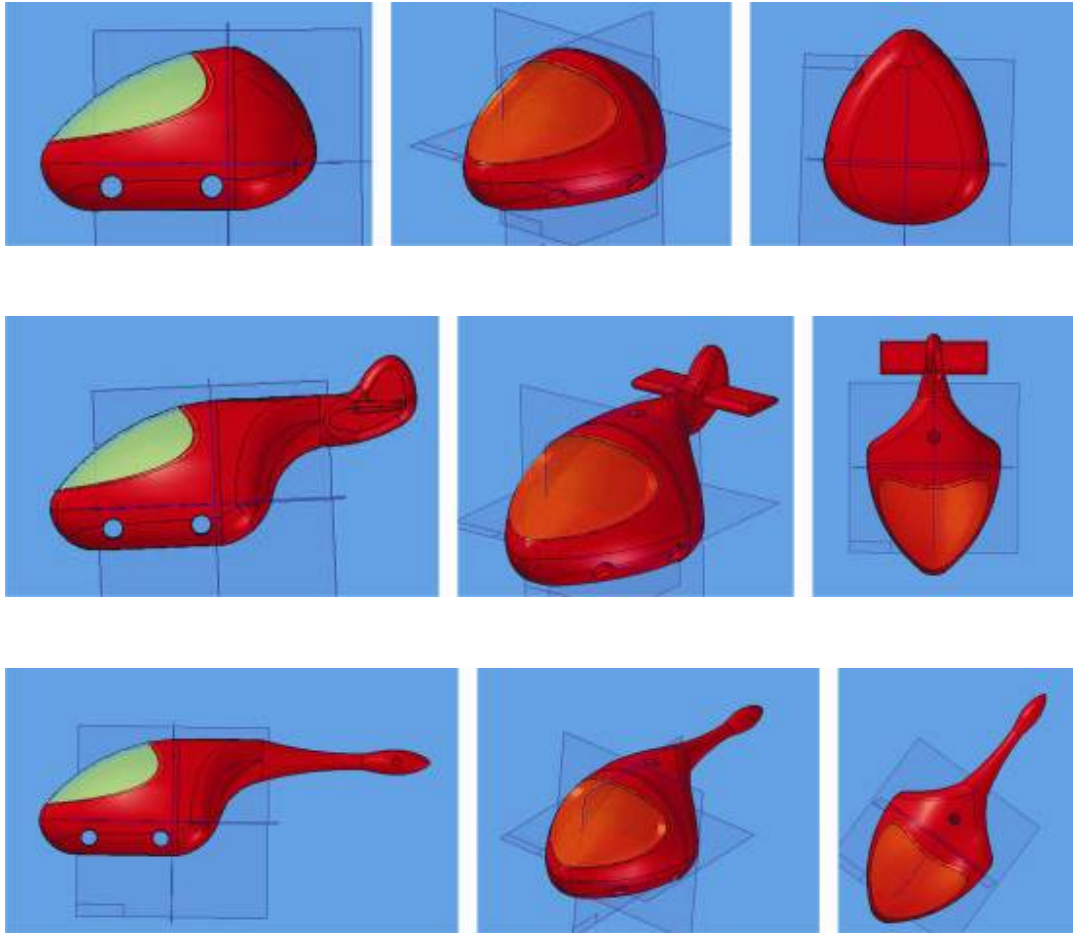
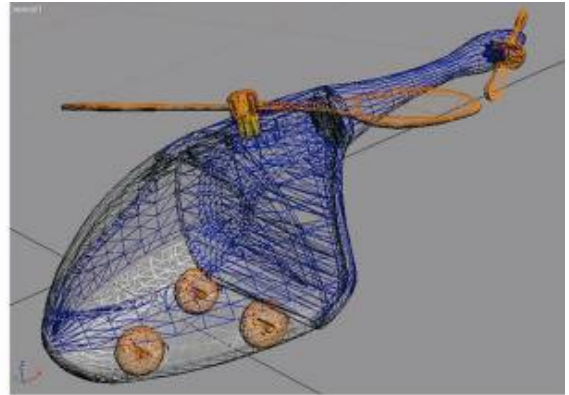
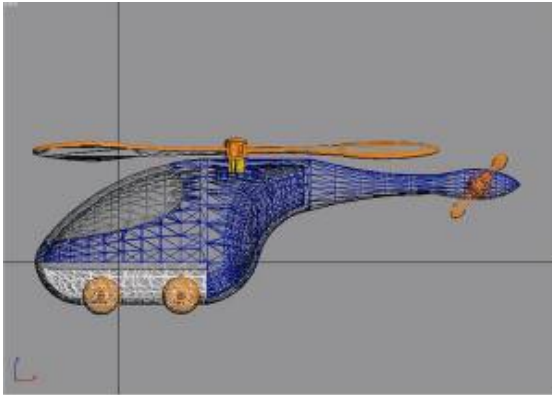
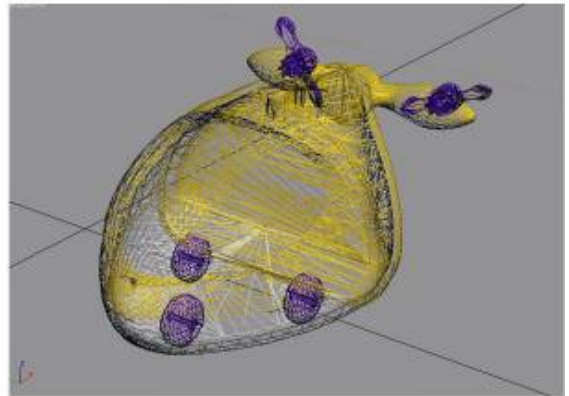
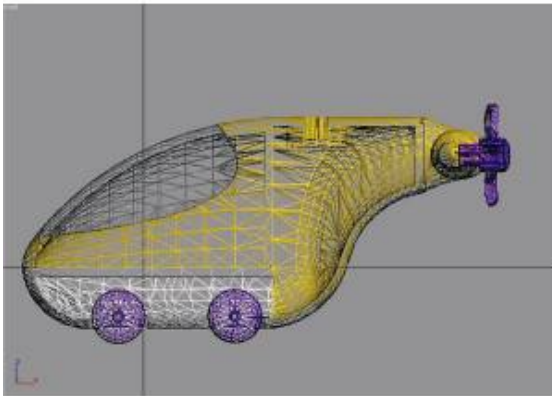


Figura 197. Modelados Llevados a 3Ds max



Helicóptero



Submarino

Figura 198. Diferentes Perspectivas del Modelado del Helicóptero



Figura 199. Diferentes Perspectivas del Modelado del Automóvil

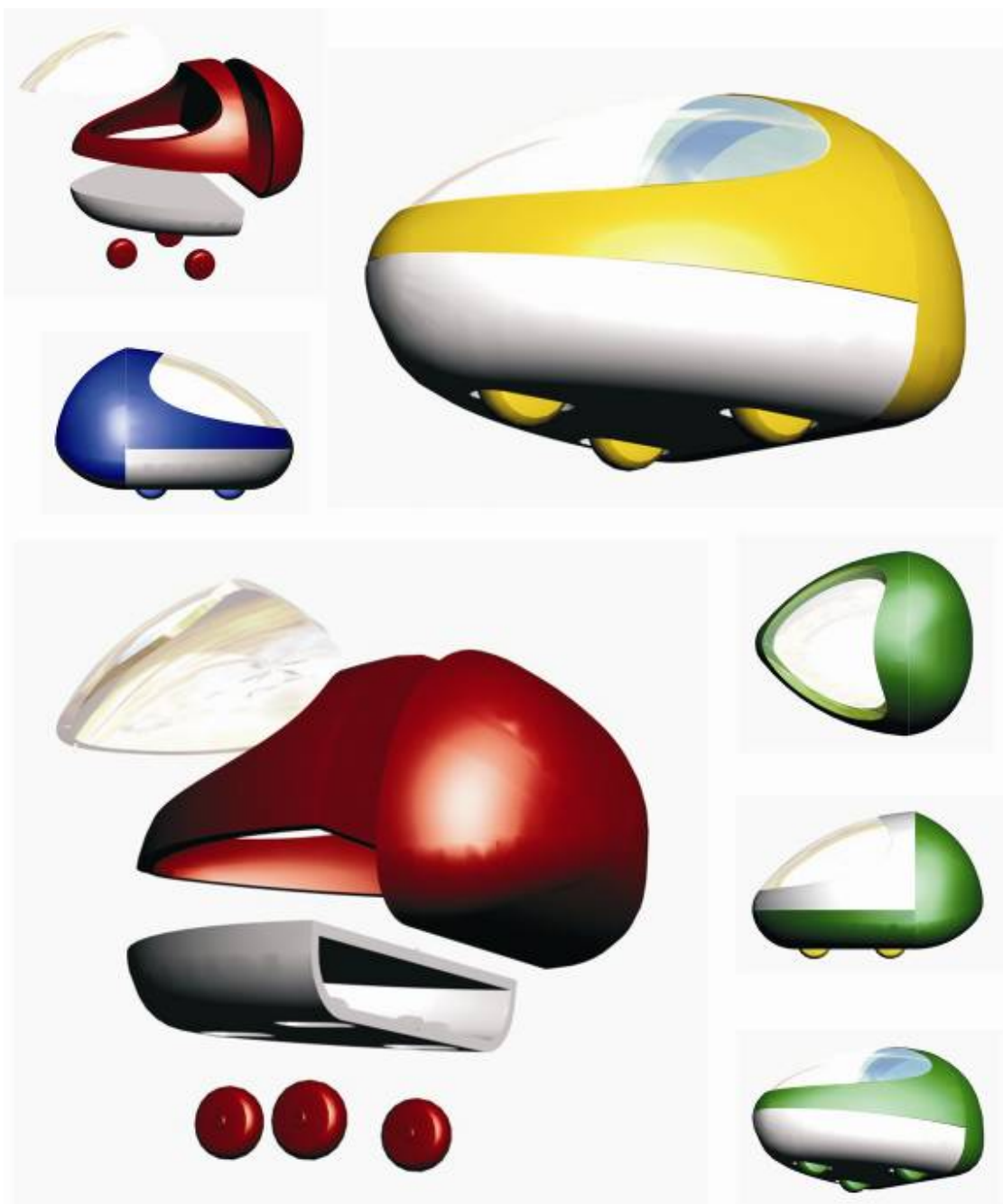


Figura 200. Diferentes Perspectivas del Modelado del Avión

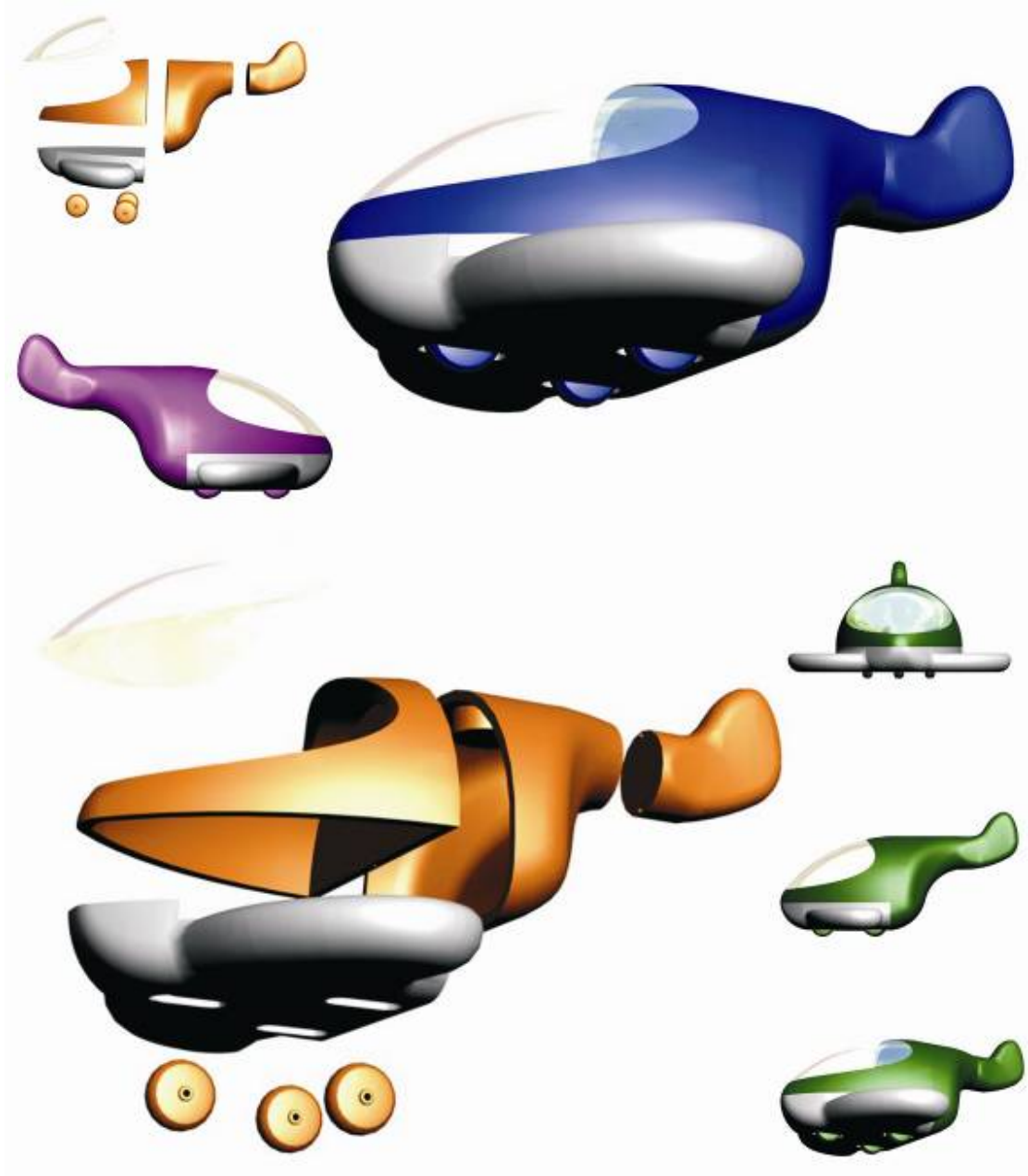


Figura 201. Diferentes Perspectivas del Modelado del Avión Bimotor

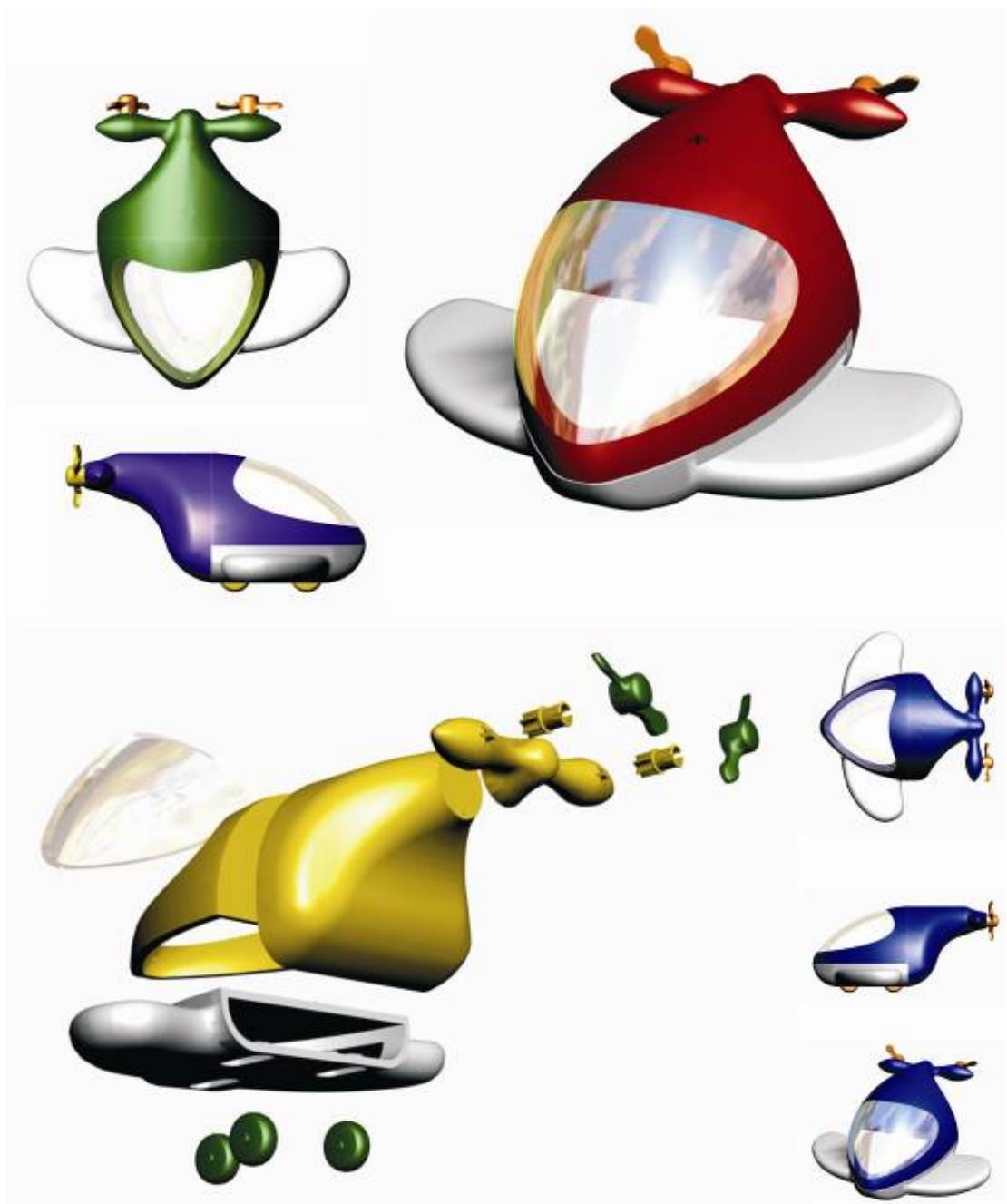
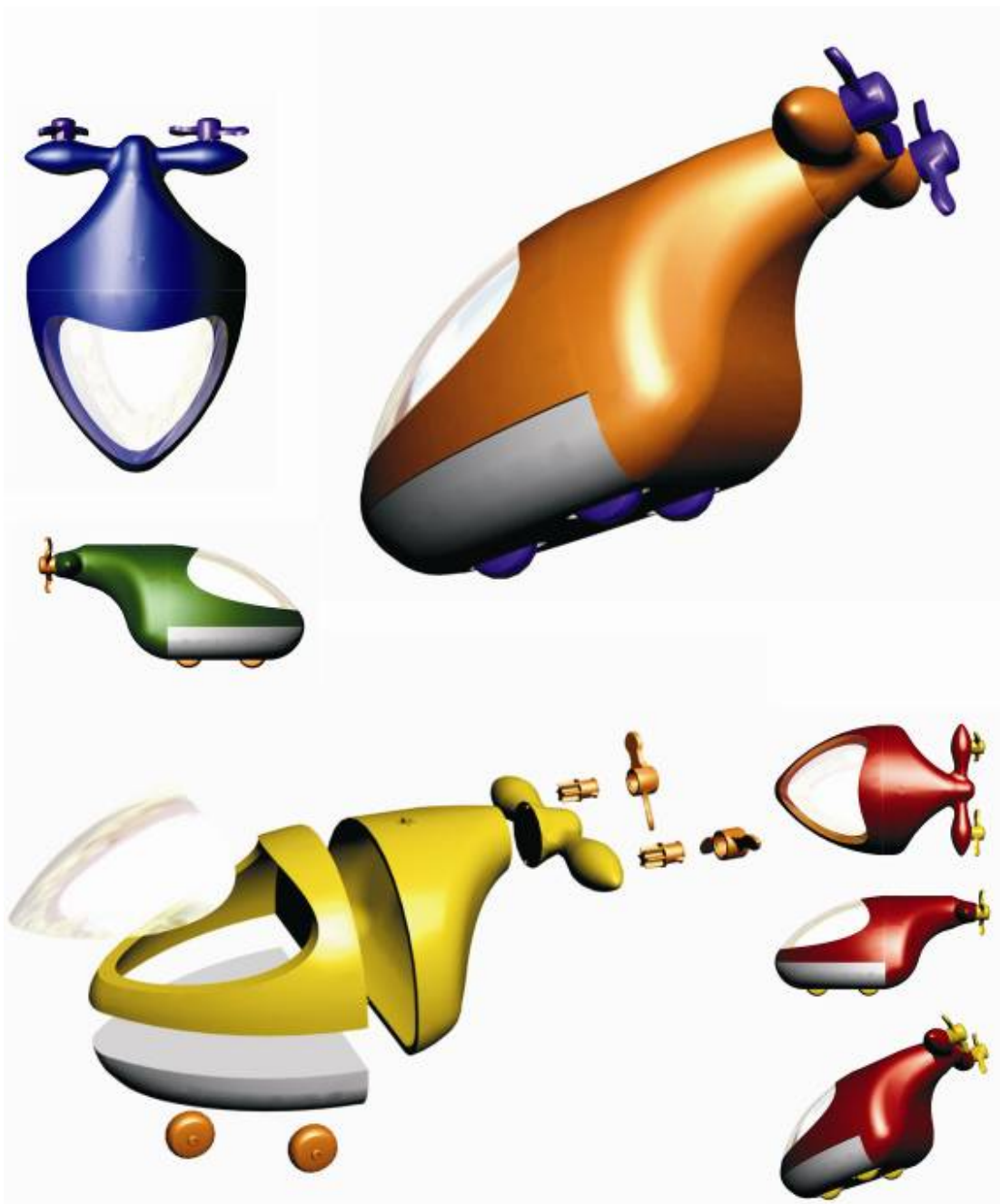


Figura 202. Diferentes Perspectivas del Modelado de la Camioneta



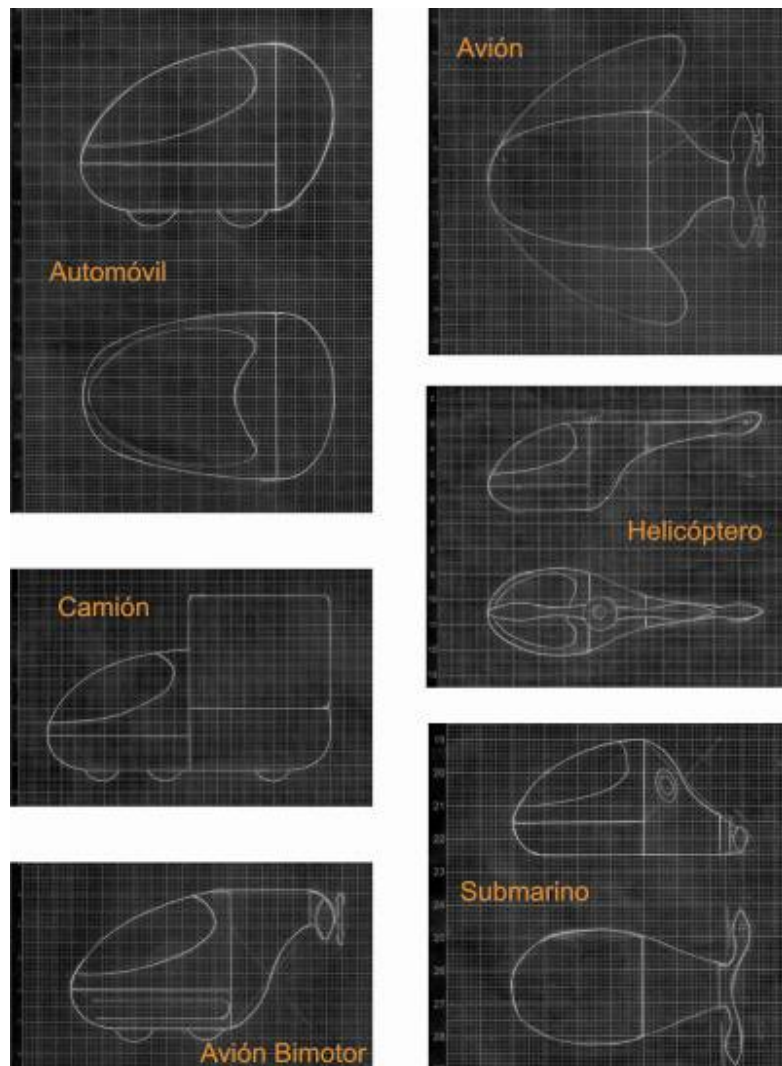
Figura 203. Diferentes Perspectivas del Modelado del Submarino



Para mejorar la apariencia y funcionalidad de los juguetes se decidió modelarlos en Rhinoceros V4, software que permite la creación de formas orgánicas con mayor facilidad. Para facilitar la diagramación con este programa se recurre

nuevamente al uso de hojas milimetradas para lograr una mayor precisión en las dimensiones del animal de estudio.

Figura 204. Diagramación de Vehículos en Hojas Milimetradas



En la figura 205 se observa el modelado en malla realizado en Rhinoceros V4.

Figura 205. Modelado en Malla de Vehículos

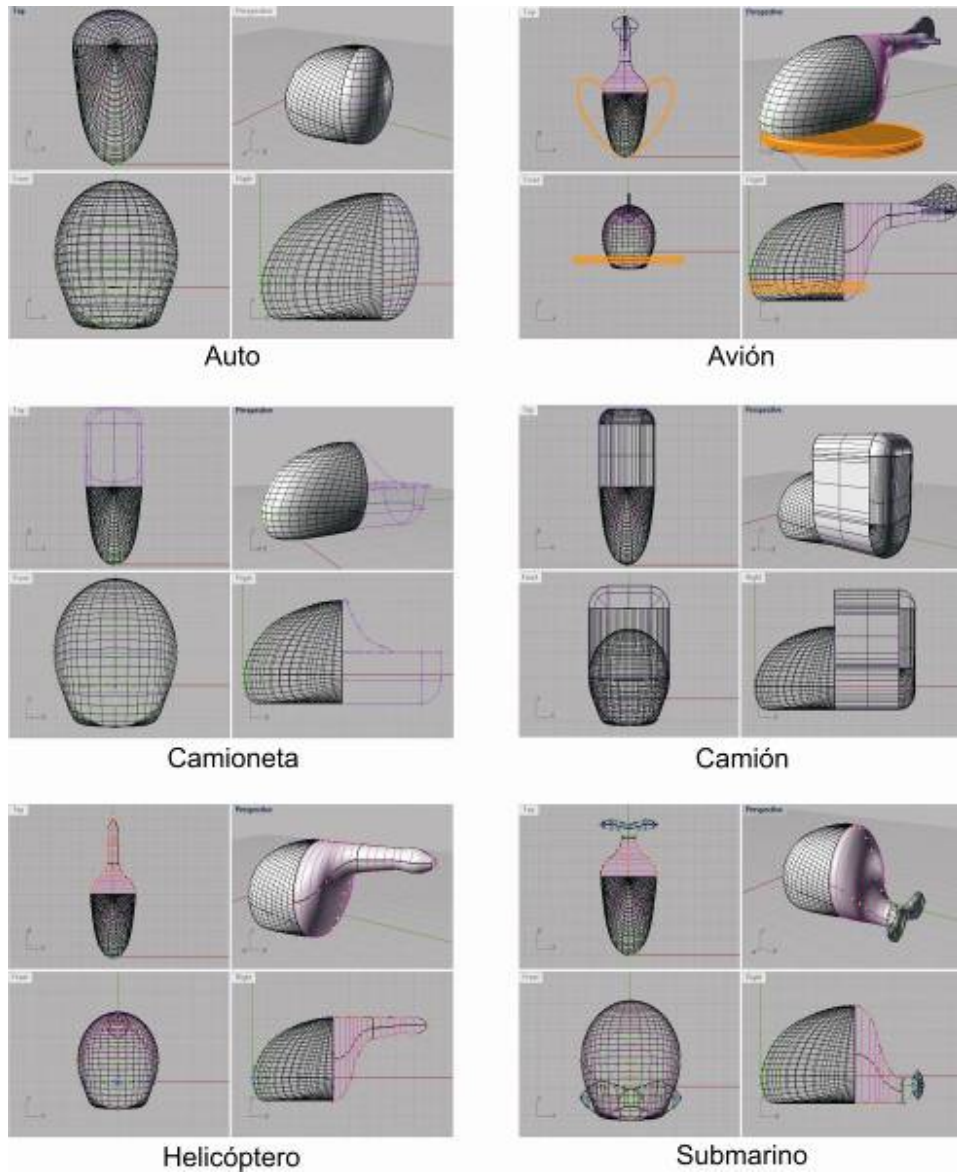


Figura 206. Modelado de Automóvil, Submarino y Helicóptero

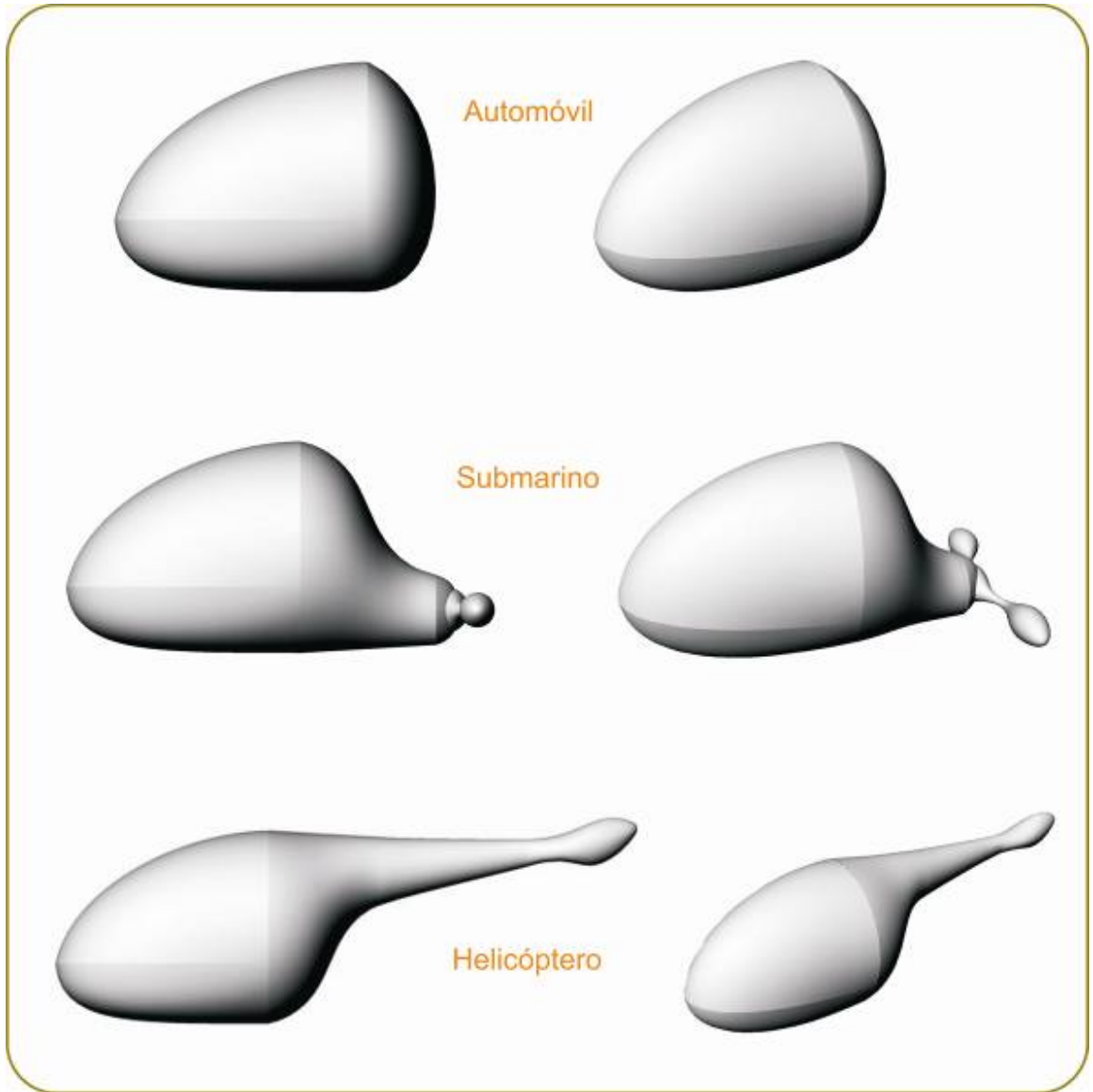
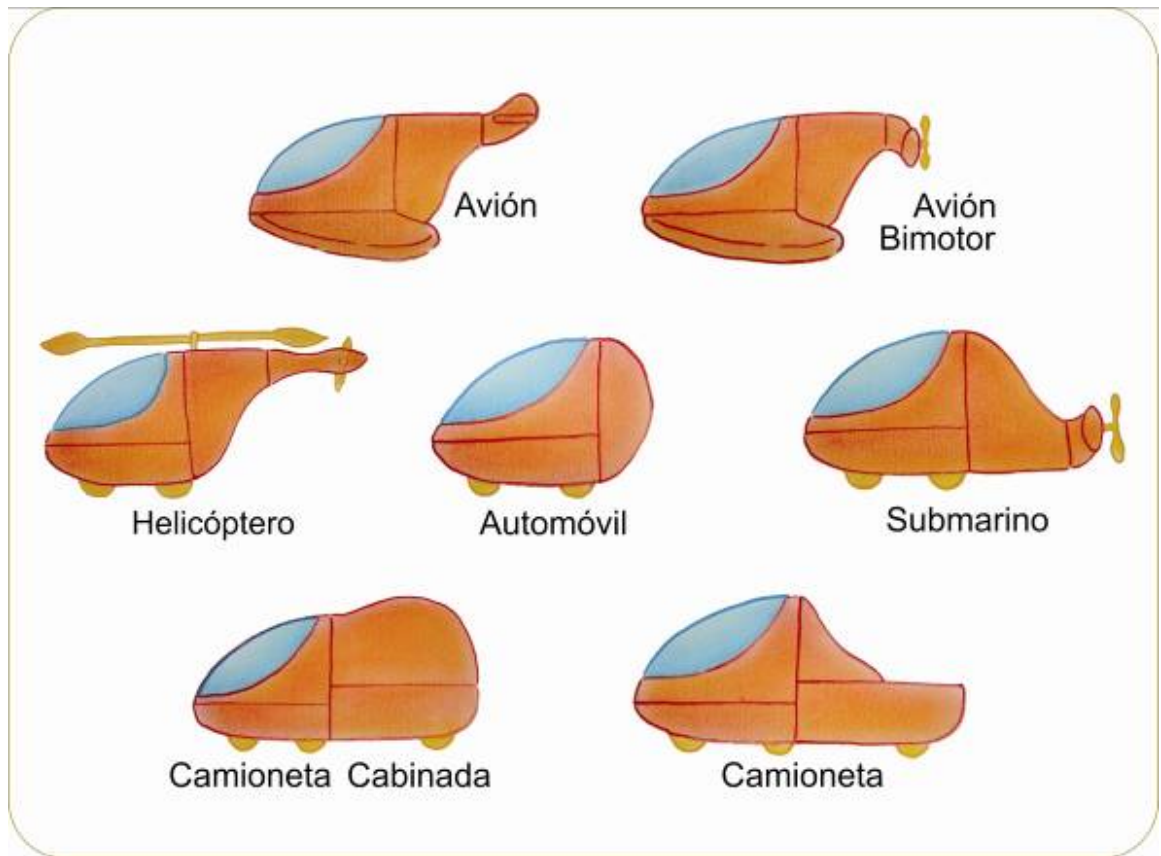


Figura 207. Bocetos con Evolución de Vehículos



En este momento del proyecto se toma la decisión de anexar una posibilidad más a la familia de vehículos que es la camioneta cabinada. La misma cumple con los parámetros de proporción establecidos para los demás juguetes.

Figura 208. Esquema Milimetrado de la Camioneta en sus Dos Versiones

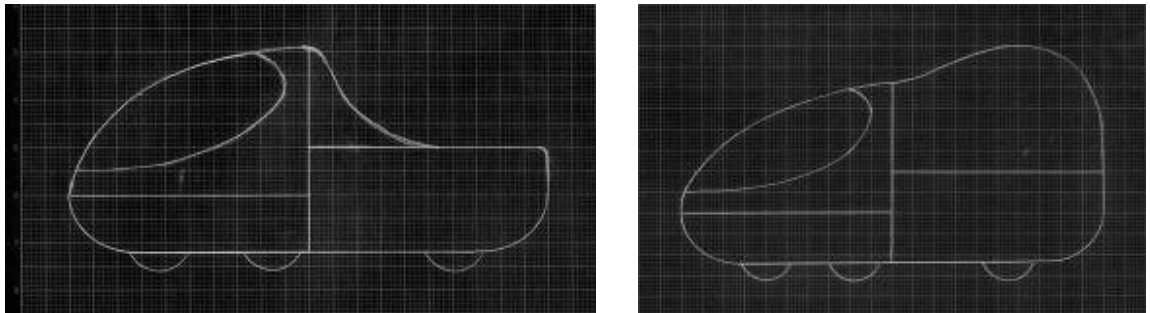
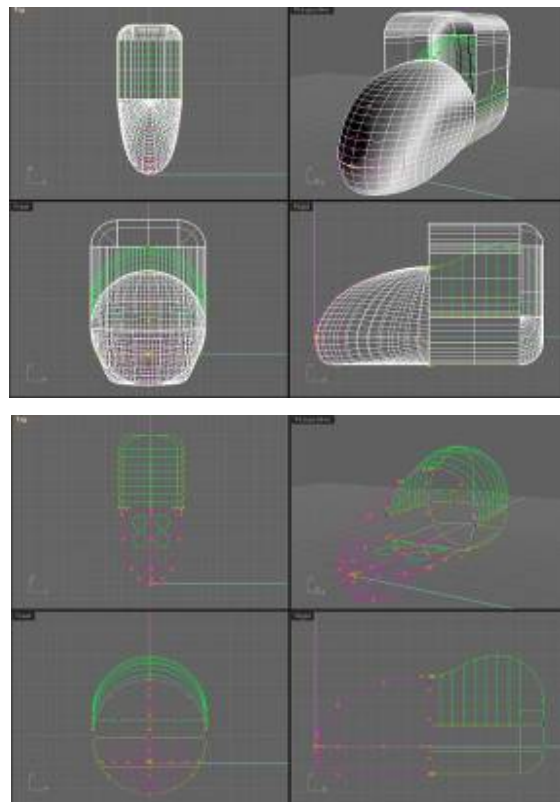


Figura 209. Nueva Versión de la Camioneta



Se plantea la creación de una serie de personajes para lograr introducirlos dentro de los vehículos, se escogió una familia de cuatro integrantes compuesta de padre, madre y dos hijos. La figura 210 muestra el modelado de la familia en 3Ds max.

Figura 210. Familia de Personajes para los Vehículos



A continuación se presenta la última evolución realizada a los bocetos que trae varios cambios importantes.

En el diseño de la cabina se da un cambio de  $90^\circ$  en su disposición espacial con el fin de ahorrar espacio horizontal a lo largo de todos los vehículos. Además se reemplazaron las llantas tradicionales por esferas que semejan los ocelos de la avispa y que permiten una mayor libertad de movimiento.

Figura 211. Bocetos de la Evolución Final del Automóvil

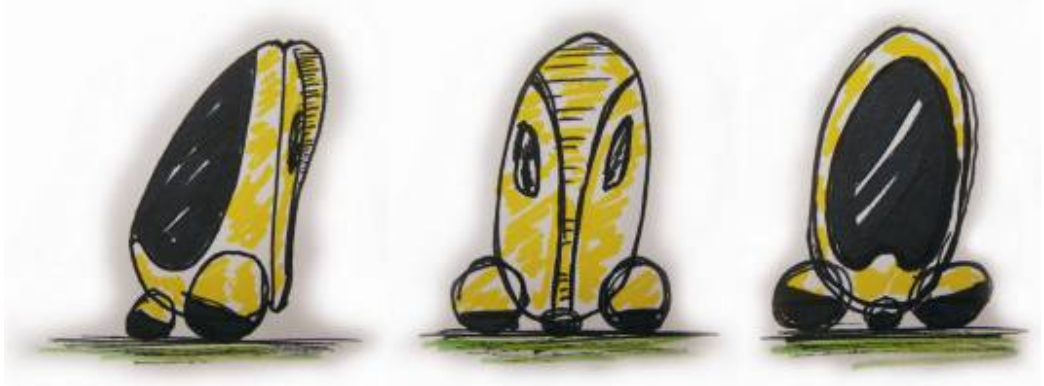


Figura 212. Bocetos de la Evolución Final de la Camioneta



Figura 213. Boceto de la Evolución Final del Helicóptero



Al submarino en la figura 214 se le agregaron unos brazos inspirados en las articulaciones de los tarsos de las patas de la avispa. De esta forma la tenaza sujetadora ubicada al final del brazo permitirá el agarre de piezas.

Figura 214. Bocetos de la Evolución Final del Submarino



En la figura 215 se muestra la evolución del avión. Entre los cambios realizados se encuentran la incorporación de una geometrización en las alas para permitir que las mismas se acoplen a los cascarones de las llantas. Este diseño se abstrae de la venación de las alas del insecto.

Figura 215. Bocetos de la Evolución Final del Avión



Figura 216. Vista de Sillas y Diferentes Tipos de Ensamblajes



Figura 217. Diferentes Perspectivas del Modelado Tridimensional del Nuevo Automóvil

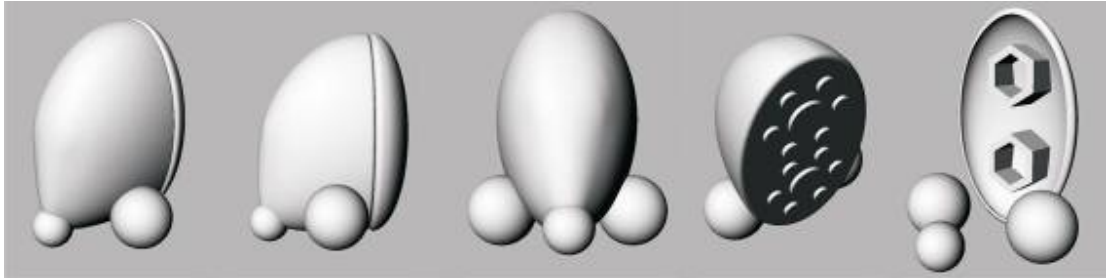
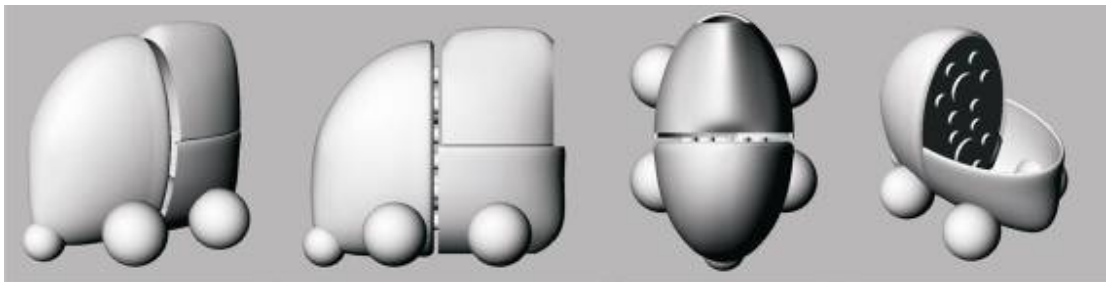


Figura 218. Diferentes Perspectivas del Modelado Tridimensional del Nuevo Helicóptero



Figura 219. Diferentes Perspectivas del Modelado Tridimensional de la Nueva Camioneta



A continuación se presentan los renderizados finales de cada uno de los vehículos con sus respectivas piezas y tipos de ensambles. Se escogieron los colores amarillo y negro para todos los modelos con el fin de mantener una coherencia con el aspecto de la avispa.

Figura 220. Renderizado Final del Automóvil



Figura 221. Renderizado Final de la Camioneta

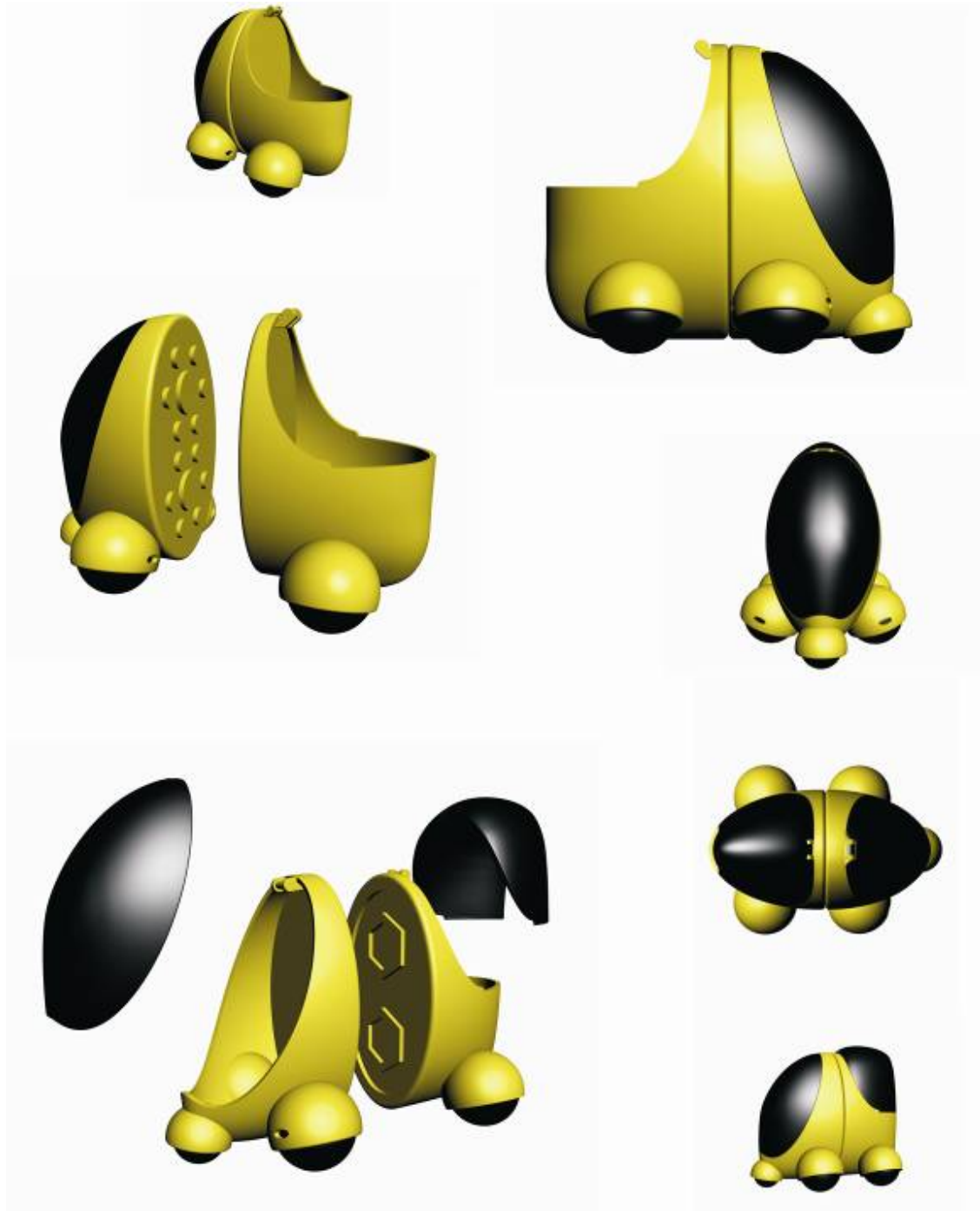


Figura 222. Renderizado Final del Avión

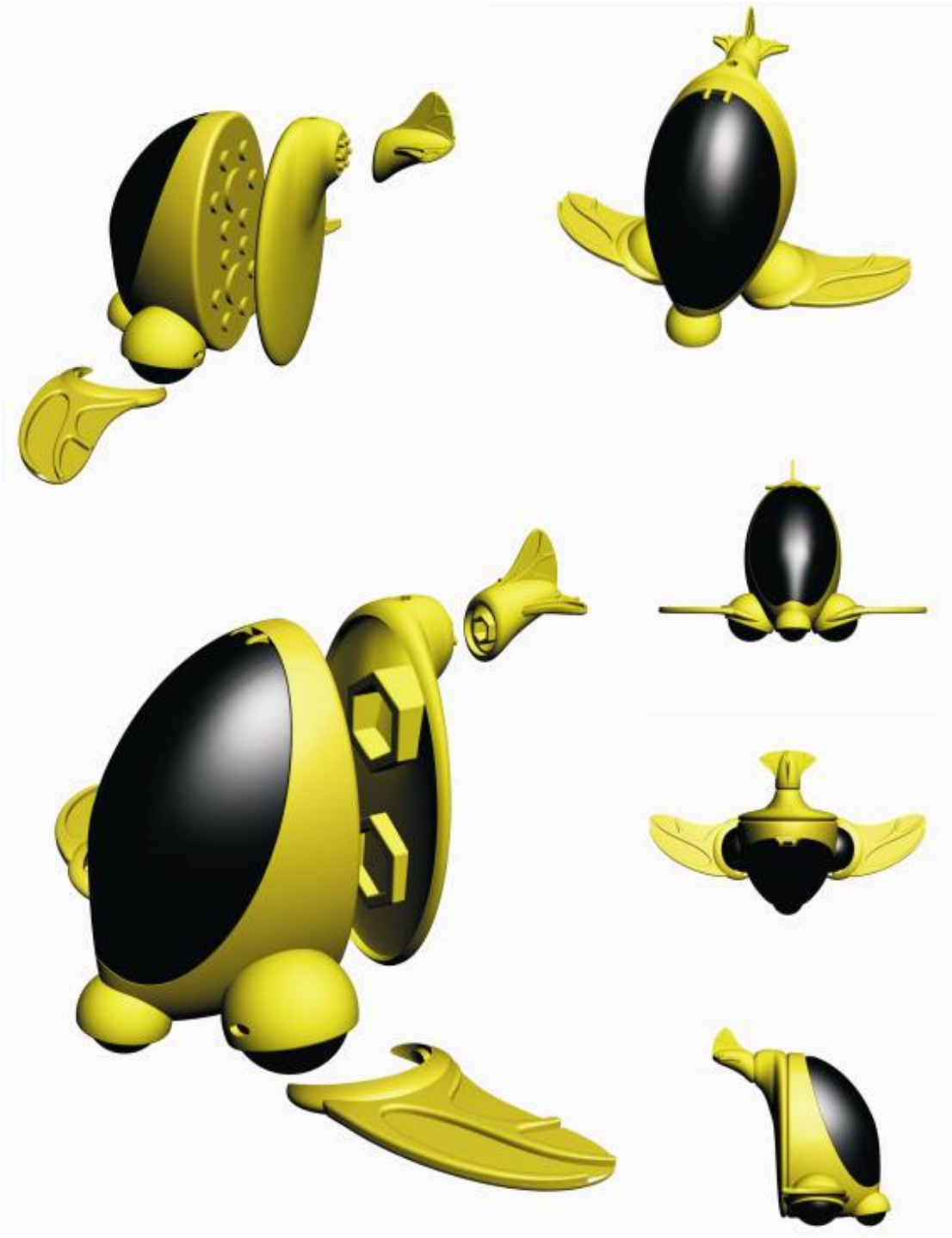


Figura 223. Renderizado Final del Avión Bimotor

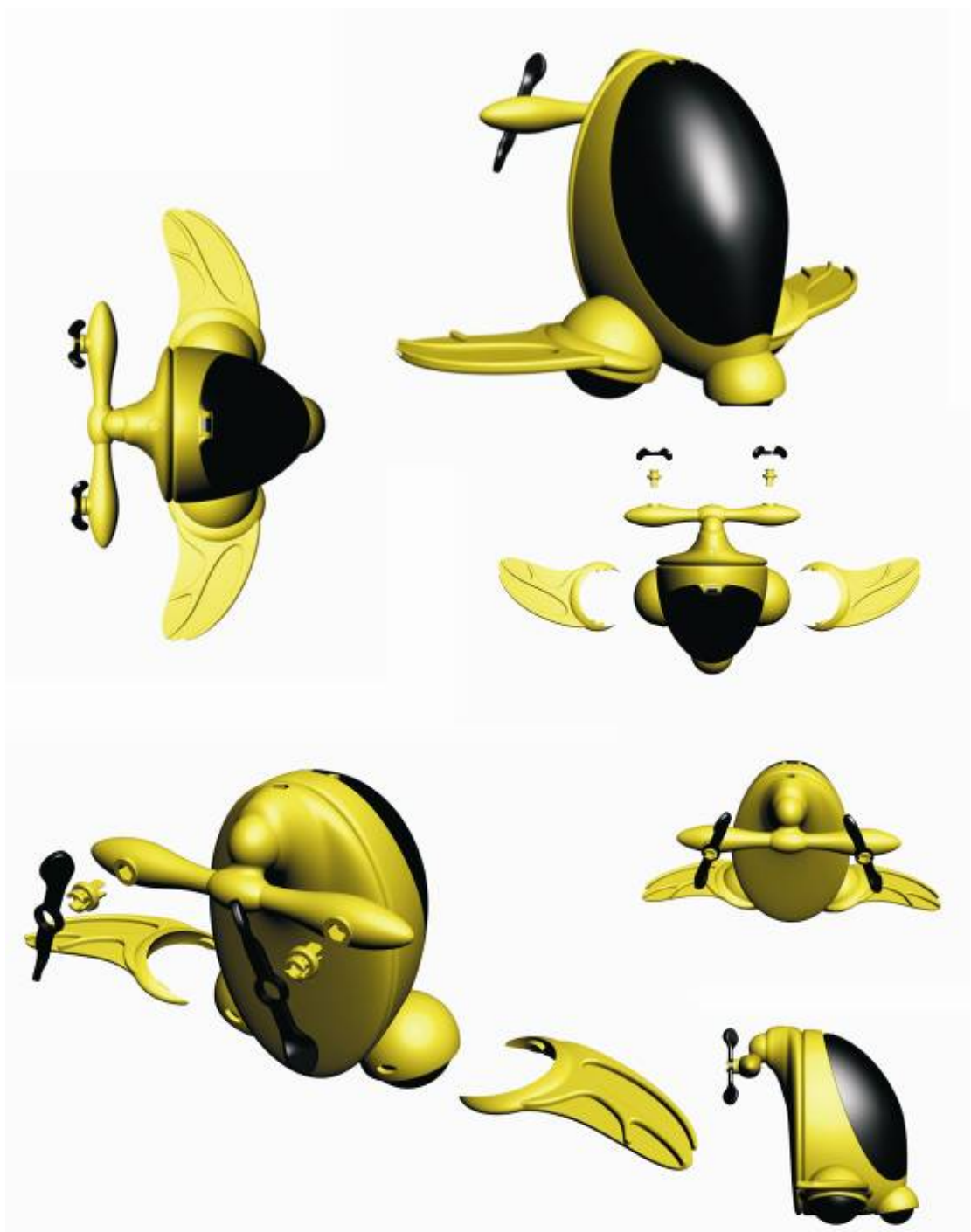


Figura 224. Renderizado Final del Helicóptero

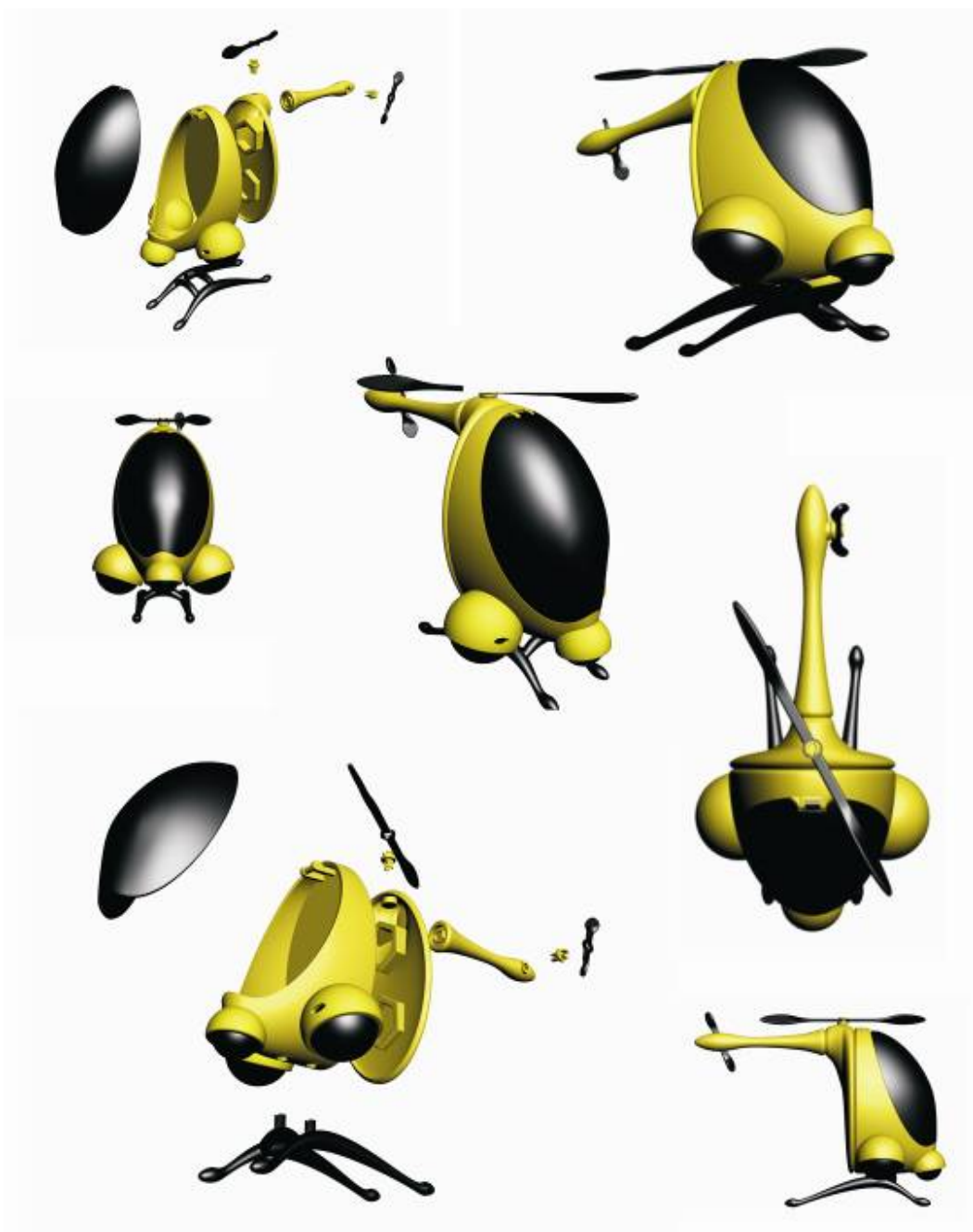


Figura 225. Renderizado Final del Submarino

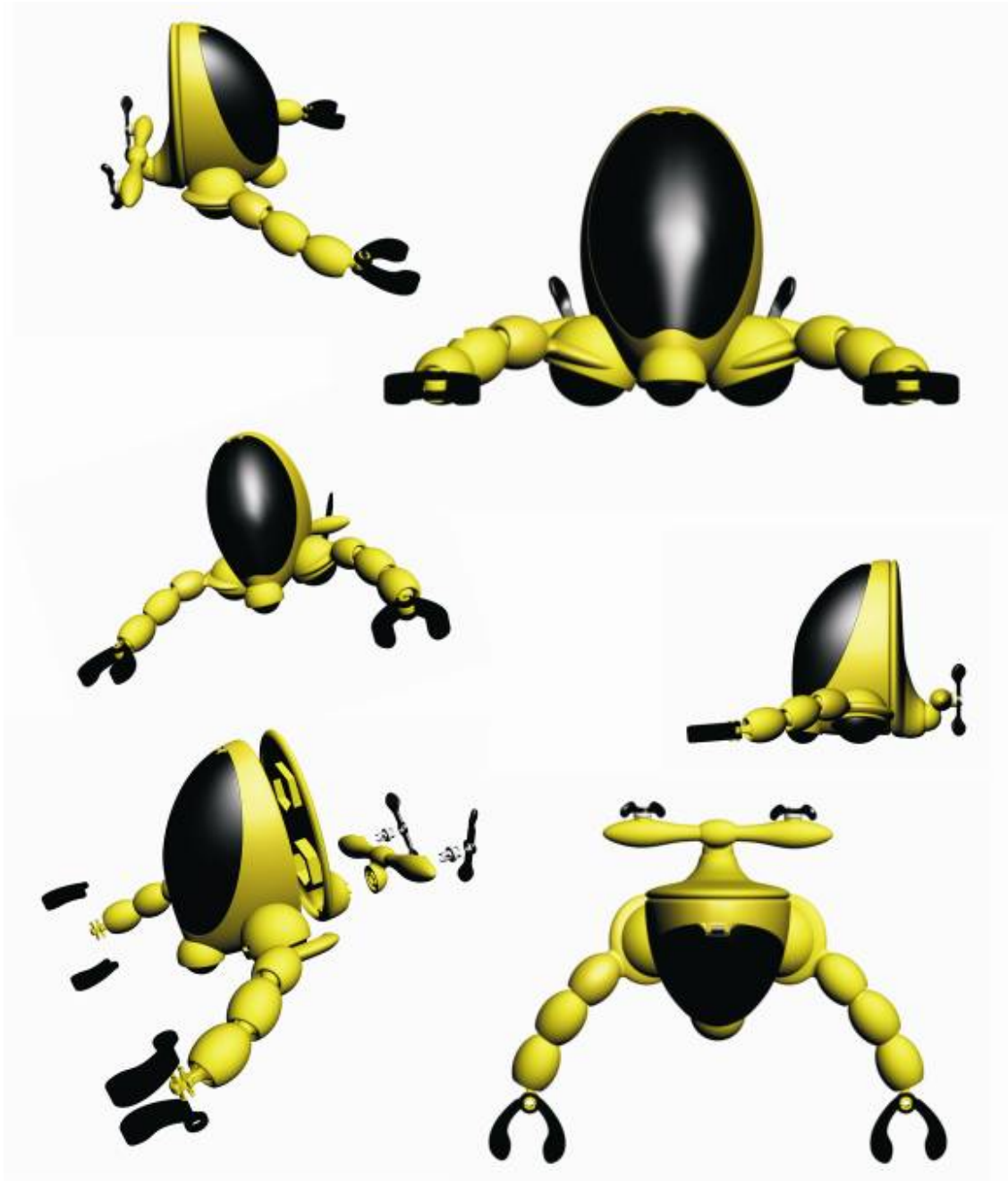


Figura 226. Planos Cabina

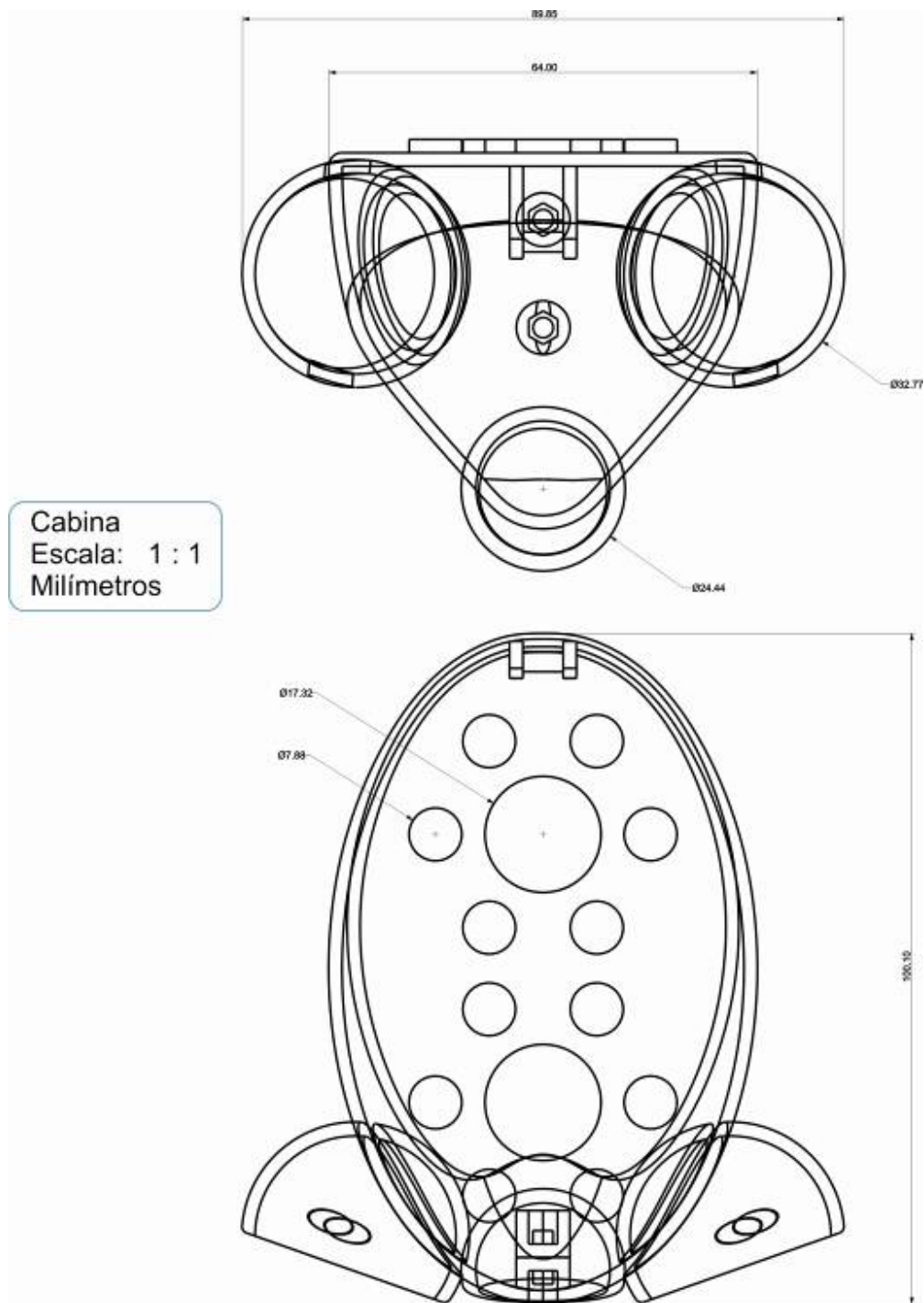


Figura 227. Planos Cabina

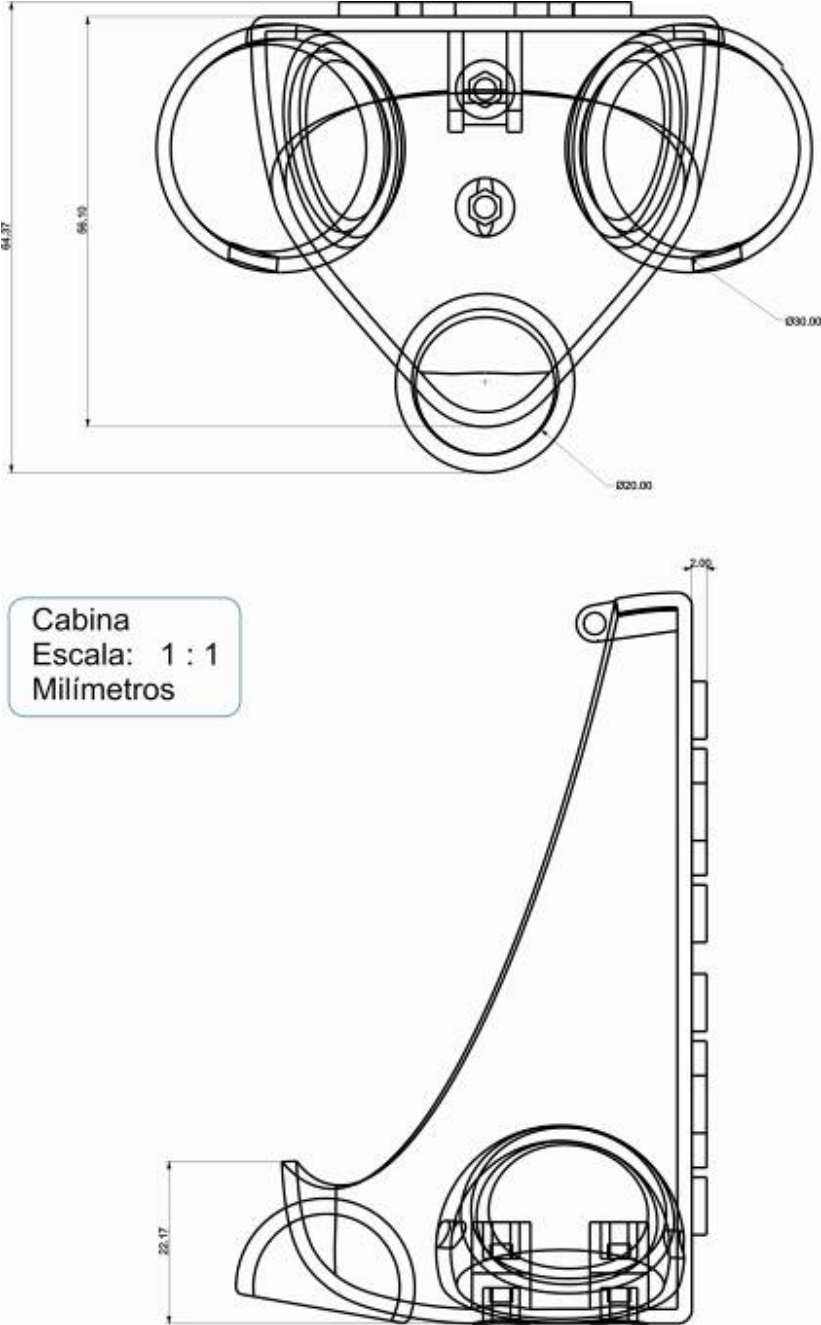


Figura 228. Planos Cabina

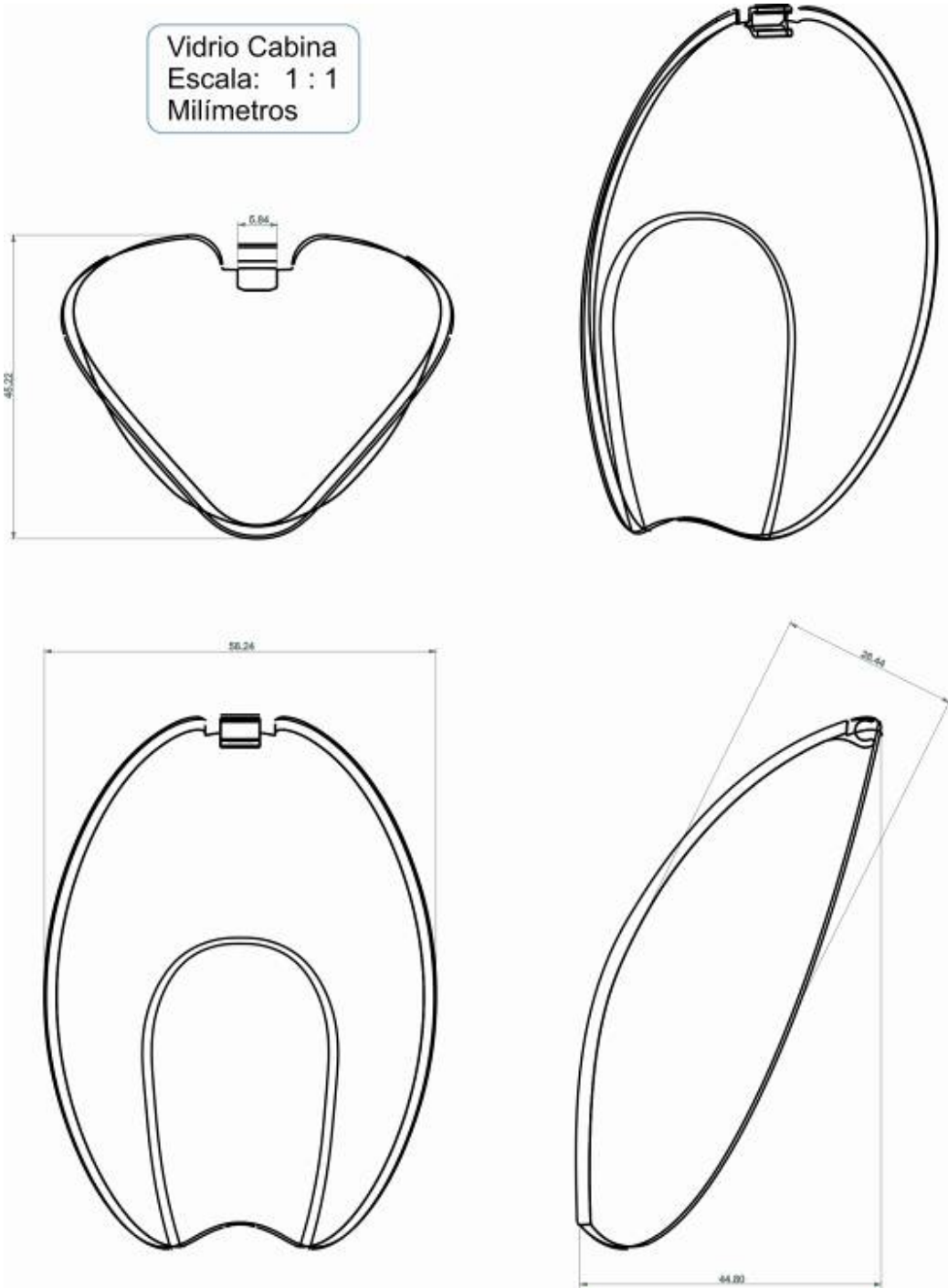


Figura 229. Planos Pieza Bifuncional

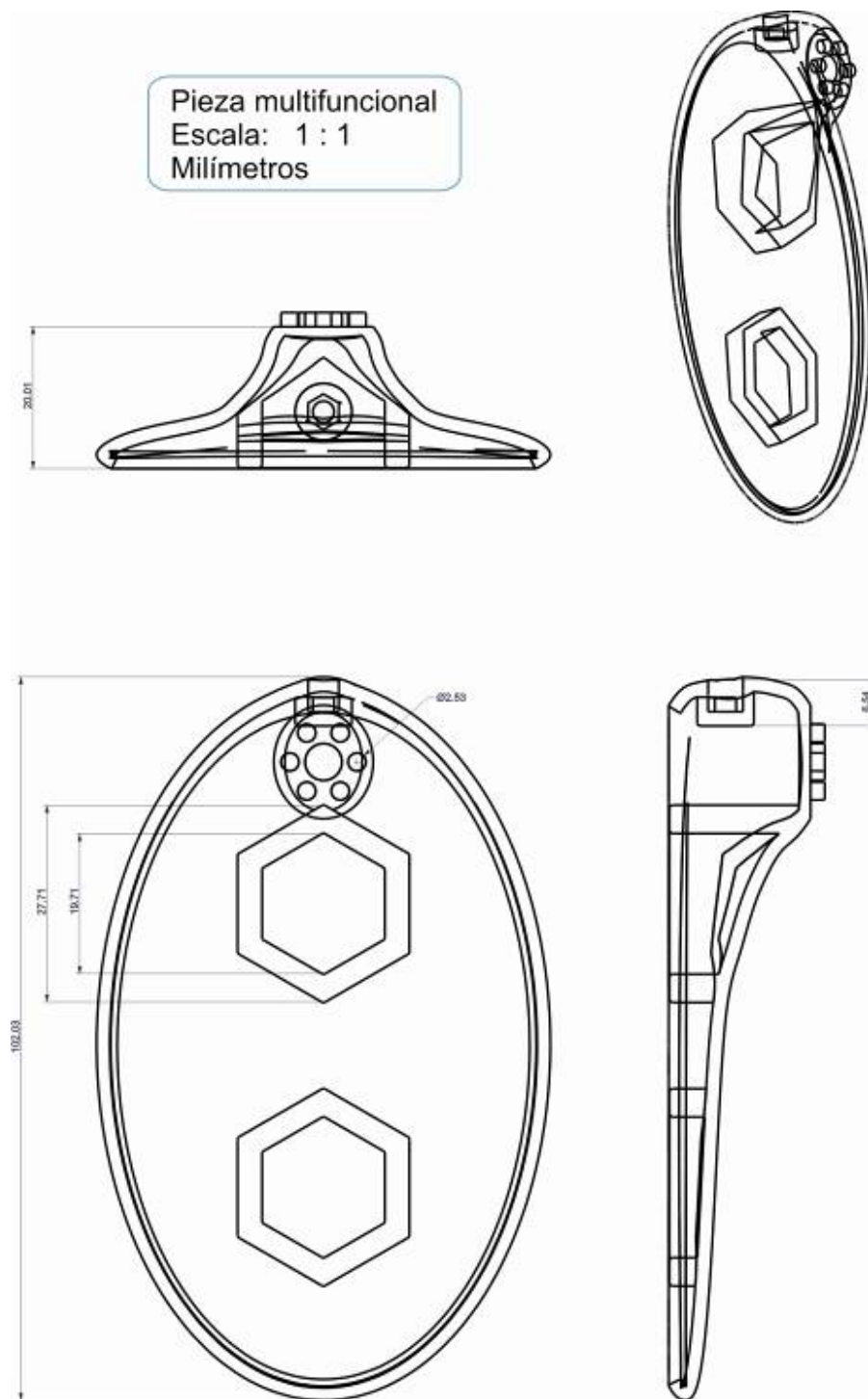


Figura 230. Planos Cola Automóvil

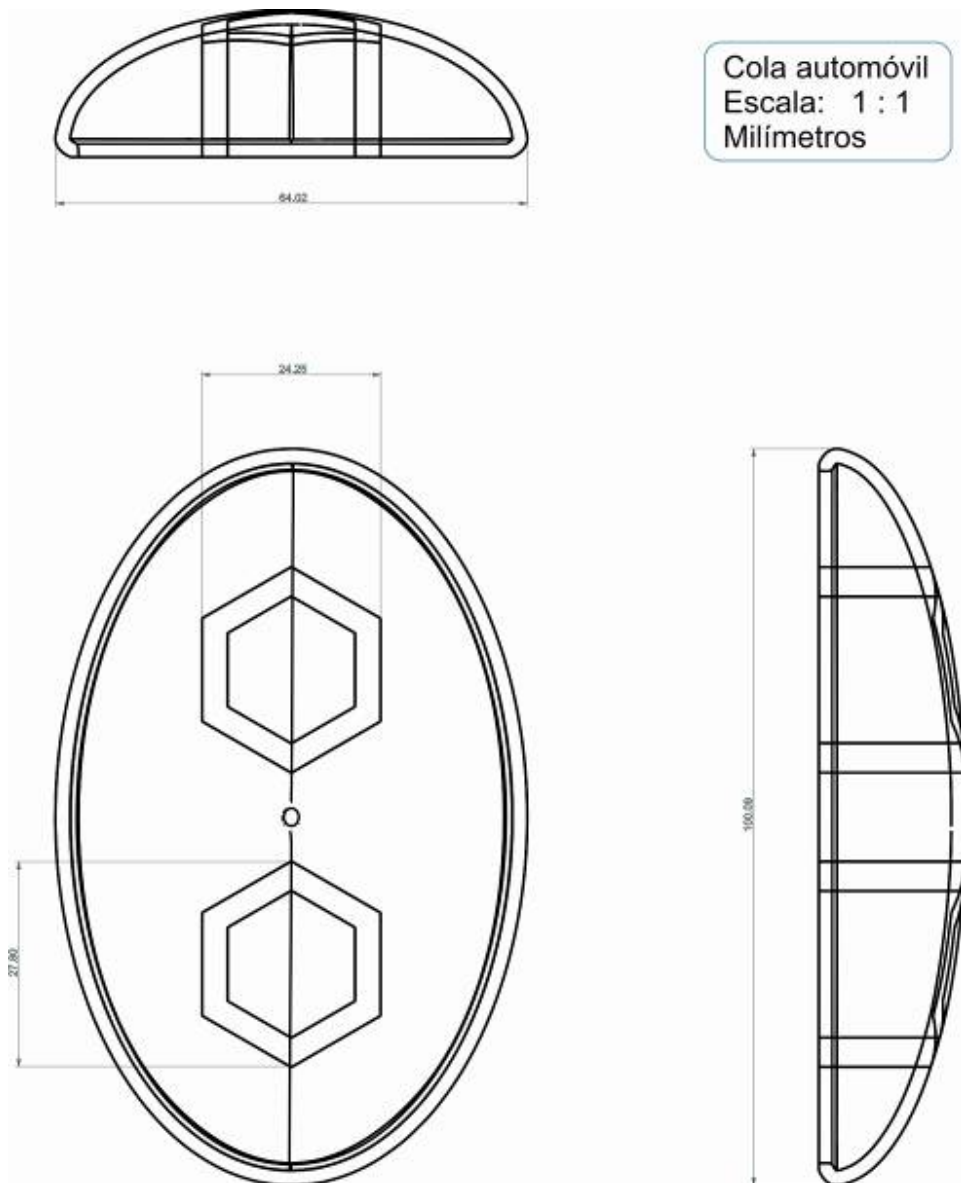


Figura 231. Planos Carcaza Camioneta

Carcaza camioneta  
Escala: 1 : 1  
Milímetros

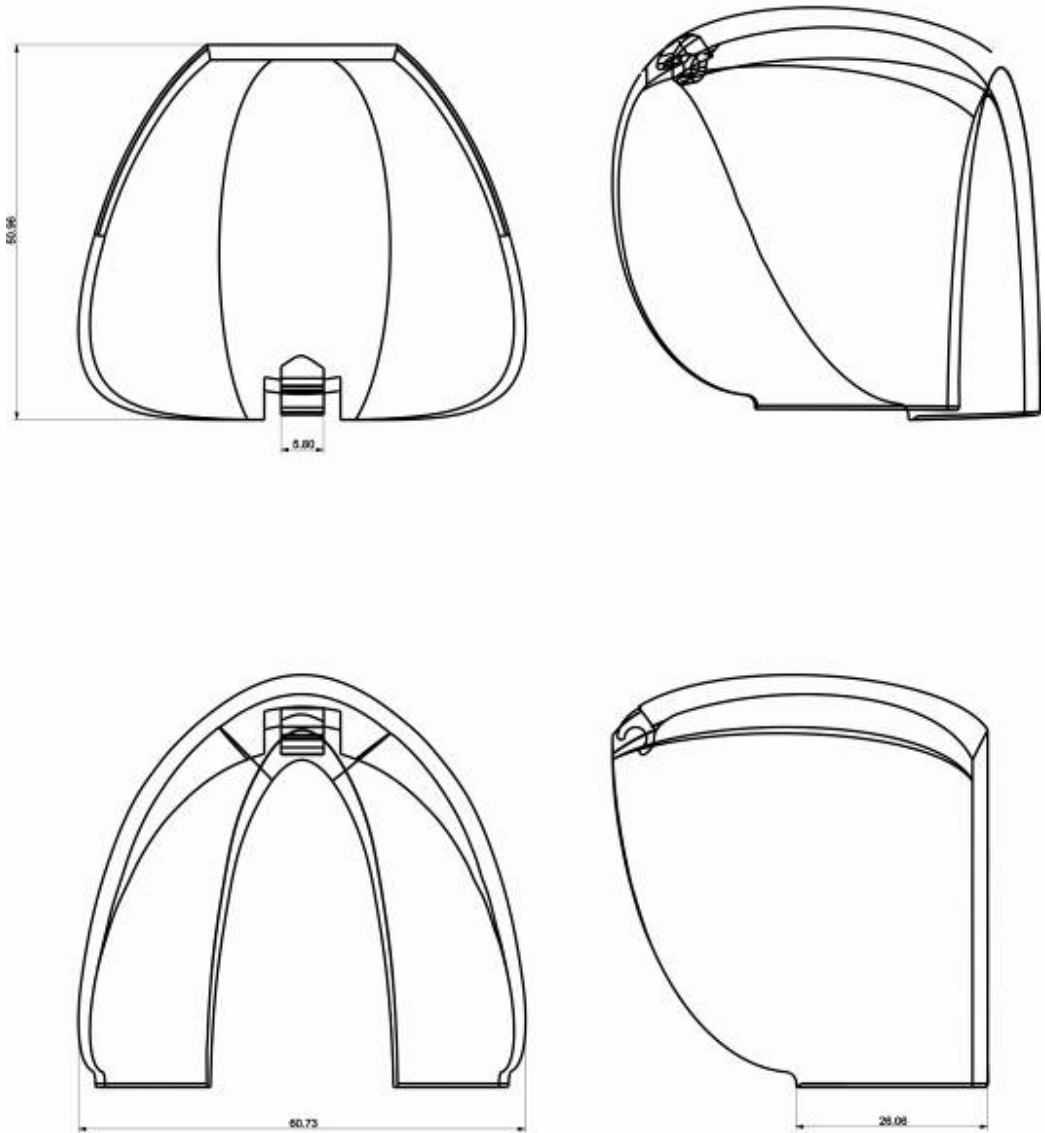


Figura 232. Planos Cola Camioneta

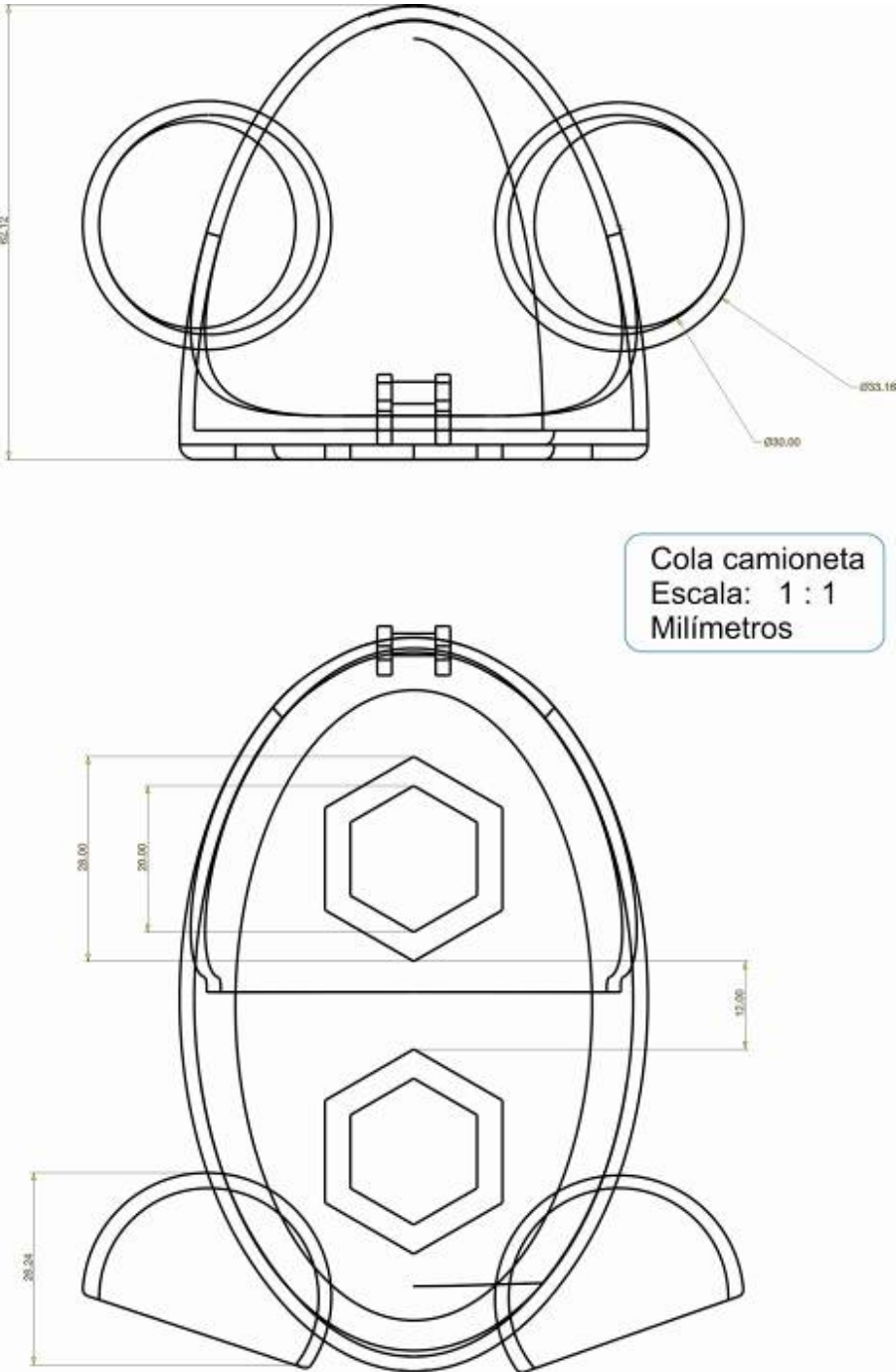


Figura 233. Planos Cola Automóvil

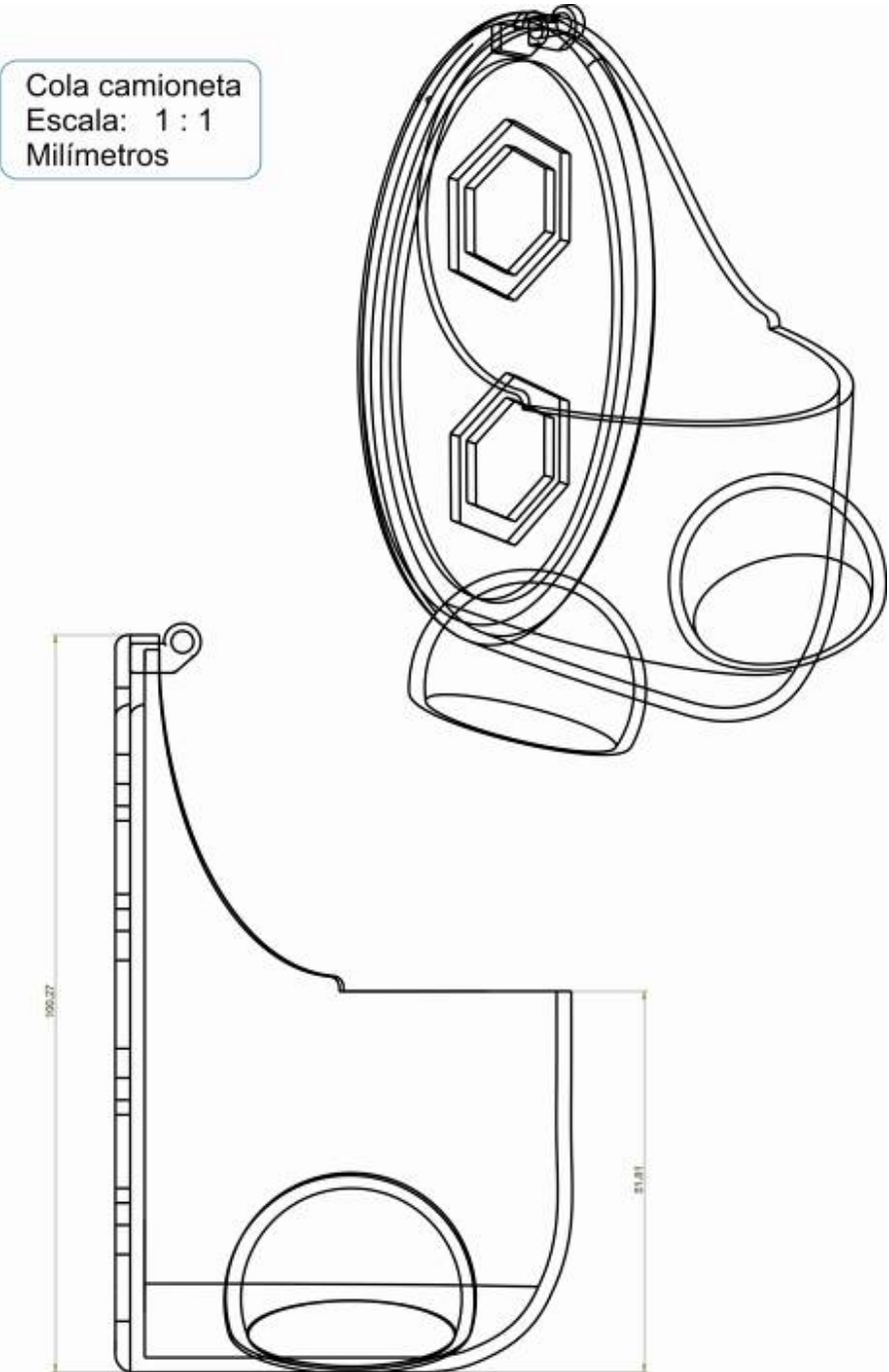


Figura 234. Planos Cola Avión

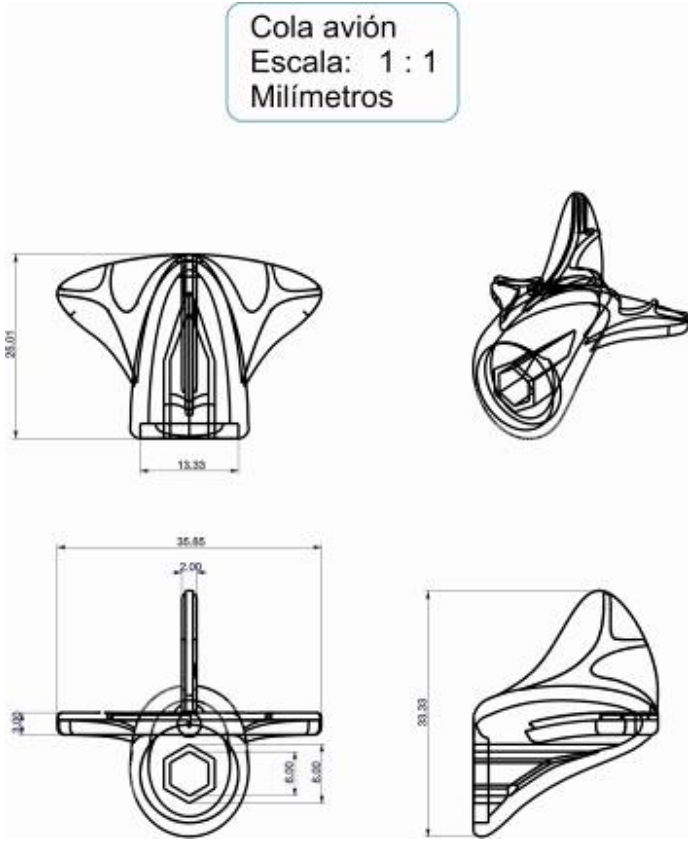


Figura 235. Planos Cola Avión y Submarino

Cola avión y submarino  
Escala: 1 : 1  
Milímetros

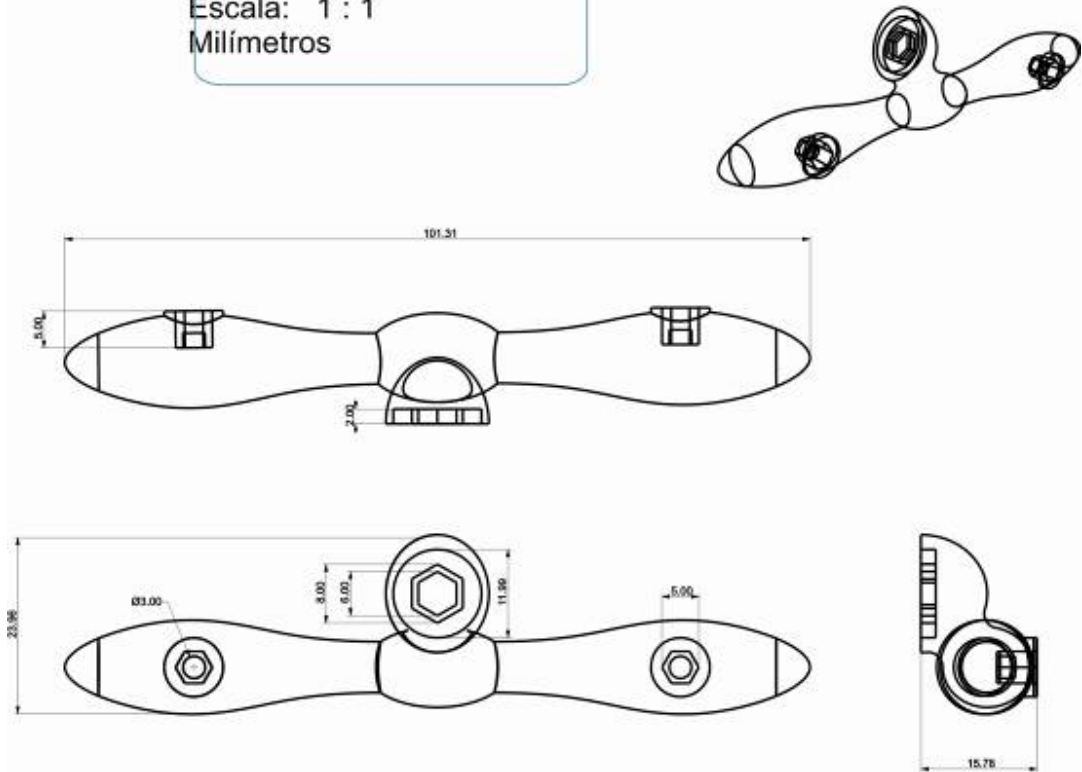
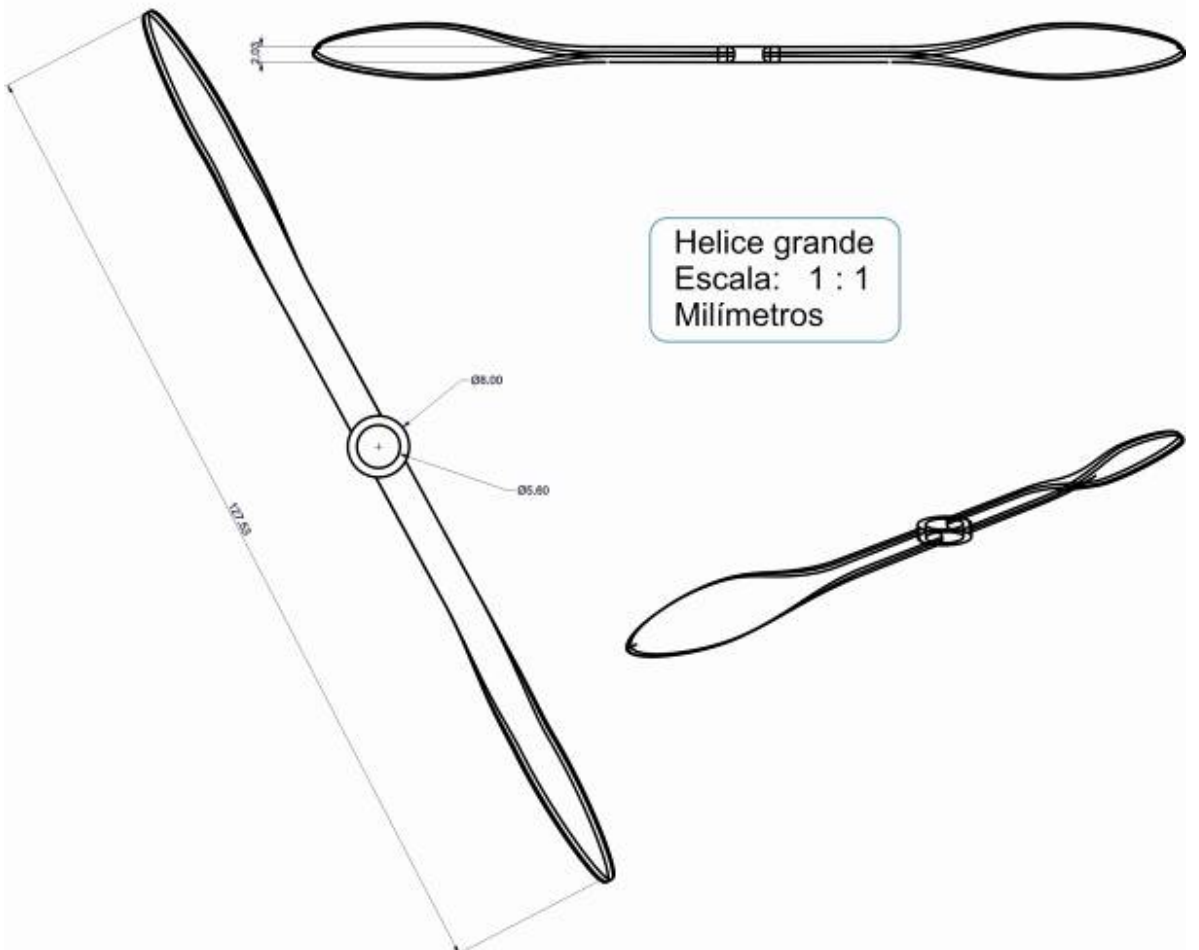
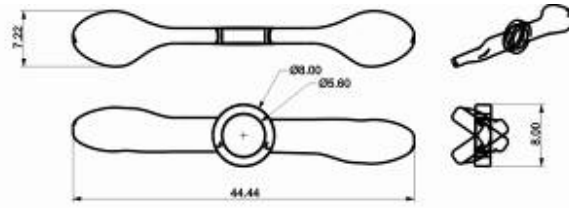


Figura 236 Planos Hélices

Helice pequeña  
Escala: 1 : 1  
Milímetros



Helice grande  
Escala: 1 : 1  
Milímetros

Figura 237. Planos Base Helicóptero

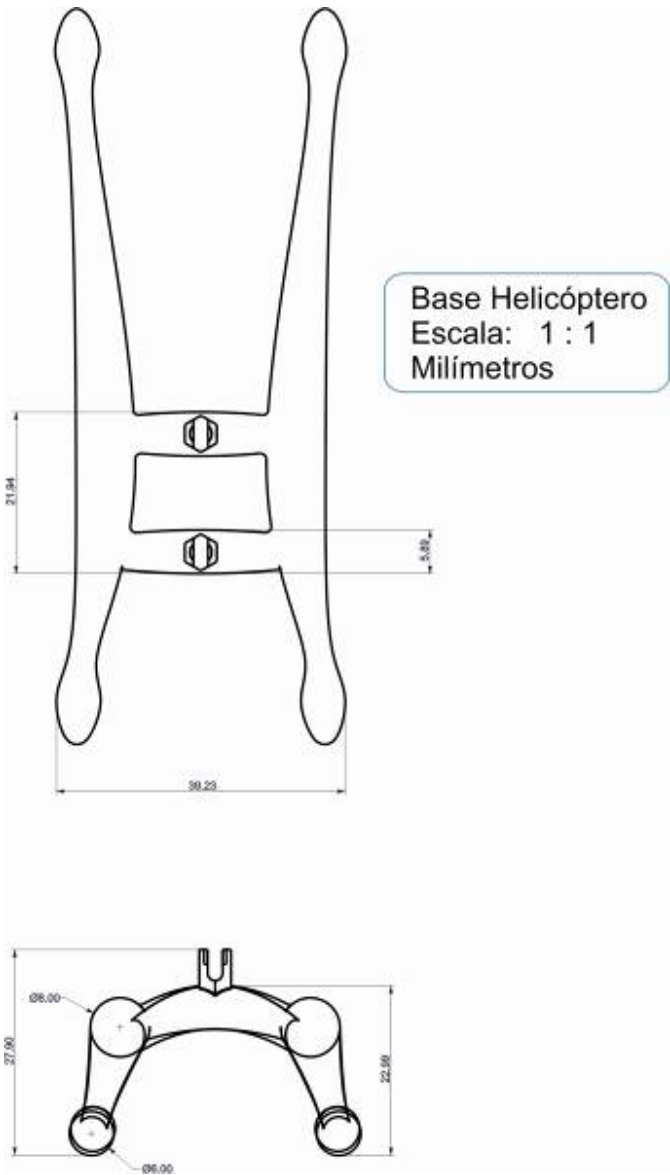


Figura 238. Planos Base Helicóptero

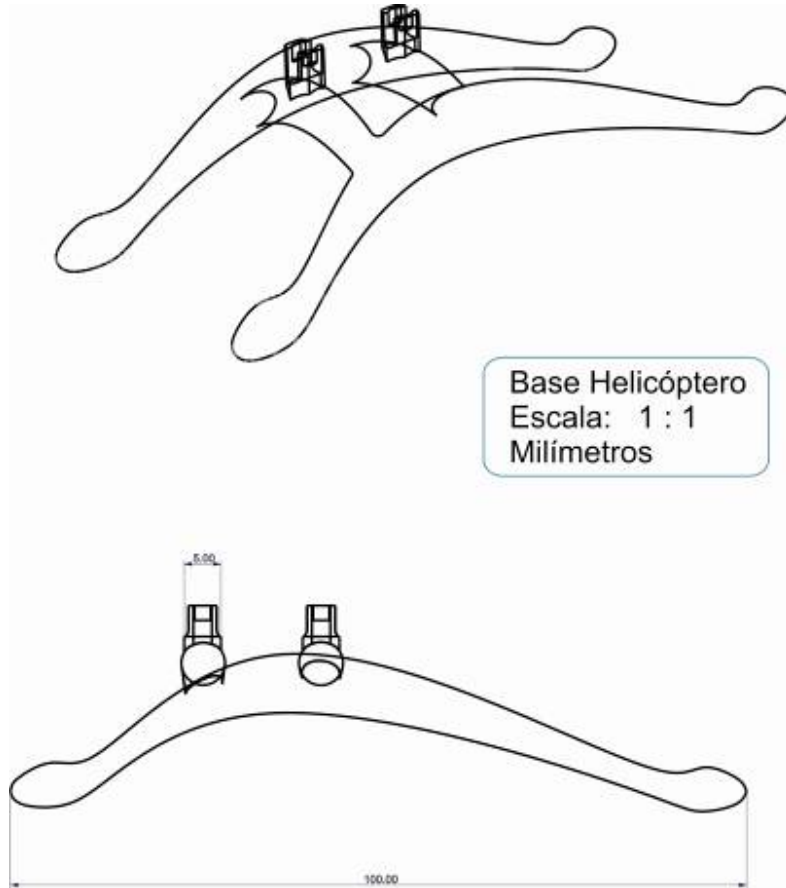
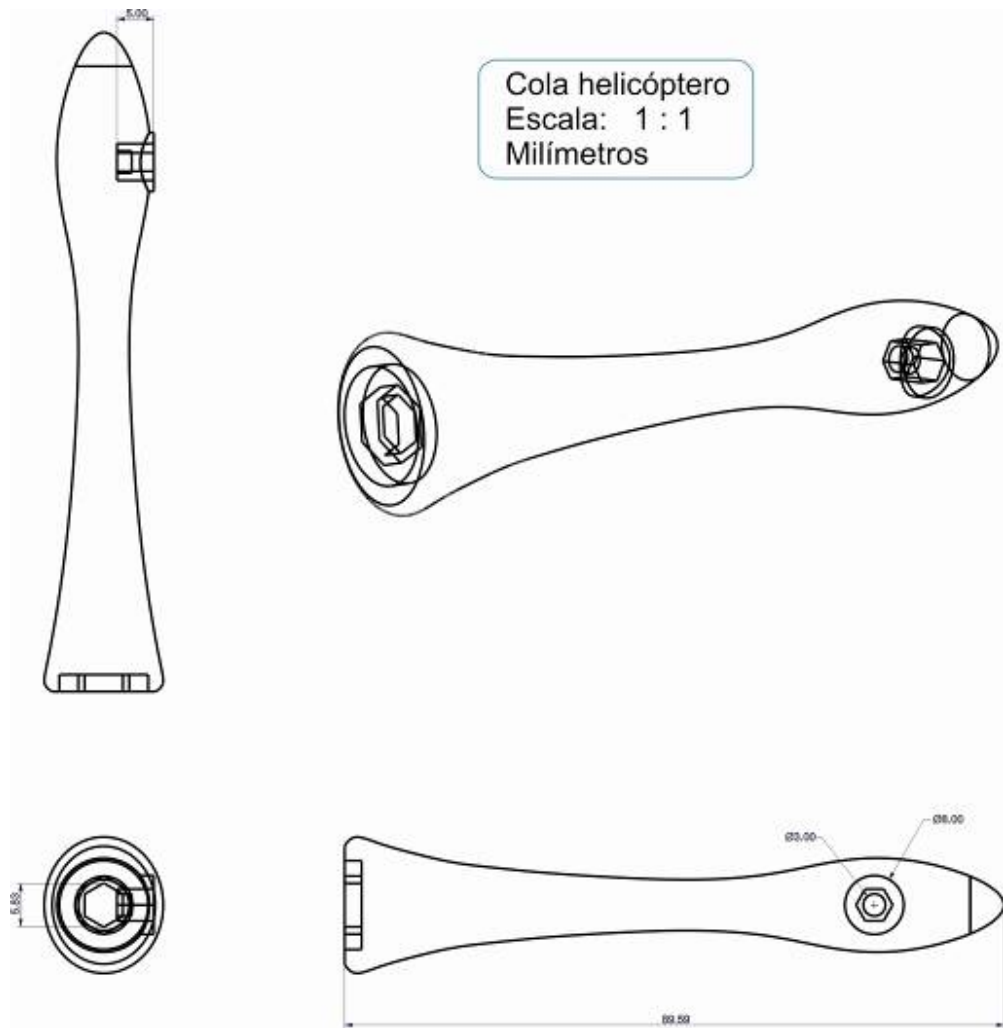


Figura 239. Planos Cola Helicóptero



## **7. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

La selección de alternativas se realiza tomando en cuenta dos clases de parámetros a los cuales se les asigna una valoración determinada de la siguiente manera:

0 = Nada      1 = Bajo      2 = Medio      3 = Alto      4 = Muy Alto

Lo anterior se hace con el fin de tomar una decisión informada y que cumpla de la mejor forma con los requerimientos del proyecto.

### **7.1 PARÁMETROS FORMALES**




- a. Correlación estética con la avispa
- b. Correlación estética con el habitáculo
- c. Valoración de su crecimiento tridimensional modular
- d. Diversidad de aplicaciones

### **7.2 PARÁMETROS DE DISEÑO**

- e. Practicidad
- f. Seguridad
- g. Manipulación
- h. Ergonomía
- i. Percepción
- j. Resistencia

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en donde las alternativas dos y tres obtuvieron los mayores puntajes, 31 y 35 respectivamente.

Tabla 4. Matriz para la Evaluación de Alternativas

ALTERNATIVAS	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	TOTAL
	2	0	1	1	3	4	4	4	3	4	<b>26</b>
	3	2	4	4	3	3	3	4	3	2	<b>31</b>
	4	3	3	3	4	3	4	4	4	3	<b>35</b>

Partiendo de los resultados obtenidos en la tabla anterior se decidió ejecutar las dos alternativas con puntajes por encima de 30 ya que al observar que las dos tenían resultados tan cercanos se piensa que vale la pena llevarlas al modelo funcional.

## 8. EJECUCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

### 8.1 MODELO FUNCIONAL ALTERNATIVA 2

Figura 240. Diagrama del Proceso Utilizado para la Fabricación de Piezas

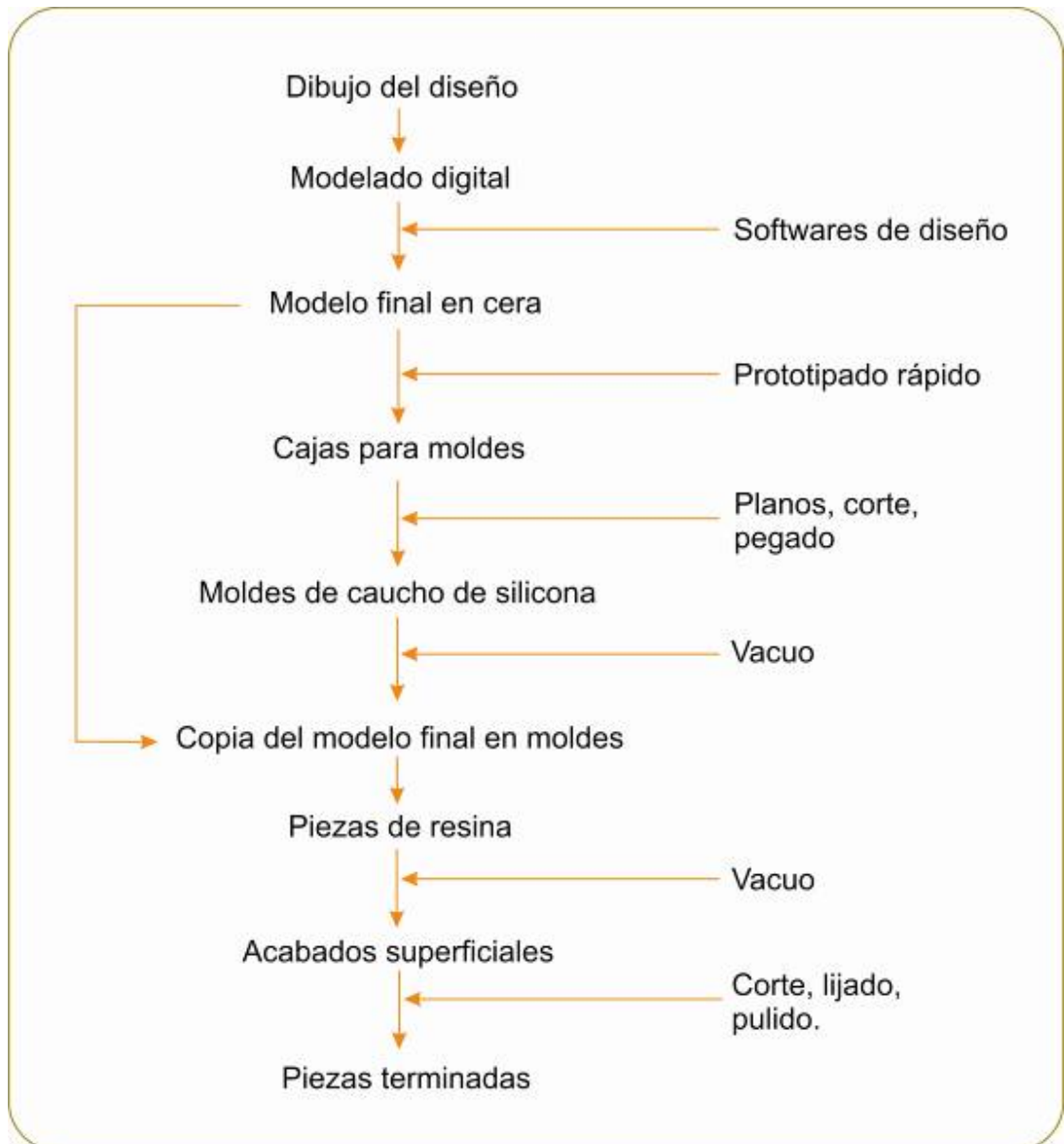


Figura 241. Prototipados en Cera



Para la alternativa dos se realizó prototipado de piezas con el fin de poder tomar dimensiones perfectas de los modelos y proceder a la creación de moldes que permitan producir un mayor número de piezas en menor tiempo.

Figura 242. Planos para Fabricación de Cajas para Moldes

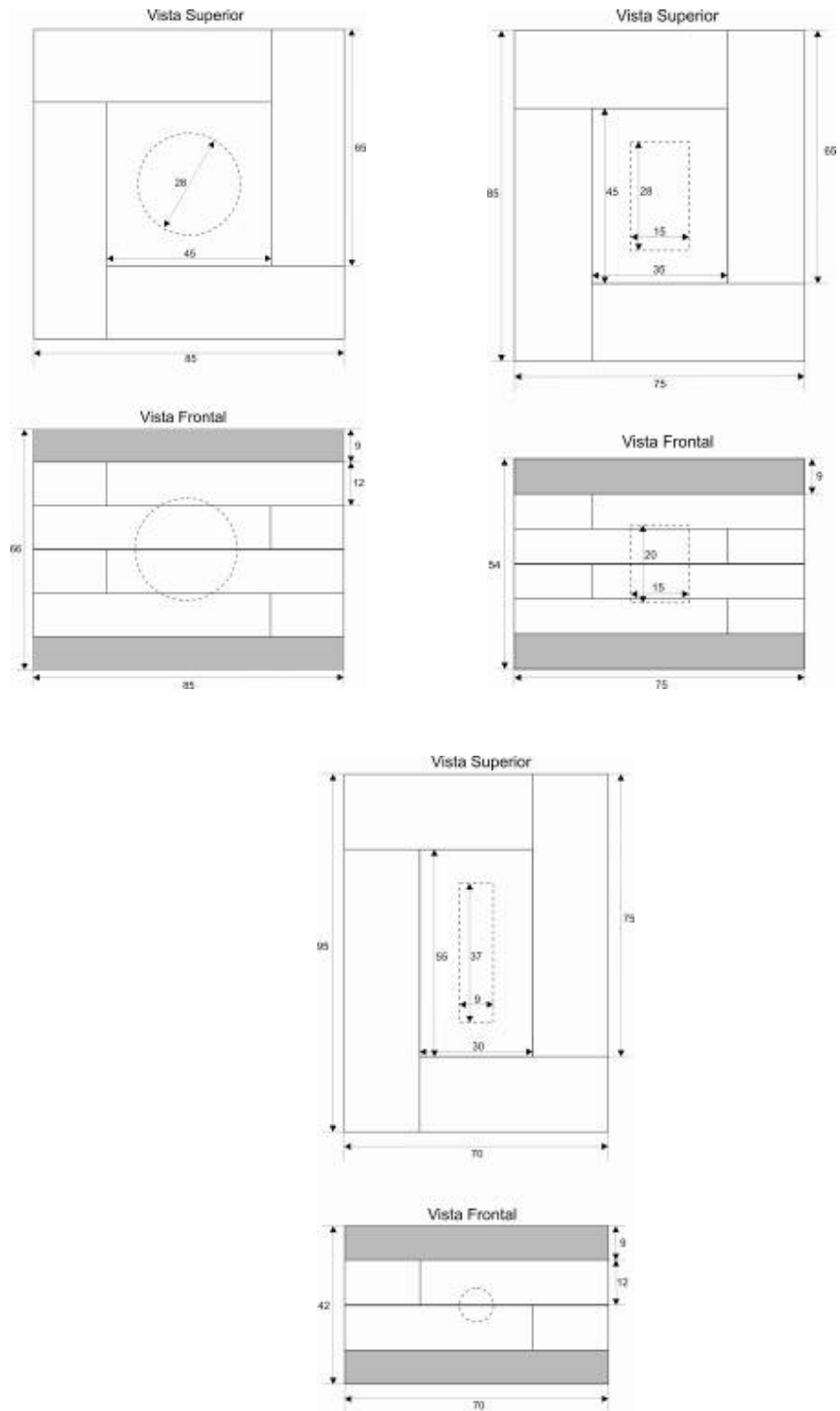


Figura 243. Elaboración de Cajas para Molde

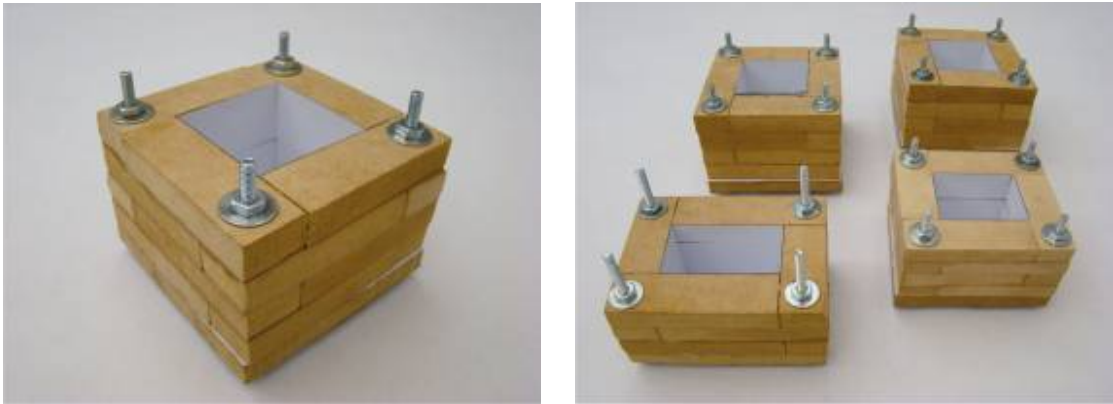


Figura 244. Preparación del Prototipo para Obtención de Molde



Figura 245. Vaciado de Caucho de Silicona sobre el Prototipo



Figura 246. Proceso de Desmolde



Figura 247. Remoción de Residuos del Prototipo



Figura 248. Segundo Llenado para Obtener la Otra Mitad del Molde



Figura 249. Separación del Molde de la Caja



Figura 250. Separación de las Dos Mitades del Molde



Figura 251. Máquina de Vacío Vacuo



Fuente: Foto tomada por el autor

Figura 252. Procedimiento para Realización de Piezas en Resina



Figura 253. Obtención y Maquinado de Diversas Piezas en Resina



Figura 254. Construcción Modular Tridimensional

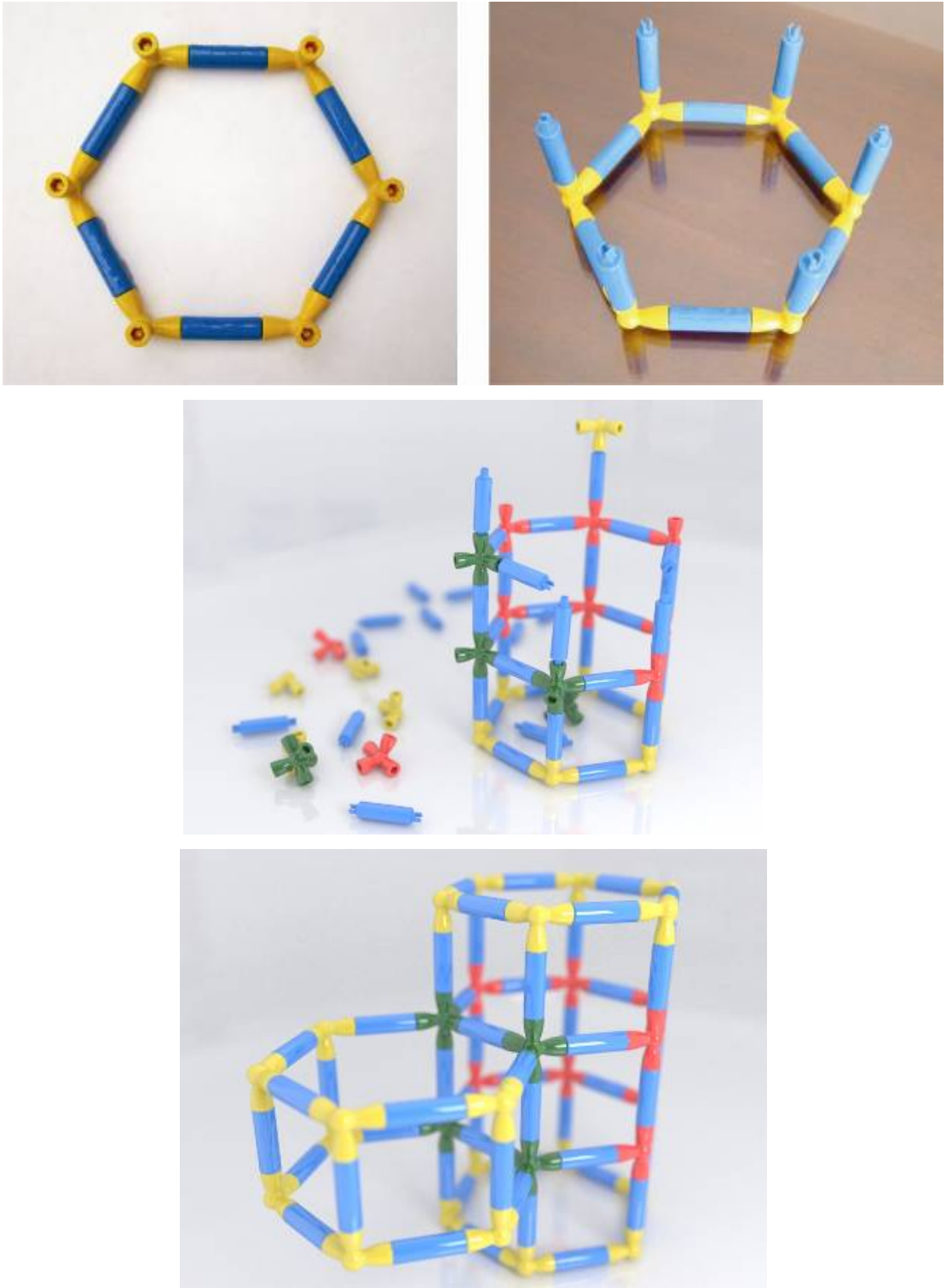


Figura 255. Cortes en Láser y Pegues de Superficies Esféricas

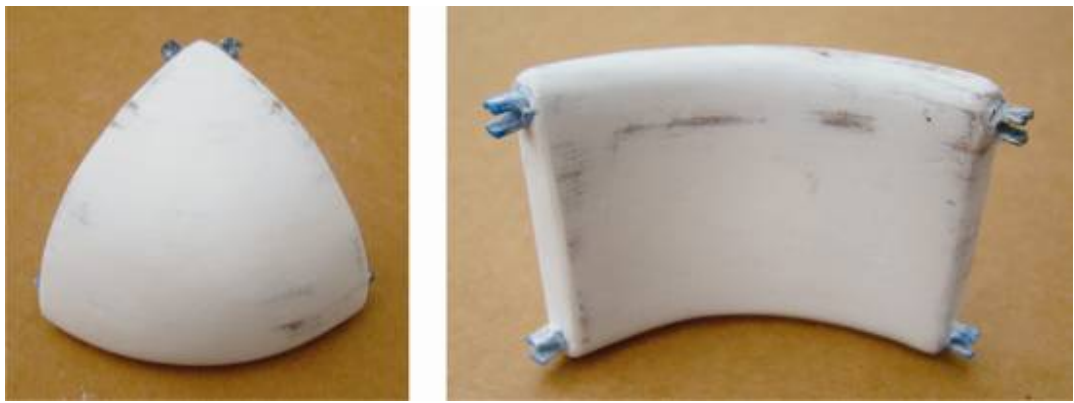


Figura 256. Elaboración de Moldes en Caucho de Silicona



Figura 257. Llenado de Moldes y Obtención de Superficies Curvas

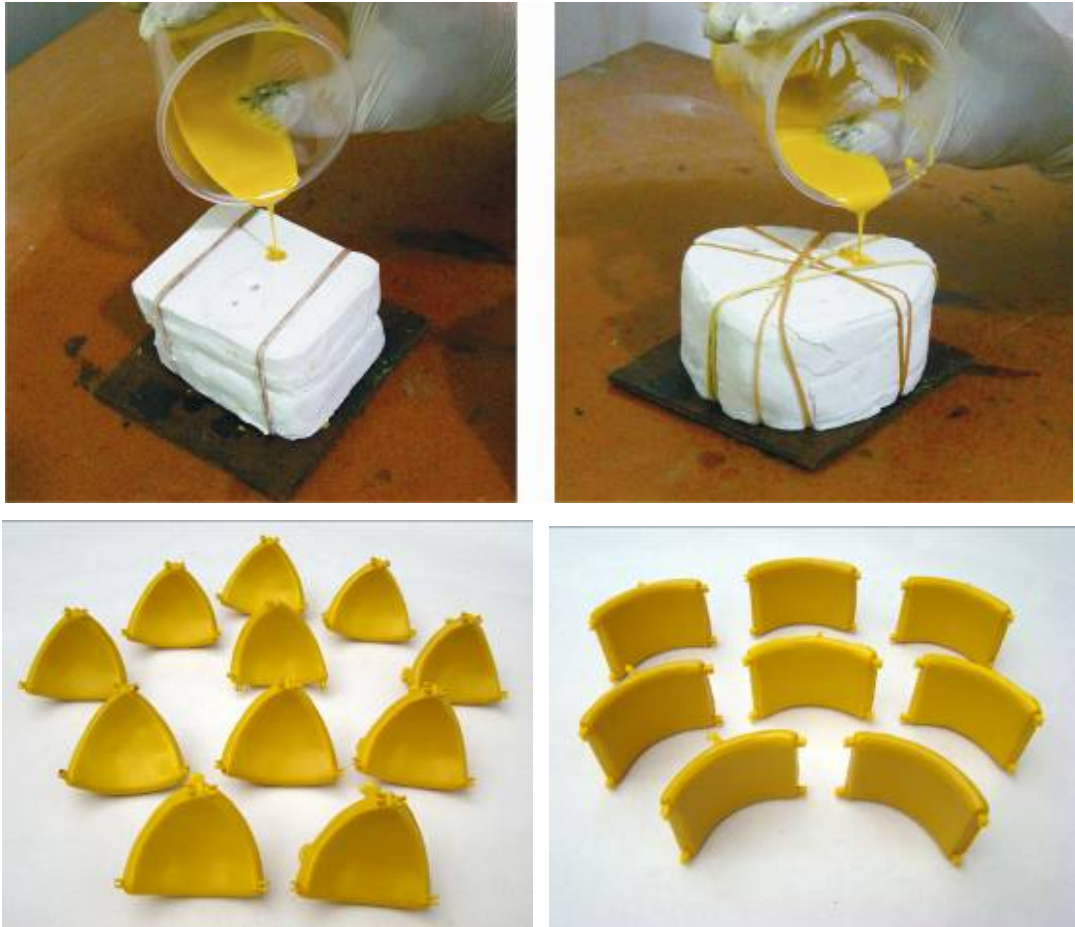


Figura 258. Acabados Finales de los Modelos



Figura 259. Configuración Espacial de los Módulos

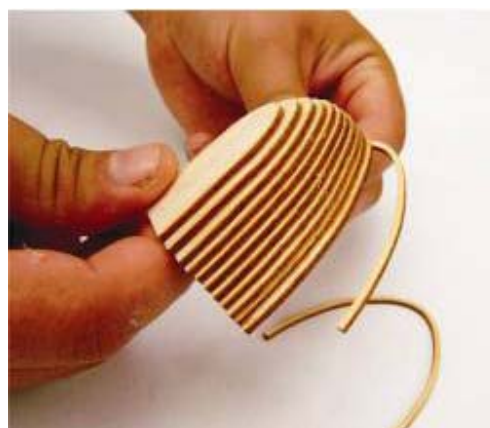


## 8.2 MODELO FUNCIONAL ALTERNATIVA 3

Figura 260. Conformado de Módulos a partir de Planos Seriados



Continuación Figura 260.



Continuación Figura 260.



Figura 261. Piezas recubiertas con masilla



Figura 262. Piezas lijadas





### 8.3 PRUEBAS DE USABILIDAD

Se realizaron pruebas de usabilidad con los modelos funcionales correspondientes a las dos alternativas seleccionadas con un niño de 11 años de edad.

En las imágenes se aprecia el niño realizando algunos ensambles con las piezas de la alternativa 2.

Figura 265. Prueba de usabilidad alternativa 2



Luego se le entregaron al niño el total de piezas de la alternativa 3, con las cuales formó los 6 motivos diferentes de vehículos que se pueden obtener con la totalidad de éstas.

Figura 266. Prueba de usabilidad alternativa 3



Continuación Figura 267.



## CONCLUSIONES

- El análisis del mundo natural lleva a la innegable conclusión de que aquello que aparentemente es aleatorio se ajusta, en realidad, a un patrón de crecimiento y orden preestablecido para la mayoría de las especies con el fin de lograr armonía, funcionalidad y supervivencia.
- El hombre no puede ignorar la experiencia de la naturaleza que durante siglos ha sabido encontrar soluciones a los problemas que se presentan con los cambios en el entorno; es por esto que, la incorporación de la Biónica en el proceso de diseño lleva a la mejor utilización de los recursos disponibles en el planeta y en el largo plazo será determinante para asegurar la continuidad de nuestra especie.
- El análisis realizado a la avispa demostró como en medio de la aparente insignificancia de un insecto diminuto puede encontrarse un sorpresivo grado de perfección. El cuerpo de la avispa es prueba fehaciente de la repetición de patrones y proporciones perfectos en los seres vivos y exhibe además un alto grado de funcionalidad y adaptabilidad al medio. La construcción del habitáculo es ejemplo de alta ingeniería ya que escogen la mejor disposición de los materiales disponibles con el fin de asegurar un ambiente seguro y funcional para su especie.
- En este proyecto se logró aplicar la información obtenida del análisis del insecto al diseño, modelado y construcción de una familia de juguetes que constan de varias piezas intercambiables con las que los niños pueden aprender, jugar, crear y divertirse, fin último de la existencia de estos objetos.
- Para el diseñador que busca crear manteniendo una conciencia ecológica se hace indispensable entablar diálogos con otras disciplinas para saber exactamente

los alcances de sus proyectos y poder determinar cual es la mejor aproximación a los mismos.

- El manejo de configuraciones modulares permite al diseñador obtener una mayor efectividad en el proceso de elaboración y amplia a su vez el rango de combinación de piezas y aplicaciones para el producto final.

## BIBLIOGRAFÍA

AMAT, Germán. “Insectos de Colombia. Volumen II”. Fernando Fernández Editores. Bogotá, 1998.

BORROR, TRIPLEHORN & JOHNSON. “An Introduction to the Study of Insects”. Sixth Edition.

DIAZ, José Luis. “El Juego y el Juguete en el Desarrollo del Niño”. Editorial Trillas. México. 1997.

DOCZI, György. “The Power of Limits. Proportional Harmonies in Nature, Art & Architecture”. Shambhala Publications. Boston, 1995.

DORLING KINDERSLEY. “Mundo Animal”. Casa Editorial El Tiempo. Bogotá, 2003.

EDITORIAL SOL 90. “Atlas Visual de la Ciencia”. Printer Colombiana. Bogotá, 2006.

GUEVARA, Eduardo. “Fundamentos de Configuración en Diseño Industrial”. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2004.

SIERRA, Fernando. “Estructuras Ligeras”. Editorial Universidad Pontificia Bolivariana. Bogotá, 2006.

VALENCIA, Andrés. “Forma, estructura y movimiento” en la revista Iconofacto de la Facultad de Diseño de la Universidad Pontificia Bolivariana. Bogotá. Volumen 2, Número 3, Mayo 2006.

YAHIA, Harun. “Biomimetics: Technology Imitates Nature”. Turkey, 2006.

Consultas en Internet:

<http://the-conscious-mind.blogspot.com>

<http://www.dailygalaxy.com>

<http://www.guardian.co.uk>

[www.scienceblogs.com](http://www.scienceblogs.com)

<http://www.lector.net/verjun00/autogiro.htm>

<http://www.velcro.co.uk>

<http://sombra.lamatriz.org>

<http://www.technologyreview.com>

<http://www.catseyerroadstuds.com/history.html>

<http://resseny.blogspot.com>

[www.whalepower.com](http://www.whalepower.com)

<http://www.biomimicryinstitute.org>

<http://www.slate.com>

<http://www.textileworld.com>

<http://www.greensage.com>

<http://www.innespace.com/>

<http://www.gizmag.com>

<http://www.harunyahya.com>

<http://www.inhabitat.com>

<http://www.colani.ch/projects.html>

<http://www.dexigner.com>

<http://www.waece.org>

[www.jugueteseguro.com](http://www.jugueteseguro.com)

<http://www.esrf.fr/UsersAndScience/publications/NewsLetter.com>