

**DESARROLLO DE UN SISTEMA MODULAR DE CRECIMIENTO
TRIDIMENSIONAL BASADO EN LA BIÓNICA DE UN GRILLO, DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO.**

Presentado por:

Fausto Yesid Huertas Díaz

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMÉCANICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2008**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA MODULAR DE CRECIMIENTO
TRIDIMENSIONAL BASADO EN LA BIÓNICA DE UN GRILLO, DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO.**

Presentado por:
Fausto Yesid Huertas Díaz.

Director:
M.D.I. Eduardo Serafín Guevara Melo.

Codirector:
D.I. Miguel Higuera Marín

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMÉCANICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2008**

AGRADECIMIENTOS

Con el mejor de mis deseos doy gracias y expreso mi gratitud a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron al desarrollo de este proyecto tan importante para mi en el camino de la universidad. A continuación menciono con agrado y respeto a mis Padres: Abraham Huertas Moreno y Clarisa del Carmen Díaz de Huertas; mis hermanas: Aida Yadira Huertas Díaz, Dina Lucelly Huertas Díaz, María Fernanda Huertas Díaz; amigos y allegados: Sandra Aldana, Tania Aidé, José Jaime Luis Tang, Adriana Marcela Suarez, Viviana Marcela Pacheco, Martín Julián Godoy, Pedro Casanova y Javier Mauricio Acevedo en general a AUG joyeros por la colaboración en el proceso de fabricación.

Por último y sin menor importancia a mi director de proyecto de grado, el Profesor Eduardo Serafín Guevara Melo.

CONTENIDO.

	Pag.
1 JUSTIFICACION	17
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 <i>Objetivo General:</i>	18
1.1.2 <i>Objetivos Específicos:</i>	18
1.2 ALCANCE DEL PROYECTO	19
1.3 LIMITACIONES DEL PROYECTO.....	20
2 MARCO TEORICO	21
2.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	21
2.2 CICLO DE VIDA.....	22
2.3 MORFOLOGIA.....	23
2.3.1 <i>Integumento.</i>	23
2.3.1.1 Composición Estructural y Química.....	23
2.3.1.2 Funciones del Integumento.....	25
2.3.2 <i>Segmentación.</i>	27
2.3.3 <i>Tagma cefálico.</i>	29
2.3.3.1 Cabeza.....	29
2.3.3.2 Aparato Bucal.....	30
2.3.3.3 El tentorio.....	35
2.3.3.4 Antenas.....	36
2.3.4 <i>Tagma torácico.</i>	37
2.3.4.1 El Tórax.....	37
2.3.4.1.1 Regiones externas del tórax.....	38
2.3.4.1.2 Regiones internas del tórax y Musculatura.....	44
2.3.4.2 El cuello.....	48
2.3.4.3 Apéndices Torácicos de Ortóptera.....	49
2.3.4.3.1 Patas.....	50
2.3.4.3.2 Alas.....	54
2.3.4.3.2.1 Estructura del ala.....	55
2.3.4.3.2.2 Venación Alar.....	56
2.3.4.3.2.3 Áreas del ala y ángulos.....	59
2.3.4.3.2.4 Articulación del ala con el tórax.....	60
2.3.4.3.2.5 Órganos de los sentidos en el ala.....	61
2.3.4.3.2.6 Músculos asociados con las alas.....	62
2.3.5 <i>Tagma abdominal.</i>	63
2.3.5.1 Apéndices Abdominales.....	64
2.3.6 <i>Mecano-recepción.</i>	64
2.3.6.1 Sensilas tricoideas.....	64
2.3.6.1.1 Receptores fásicos.....	66
2.3.6.1.2 Receptores tónicos.....	67
2.3.6.2 Órganos cordotonales.....	68
2.3.6.3 Sensila campaniforme.....	69
2.4 MECANISMOS.....	70
2.4.1 <i>Movimientos de las Patas.</i>	70
2.4.1.1 Mecanismo del desplazamiento caminando.....	72
2.4.1.2 Patrones de movimiento de las patas.....	76

2.4.1.3	Mecanismo de salto.....	78
2.4.2	<i>Mecanismo del Vuelo.....</i>	81
2.4.2.1	Movimiento arriba y abajo.....	81
2.4.2.2	Movimiento debido a la Elasticidad.....	83
2.4.2.3	Plano de la brazada y amplitud del aleteo.....	86
2.4.2.4	Torsión del ala.....	87
2.4.3	<i>Aerodinámica.....</i>	89
2.4.3.1	Vuelo por aleteo.....	89
2.4.3.2	Elevación.....	90
2.4.3.3	Empuje.....	92
2.4.4	<i>Control del Aleteo.....</i>	93
2.4.4.1	Comienzo de los movimientos alares.....	93
2.4.4.2	Permanencia de los movimientos alares.....	93
2.4.5	<i>Estabilidad en vuelo.....</i>	93
2.4.5.1	Rolling o Rodamiento.....	94
2.4.5.2	Control del Pitching y la elevación.....	95
2.4.5.3	Yawing.....	96
2.4.6	<i>Control de la Velocidad de Vuelo.....</i>	96
2.4.7	<i>Aterrizaje.....</i>	97
2.4.8	<i>Mecanismo de visión.....</i>	97
2.4.8.1	Estructura de la omatidia.....	97
2.4.8.2	Formación de Imagen por el Sistema Óptico.....	99
2.4.8.3	Recepción de Luz.....	99
2.4.8.4	Agudeza visual.....	101
2.4.9	<i>Mecanismo en la producción de Sonidos.....</i>	102
3	ANALISIS DEL GRILLO.....	104
3.1	ANALISIS MORFOLOGICO.....	104
3.1.1	<i>Simetría.....</i>	105
3.1.2	<i>Proporcionalidad normalizada y visual.....</i>	106
3.1.2.1	Análisis general vista de arriba.....	106
3.1.2.2	Proporción en patas.....	108
3.1.2.3	Proporciones en el tagma cefálico.....	110
3.1.3	<i>Geometrización del grillo.....</i>	116
3.1.3.1	Estructuración de formas en 2 dimensiones.....	116
3.1.3.2	Estructuración de formas en 3 dimensiones.....	128
3.1.4	<i>Texturas visual y táctil.....</i>	137
4	PROCESO CREATIVO.....	145
4.1	BIOCONFIGURACIÓN.....	145
4.1.1	<i>Bidimensionales.....</i>	145
4.1.2	<i>Tridimensionales.....</i>	168
4.1.3	<i>Selección del Módulo.....</i>	185
4.1.3.1	Requerimientos.....	185
4.1.4	<i>Dimensionar el Módulo.....</i>	188
4.1.4.1	Despiece del Módulo.....	189
4.1.4.2	Planos técnicos del módulo.....	190
4.2	CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO EN EL ESPACIO.....	197
4.2.1	<i>Rango de posiciones en los elementos del módulo.....</i>	197
4.2.2	<i>Aplicaciones posibles del módulo.....</i>	207
5	PROCESO TECNICO PRODUCTIVO.....	211
5.1	ENFOQUE CONSTRUCTIVO DADO AL MÓDULO.....	211

5.1.1	<i>Construcción del modelo funcional</i>	211
5.1.1.1	Herramientas utilizadas.	212
5.1.1.2	Diagrama del proceso utilizado para la fabricación.	214
5.1.2	<i>Proceso para fabricación a gran escala</i>	220
6	CONCLUSIONES	222
7	BIBLIOGRAFIA	224

LISTA DE TABLAS.

	Pag.
Tabla 1. Diagrama final de proporciones a nivel general visto de arriba.....	104
Tabla 2. Proporción de las patas analizando sus segmentos.....	106
Tabla 3. Proporciones de la cara de un grillo y sus elementos principales.....	110
Tabla 4. Proporciones de la cabeza de un grillo vista de perfil.....	111
Tabla 5. Matriz para la valoración de la lluvia de ideas.....	182

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 . Ciclos de Vida Representativos del genero Gryllus.....	23
Figura 2. Representación esquemática de una sección madura de cutícula y epidermis	24
Figura 3. Representación esquemática de una sección transversal de la Epicuticula.	25
Figura 4. Esquema de los diferentes tipos de juntas entre áreas esclerotizadas.	26
Figura 5. Esquema detallando la organización de un segmento típico de un insecto.....	28
Figura 6. Diagramación de la cabeza de un Ortóptera.	30
Figura 7. Vista interna de la cavidad preoral.	31
Figura 8. Diagrama de la mandíbula de un insecto pterygota.	32
Figura 9. Diagrama de la maxila vista desde el exterior (A) y vista interiormente (B) para mostrar la musculatura.	33
Figura 10. Diagrama del labio visto desde el exterior (A) y desde adentro (B) para mostrar la musculatura.....	34
Figura 11. El labro desde la superficie posterior, epifaringeal.....	35
Figura 12. Esquema del tentorio de un Ortóptero visto en posición latero-dorsal; corpotentorio.	36
Figura 13. Proximales de la antena anillada de <i>Locusta sp</i> (orthóptera) en vista lateral.....	37
Figura 14. El diagrama muestra las principales formaciones del notum de un segmento que soporta las alas. La membrana se muestra por regiones punteadas.	39
Figura 15. Esquema de las regiones y suturas del tórax de un grillo visto lateralmente.....	40
Figura 16. Esquema representativo de un segmento alar visto lateralmente. Las regiones membranosas corresponden a las regiones punteadas.	41
Figura 17. (A), Diagrama de la articulación del ala con el tórax. (B), Vista lateral del tórax mostrando los músculos alares directos. La región pleural se asume por estar transparente.	42
Figura 18. Regiones externas del esterno torácico de un Grillo visto ventralmente.	43
Figura 19. Diagrama de la sección transversal de un segmento torácico mostrando el puente pleural y las apófisis esternales.	44
Figura 20. (A), Diagrama representativo de un segmento torácico que no soporta alas; fragmas dorsales 1. (B), Esquema de un segmento que soporta estructuras alares; fragmas dorsales 1, apófisis pleural 2, músculo esternopleural 3, apófisis esternal 4, furca 5.....	45
Figura 21. Principales músculos, otros músculos diferentes a los asociados a las patas, en el metatórax de un insecto alado.	46

Figura 22. Músculos del tórax relacionados con el vuelo. T3 Metatórax, coxa C, apófisis pleural AP, apófisis esternal AS.....	47
Figura 23. (A). El cuello y los escleritos cervicales de un saltamontes visto lateralmente. (B). diagrama mostrando cómo cambia el ángulo entre los escleritos cervicales cuando la cabeza es retraída y protraída. Las flechas indican los puntos de articulación.....	49
Figura 24. Pata típica de insectos.....	51
Figura 25. Vista exterior de (A) la coxa de un insecto típico, y (B) coxa con un merón grande.....	52
Figura 26. Descripción esquemática de las articulaciones de las uniones de la pata. (A), Articulación del trocánter con la coxa y los músculos que mueven el trocánter. B y C Articulación de la tibia y el fémur, (B) vista desde el extremo, (C) vista lateralmente. (D), Articulación del tarso con la tibia.....	53
Figura 27. Esquema de las formas de las tégminas de Orthóptera.....	55
Figura 28. (A), Diagrama de la venación básica hipotética del ala mostrando las principales venas longitudinales y transversales. (B), Sección en X-X de A mostrando las venas cóncavas y convexa exagerando la profundidad.....	56
Figura 29. Ala posterior de <i>Locusta sp.</i> Mostrando la venación. Algunas de las venas secundarias están señaladas por flechas. INT=Vena intercalar, ACC= vena accesoria.....	58
Figura 30. Esquema de la estructura del ala señalando las regiones y ángulos del ala.....	59
Figura 31. Vista lateral de un segmento alar mostrando la región basal del ala y los músculos directos del vuelo.....	60
Figura 32. Diagrama de la sección transversal del tórax en un segmento alar mostrando los músculo indirectos del vuelo.....	62
Figura 33. Diagrama de la base de una sensila tricoidea.....	65
Figura 34. Ilustración de la sensibilidad direccional de una sensila tricoidea. Únicamente al doblarse hacia el área efectiva permite el desarrollo e un impulso nervioso.....	66
Figura 35. Diagrama mostrando la manera en que las sensilas de un plato con setas son estimuladas al entrar en contacto con la cutícula adyacente.....	68
Figura 36. . Esquema de la sección transversal de una sensila campaniforme..	69
Figura 37. Vista interna de la coxa mostrando los músculos extrínsecos de la pata con los cuales esta se mueve. Los músculos que se originan desde los puntos marcados con asterisco e insertados en la base del ala son omitidos.	71
Figura 38. . A, Representación esquemática de una pata actuando como un apoyo. El empuje axial B, Representación esquemática de una pata actuando como una palanca.....	72
Figura 39. Diagrama que muestra las posiciones de las patas formando un triangulo típico de soporte.....	74
Figura 40. Diagrama mostrando el efecto de la extensión y flexión de las juntas coxotrocanteral y femorotibial sobre el movimiento del cuerpo.....	75

Figura 41.	Diagrama mostrando la posición de las patas con diferentes relaciones en el tiempo de protracción: tiempo de retracción.....	77
Figura 42.	. Esquema mostrando el orden en el cual los pies son levantados...	77
Figura 43.	Pata posterior de un saltamontes mostrando (A) la musculatura y (B) una sección transversal del fémur.....	79
Figura 44.	Diagrama del salto de una langosta, mostrando el empuje ejercido por la pata posterior y su componente vertical y horizontal.....	80
Figura 45.	Diagrama mostrando el efecto palanca de la tibia posterior de una langosta con el extremo del fémur actuando como un apoyo.	81
Figura 46.	Sección transversal del tórax ilustrando el movimiento alar en un insecto, el que los músculos directos del vuelo causan el descenso del ala.	82
Figura 47.	. Ilustración esquemática de la sección transversal del tórax mostrando la distorsión del tórax producto del movimiento del ala.	83
Figura 48.	Sección transversal de la base del ala ilustrando el mecanismo en clic en el movimiento alar.....	84
Figura 49.	Vista lateral del tórax de <i>Sarcophaga sp.</i>	85
Figura 50.	Movimiento del extremo del ala cuando el insecto esta en movimiento.	87
Figura 51.	Cambios en la torsión de la sección media del ala anterior de <i>Schistocerca sp</i> en el transcurso de una brazada sencilla.	88
Figura 52.	Ilustración de las fuerzas actuando en el punto medio del ala en diferentes fases del aleteo.....	89
Figura 53.	Cambios en la elevación producidos por las alas de <i>Schistocerca sp.</i> durante una brazada.....	90
Figura 54.	Cambios en la elevación total y el desplazamiento vertical asociado de <i>Schistocerca sp.</i> Durante una brazada. Este es un tiempo de retraso entre el periodo de máxima elevación y el correspondiente ascenso del insecto.	91
Figura 55.	Cambios en el empuje producido por las alas de <i>Schistocerca sp.</i> durante una brazada.....	92
Figura 56.	Diagrama mostrando los ejes principales de rotación del insecto debido a su inestabilidad en vuelo.	94
Figura 57.	Diagrama mostrando la orientación de una langosta en una serie de observaciones hechas cuando estaba en vuelo en oscuridad total.....	95
Figura 58.	Esquema de la estructura del ojo compuesto detallando una sola omatidia.	98
Figura 59.	Diagrama del efecto de la luz captada por el rabdomero.	100
Figura 60.	La relación entre la agudeza visual del ojo de <i>Apis sp</i> y la intensidad de luz.....	102
Figura 61.	Esquema de las estructuras que conforman usualmente el órgano estridulante en grillos.....	103
Figura 62.	. Esquema de simetría axial.	105
Figura 63.	. Proporciones generales vista de arriba.....	106
Figura 64.	Medidas en los segmentos de las patas del grillo.	108
Figura 65.	Principales estructuras externas y visibles de la cabeza.	110

Figura 66. Proporciones del ojo, escapo y palpos maxilares.....	111
Figura 67. Proporción general y distribución de formas en la cabeza.....	112
Figura 68. Proporciones del perfil de la cabeza del grillo.....	114
Figura 69. Geometrización general vista de arriba.....	116
Figura 70. Geometrización general vista de abajo.....	116
Figura 71. Geometrización lateral a nivel de los tagmas.....	117
Figura 72. Geometría del ala.....	117
Figura 73. Geometría del abdomen y mata posterior.....	118
Figura 74. Geometrización del tagma cefálico vista frontal.....	118
Figura 75. Geometría del tagma cefálico visto de abajo.....	119
Figura 76. Geometría del ojo compuesto.....	119
Figura 77. Geometría del esterno del cuello y la cabeza del grillo.....	120
Figura 78. Bocetos geométricos vista de arriba.....	121
Figura 79. Bocetos geométricos vista lateral.....	122
Figura 80. Boceto geométrico pata posterior y palpos.....	123
Figura 81. A Desacople de formas geométricas.....	124
Figura 82. B Desacople de formas geométricas.....	125
Figura 83. Formas Geométricas vistas por el tergo del grillo.....	126
Figura 84. Formas Geométricas vistas por el esterno del grillo.....	127
Figura 85. Fotografía del grillo con sus principales formas y puntos articulados.....	128
Figura 86. Articulaciones emplazadas en los volúmenes generales del grillo....	128
Figura 87. Estructuración esquemática del grillo en vista frontal y lateral.....	129
Figura 88. Estructuración esquemática del grillo en perspectiva.....	129
Figura 89. Geometrización 3D del grillo en perspectiva desde atrás.....	130
Figura 90. Geometrización 3D del grillo en vista lateral.....	130
Figura 91. Geometrización 3D del grillo en perspectiva desde adelante.....	131
Figura 92. Geometrización 3D del grillo en vista frontal.....	131
Figura 93. Geometrización 3D del grillo visto de arriba.....	132
Figura 94. Texturas del abdomen y la tegmina.....	137
Figura 95. Texturas de la abdomen y la tegmina del grillo.....	138
Figura 96. Textura de la cabeza y parte del pronoto de un grillo.....	139
Figura 97. Texturas del Tórax y parte del abdomen visto por debajo del grillo..	140
Figura 98. Texturas del Tórax y parte del abdomen del grillo.....	140
Figura 99. Textura lateral de la tegmina y el fémur posterior del grillo.....	141
Figura 100. Textura del fémur y la tibia posterior del grillo.....	141
Figura 101. Texturas de la pata posterior del grillo.....	142
Figura 102. Textura del ala de un grillo.....	143
Figura 103. Textura de la tegmina del ala de un grillo.....	143
Figura 104. Textura y color de un grillo juvenil después de mudar.....	144
Figura 105. Textura y color de un grillo adulto mudando.....	144
Figura 106. Composición bidimensional A.....	145
Figura 107. Composición bidimensional B.....	146
Figura 108. Composición bidimensional C.....	147

Figura 109. Composición bidimensional D.....	148
Figura 110. Composición bidimensional E1.....	149
Figura 111. Composición bidimensional E2.....	150
Figura 112. Composición bidimensional E3.....	151
Figura 113. Composición bidimensional F1.....	152
Figura 114. Composición bidimensional F2.....	153
Figura 115. Composición bidimensional G1.....	154
Figura 116. Composición bidimensional G2.....	155
Figura 117. Composición bidimensional H1.....	156
Figura 118. Composición bidimensional H2.....	157
Figura 119. Composición bidimensional H3.....	158
Figura 120. Composición bidimensional I.....	159
Figura 121. Composición bidimensional J1.....	160
Figura 122. Composición bidimensional J2.....	161
Figura 123. Composición bidimensional K.....	162
Figura 124. Composición bidimensional L.....	163
Figura 125. Composición bidimensional M1.....	164
Figura 126. Composición bidimensional M2.....	165
Figura 127. Composición bidimensional N1.....	166
Figura 128. Composición bidimensional N2.....	167
Figura 129. Lluvia de ideas tridimensional.....	169
Figura 130. Definición de los módulos más valorados.....	187
Figura 131. Estructura formal del modulo.....	188
Figura 132. Combinaciones de los sub-módulos.....	199
Figura 133. Configuraciones de súper- módulos para posibles aplicaciones.....	202
Figura 134. Aplicación modular de una torre de telecomunicaciones.....	207
Figura 135. Aplicación modular de un domo.....	208
Figura 136. Aplicación modular de un parasol.....	209
Figura 137. Proceso de tallado y soldado del modulo.....	215
Figura 138. Piezas talladas en cera.....	216
Figura 139. Proceso de armado del árbol con las piezas en cera.....	217
Figura 140. Piezas del módulo en cera y en conjunto.....	218
Figura 141. Fundición del las piezas modulares.....	219
Figura 142. Modulo completo.....	220
Figura 143. Diagrama de Moldeo por inyección con polímeros.....	221

RESUMEN

TITULO: DESARROLLO DE UN SISTEMA MODULAR DE CRECIMIENTO TRIDIMENSIONAL BASADO EN LA BIÓNICA DE UN GRILLO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO.

AUTOR: HUERTAS DÍAZ, Fausto Yesid.

PALABRAS CLAVES: Sistema, Modular, Tridimensional, Biónica, Biomimética, Creatividad, Grillo.

DESCRIPCIÓN:

El proyecto desarrolla un estudio de un sistema modular basado en la biomimética del grillo. Es un modulo que busca funcionar de manera versátil en su disposición espacial con la interrelación de módulos lo más amplio posible en diferentes áreas de aplicación y a diferentes escalas de tamaño las cuales se plantean como propuestas tridimensionales.

En el transcurso del proyecto se establecen características de proporción por medio de registro fotográfico y de la observación. La geometrización, manejo de las formas relacionadas con el grillo y composición modulares en dos y tres dimensiones.

Bajo las directrices de una metodología preestablecida como eje de desarrollo y reconocida en el campo de la biónica como una estructura en función de un problema ya establecido, para luego generar un argumento proyectual el cual será la base de un proyecto a concretar y profundizar en los diferentes campos posibles de aplicación.

Para finalizar se organizan y enfocan los análisis hechos al grillo para el logro del módulo en las diferentes posibilidades de ensambles modulares y sus conexiones las cuales se plantea que pueden variar según el material y la escala de cada posible área de aplicación. Las posibles aplicaciones se plantean de forma virtual y como modelo tangible del proyecto se desarrolla el conjunto de piezas modulares aplicadas en un juego didáctico el cual es en palabras comunes un armo todo basado en la biónica del grillo.

* Tesis

* Facultad de ingeniería físico mecánicas, Escuela de Diseño Industrial, Director Eduardo Serafin Guevara Melo, codirector Miguel Higuera Marín.

SUMMARY

TITLE: Development of a modular system based on growth on three-dimensional of a grasshopper bionic, design and construction of a model.

AUTHOR: HUERTAS DIAZ, Fausto Yesid.

KEY WORDS: System, Modular, Three-Dimensional, Bionics, Biomimetic, Creativity, Grasshopper

DESCRIPTION:

The project develops a study of a modular system based on biomimetic grasshopper. It is a module that seeks to operate on versatile in its spatial modules with the interrelation of the widest possible application in different areas and at different size scales which develops as a three-dimensional proposals.

In the course of the project are established features of proportion through photographic record and observation. The geometrization, handling forms related whit the grasshopper to the composition and modular in two and three dimensions.

Under the guidelines of a methodology pre established as an axis for development and well known in the bionic field as a structure that functions around an already established problem, in order to generate an argument which will constitute the basis of a project intended to deepen in the different possible fields of application.

Finally organize and focus the analyses made to the grasshopper for the achievement of the module in the different possibilities of modular assemblies and their connections are organized and focused which considers that they can vary according to material and scale of each potential area of application. Potential applications develop forms virtual and tangible as a model project develops a whole piece modular teaching applied in a game, based on the bionic of a grasshopper .

* Tesis

* Faculty of engineering physical mechanical, School Desing Industrial, Leading Eduardo Serafín Guevara Melo, codirector Miguel Higuera Marín.

0 INTRODUCCION

Durante millones de años de evolución en la tierra se han desarrollado con éxito un gran número de seres vivos que han estado en pro de la supervivencia de su especie. Las adaptaciones logradas por los seres vivos en ambientes específicos a nivel formal, estructural, bioquímico, mecánico y funcional de los cuerpos, son el resultado de alteraciones genéticas para lograr alimentarse, reproducirse, movilizarse, soportar factores ambientales adversos, y evitar ser extinto.

El reconocimiento de muchas especies y su clasificación en los diferentes reinos, clases, orden, etc. Según su taxonómica estructura física son las pautas para encasillar a los insectos (insecta) son una clase de invertebrados pertenecientes al filo artrópodos. Como insectos son el grupo más numerosos de la tierra con más de 1'000.000 especies descritas y se pueden encontrar en todos los ambientes hasta algunos adaptados en los océanos. Hay aproximadamente 5000 especies de libélula, 20.000 de saltamontes y grillos, 170.000 de mariposas y polillas, 120 de moscas, 82.000 de chinches verdaderos, 350.000 de escarabajos, y 110.000 de abejas y hormigas.

No todos tienen alas en su fase adulta pero si con seis patas y una estructura corporal dividida en regiones (tagmas) en: cabeza, tórax y abdomen. Los insectos son artrópodos (que tienen extremidades con muchas articulaciones y sus partes se doblan en muchas direcciones) pero generalmente son confundidos con otros artrópodos terrestres como los ciempiés, milpiés, escorpiones y arañas debido a que tienen una estructura similar pero no lo son.

Colombia está dentro de los primeros países de más riqueza de flora y fauna con una gran biodiversidad de seres dentro de los cuales los insectos son a su vez un número muy alto de especies y que existe la posibilidad de haber sin registrar oficialmente.

El manejo de las investigaciones hechas sobre animales o plantas en diferentes áreas de medicina, ingeniería e industria a nivel general son de gran ayuda para el hombre porque de ellas han salido muchos desarrollos tecnológicos e inventos representativos donde la naturaleza brindo la solución y el camino para hallarlos en nuestro entorno. Para investigar se han desarrollado técnicas de observación en ambientes controlados como laboratorios y también en lugares abiertos con algunas herramientas según sea el caso pueden ser de registro tanto de audio o video y las anotaciones respectivas de variables, tiempos, datos del objeto de observación y ambiente. Con el objetivo de encontrar los componentes y elementos que interactúan para cuestionar los y determinar su esencia y funcionamiento.

1 JUSTIFICACION

La Naturaleza está brindando en todo momento beneficios y soluciones implícitas o indirectas a problemas que al hombre afronta para su desarrollo tecnológico. Del manejo y análisis de sistemas de la naturaleza se han podido desarrollar mecanismo para maquinas, materiales artificiales, sustancias químicas, y muchas formas para solucionar las necesidades del hombre actual, con ese proceso de observación y análisis se logra extraer de forma análoga las mejores soluciones que la naturaleza de forma fascinante a resuelto en plantas y animales por medio de muchos años de evolución.

En la actualidad muchos objetos se han desarrollado con la utilización de este proceso o método conocido en tres términos a nivel mundial que son: *Biónica*, etimológicamente viene del griego (bio) que significa vida y la partícula nica que es extraída de la terminación de la palabra técnica o electrónica; también se conoce como *biomimética* del griego (bio) que significa vida y de mimesis (imitar); y más recientemente conocida en ingles como *biomimicry*.

Las soluciones técnicas de la naturaleza a diversos problemas son a menudo tan prácticas como imprevistas. No es de extrañar, pues fueron encontradas en miles y millones de años de selección natural y evolución. Aplicando correctamente los elementos y principios de un sistema natural se logra la estructuración de un conocimiento amplio que puede ser aplicado con diferentes énfasis formales, funcionales, cinéticos, físicos, químicos y mecánicos.

En la actualidad la biónica es un método utilizado en el área de la investigación de muchas disciplinas, sin embargo en nuestro entorno la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander se a realizado muy poco, pero se está en vía de creación un grupo de investigación donde se piensa formar los primeros pasos a fondo en biónica. Que esta iniciativa sean las bases de una mentalidad investigativa no solo en el campo de la biónica, para poder ser más eficientes a las exigencias que el mundo de hoy requiere y tener una identidad adicional como Escuela de Diseño Industrial en el área de la investigación.

La realización de este proyecto basado en el estudio y síntesis de un insecto ortóptero alado grillidae (grillo), plantea la generación de nuevas alternativas modulares multipropósito. Un sistema modular estructural multipropósito, puede ser una solución versátil que se puede escalar para aplicar en diferentes campos. Diseñar un modulo aplicable en diferentes campos con solo aplicar algunos elementos de diseño como escalado, lograría un elemento estándar básico aplicable a diferentes propósitos de uso, haciendo de este modulo un objeto muy versátil.

1.1 OBJETIVOS.

1.1.1 Objetivo General:

- Diseñar y construir un sistema modular tridimensional basado en la biónica de un grillo.

1.1.2 Objetivos Específicos:

- * Encontrar las relaciones de forma y función (biónica) de un grillo.
- * Diseñar y construir en un Modulo la síntesis formal y funcional escogida de un grillo.
- * Diseñar un modulo relacionado con otras aplicaciones posibles.

1.2 ALCANCE DEL PROYECTO.

El proyecto es de carácter investigativo en el campo de la biónica formal y funcional y se desea que sea el inicio de un proceso de conocimiento para la escuela de diseño industrial

Como producto del proyecto se logrará un sistema modular multipropósito, que pueda aplicarse en diversos campos como: juguetes o juegos que permitan el desarrollo de motricidad fina, construcción de estructuras para vivienda, sistemas de mobiliario, empaques, divisiones arquitectónicas, robótica o maquinaria.

De las posibles aplicaciones del modulo en los campos anteriormente mencionados se tomará uno solo para su desarrollo total y construcción, por efectos de complejidad y tiempo establecido se describirán sin detalle minucioso los demás campos que se encuentren durante el proyecto.

Bio-configurar y construir un modelo funcional de un sistema modular con base en la síntesis de principios formales y funcionales de un insecto *ortóptero alado* escogido de una *subfamilia* y *genero*, es el objetivo principal del trabajo de investigación propuesto.

El objeto de estudio, se seleccionará de una especie del orden de insectos alados hermimetábolos, ortóptero, subfamilia y genero de la región de Santander Colombia.

La bio-configuración se realizará con base en principios formales y funcionales, fundamentado el análisis en principios del diseño como: interrelación, coherencia formal, repetición, estructura, similitud, gradación, radiación, anomalía, contraste, concentración, simetría, textura, espacio, color y proporciones.

1.3 LIMITACIONES DEL PROYECTO.

Debido al tiempo estudiantil se simplificará el proyecto a la construcción de una sola aplicación, escogida del rango de múltiples propósitos establecido previamente en el análisis de alternativas.

Por la gran cantidad de variables existentes en un medio abierto, se establecerá un contexto específico, controlado para el análisis del grillo con elementos técnicos como cámaras que estén el alcance de los recursos locales.

La gran variedad existente de grillos tan solo en Colombia, es una motivación para el estudio de uno de ellos. El grillo al cual se le haga de estudio será el más encontrado en la región de Santander.

La construcción del modelo funcional estará limitada por la tecnología regional, pudiendo variar el material propuesto por otro de fabricación.

2 MARCO TEORICO

2.1 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

(Según Borror et. al., 1989)

Los verdaderos grillos componen la subfamilia Gryllinae, perteneciente a la familia Gryllidae, ubicada según Borror et al, en la siguiente jerarquía taxonómica

ReinoAnimalia
DivisiónArtropoda
ClaseHEXAPODA (Insecta)
Ordenortóptera
SubordenEnsífera:

Este nivel se caracteriza por agrupar a los orthópteras de antenas largas, es decir, longitud mayor a la mitad del cuerpo.

FamiliaGryllidae (grillos comunes)

Se diferencian de los saltamontes porque no poseen tarsos con más de 3 segmentos, el ovipositor generalmente a forma de aguja o cilíndrico más que aplanado. Las alas son curvas hacia abajo, más bien afiladas a los lados del cuerpo. La familia esta compuesta por las siguientes subfamilias:

SubfamiliaOecanthinae (Grillos árbol)
Subfamilia Eneopterinae (Grillos arbusto)
SubfamiliaTrigonidiínae (Grillos arbusto)
SubfamiliaMogoplistinae (Grillo escamoso)
SubfamiliaMyrmecophilinae (Grillos ant-loving)
SubfamiliaNemobiínae (Grillos de Suelo)
SubfamiliaGryllinae (Grillos de Casa y Campo)
SubfamiliaBrachytrupinae (Grillos de cola corta).

Siendo de nuestro interés la sufamilia Gryllinae a la que pertenece el grillo objeto de estudio y con su género definido como *Anurogryllus muticus*. Los grillos son grandes, sencillos para criar y manipular, y diversos en su comportamiento acústico, ecología y ciclos de vida.

2.2 CICLO DE VIDA

Los insectos son agrupados en tres categorías ametábolos, hemimetábolos y holometábolos de acuerdo a la magnitud del cambio en metamorfosis. Los grillos son insectos hemimetábolos, que durante el desarrollo larval usualmente no sufren cambios marcados en la forma del cuerpo, cada instar sucesivo es esencialmente similar al anterior, pero el grado de cambio del último instar larval a adulto, varía considerablemente y puede ser muy marcado. Etapa durante la cual se alcanza la madurez sexual y el desarrollo alar.

El género *Gryllus sp* particularmente manifiesta ciclos de vida estacionales. En Norte América se ha encontrado que especies de *Gryllus* desde la misma localidad geográfica, puede tener muy diferentes historias de vida estacionales.

De hecho, los dos grillos de campo más abundantes, los grillos del Noreste están separados principalmente por sus historias de vida. *Gryllus veletis* and *G. pennsylvanicus* (grillos de campo de primavera y otoño) no difieren en cantos o hábitos y difieren morfológicamente solo en la longitud promedio del ovipositor, relativa a la longitud del cuerpo.

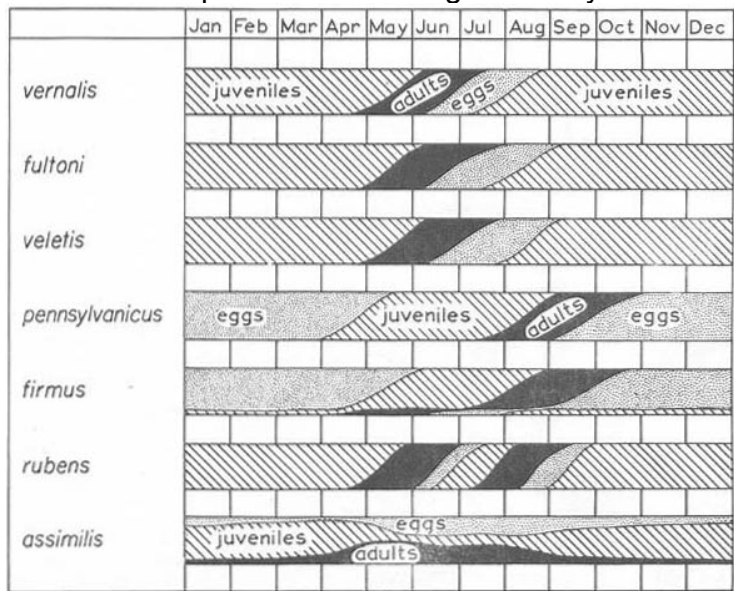
Sin embargo, *G. veletis* pasa el invierno como juveniles de tamaño medio y maduran en primavera, mientras *G. pennsylvanicus* pasa el invierno como huevo y madura en otoño.

Las dos especies co-ocurren como adultos en muy pequeños números, solo brevemente a mitad del verano. Así, excepto para los especímenes colectados ocasionalmente durante el periodo de traslape, los datos de colección son suficientes para distinguir adultos de las dos especies.

G. veletis and *G. pennsylvanicus*, como muchos otros *Gryllus*, tienen una sencilla generación anual. Algunas especies tienen dos generaciones discretas por año (*G. rubens*) y otros tienen generaciones que se traslapan (*G. assimilis*). *G. firmus* en Gainesville, Florida, tiene una gran variedad de respuestas a las estaciones. Esta especie pasa el invierno en todos los estados excepto en forma de pequeños juveniles, y los huevos de una única hembra pueden salir del cascarón en un periodo de cinco meses resultando juveniles que pueden madurar durante un periodo cercano a nueve meses.¹

¹ CHAPMAN, R. F. The insects structure and function. Ed. II. Elsevier. New York 1979.

Figura 1 . Ciclos de Vida Representativos del genero Gryllus



Fuente: ALEXANDER, R. 1968

2.3 MORFOLOGIA

2.3.1 Integumento.

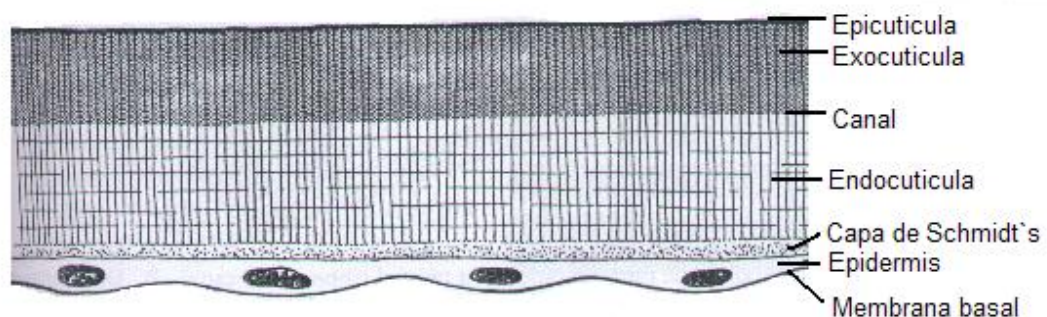
Los insectos carecen de esqueleto cuya función es ejercida análogamente por la pared del cuerpo. La formación de platos duros, denominados escleritos, ubicados en la parte exterior de la pared del cuerpo, le proporciona al insecto un sistema esquelético, entendido como el soporte estructural de todos los órganos y sistemas que lo componen.

2.3.1.1 Composición Estructural y Química.

La pared del cuerpo está compuesta de tres capas principales: una capa basal celular, la epidermis; una capa acelular pequeña bajo la epidermis (hacia el interior del animal), la membrana basal; y otra capa acelular, hacia el lado más externo y secretada por las células de la epidermis, la cutícula (Fig.1).

La cutícula químicamente es compleja, difiere en estructura de una especie a otra, pero aun mas difieren en sus características de una parte de un insecto a otra. Está hecha de cadenas de un polisacárido, quitina, intercalado en una matriz de proteína. La quitina primariamente está hecha de monómeros del azúcar N-acetilglucosamina. Las cadenas individuales están entrelazadas formando microfibrillas que están frecuentemente depositadas hacia abajo paralelamente en una capa llamada lámina.

Figura 2. Representación esquemática de una sección madura de cutícula y epidermis



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

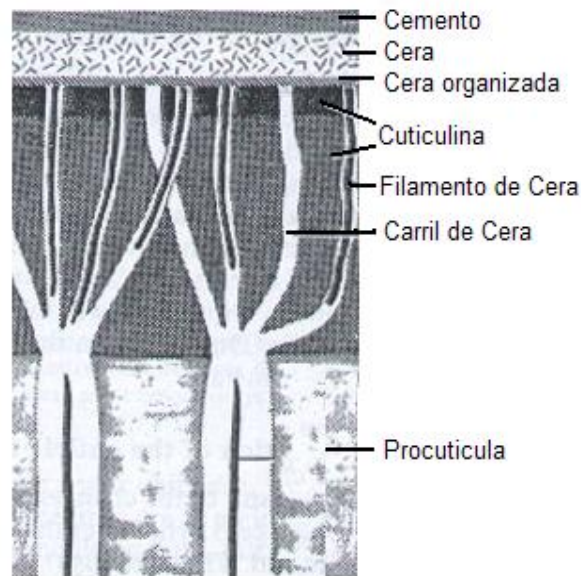
La dureza de la cutícula no está dada por la quitina, ha derivado de modificaciones de la matriz de proteína en la cual las microfibrillas son incrustadas. La cutícula inicialmente secretada por la epidermis se denomina procutícula, es suave, flexible, pálida en color y expandible. La formación de escleritos en esta cutícula es el proceso de endurecimiento y oscurecimiento, o esclerotización. Cada cutícula esclerotizada es llamada exocutícula, bajo ella puede existir cutícula no endurecida llamada endocutícula. Esta endocutícula flexible forma las membranas ("pleuras") que conectan los escleritos y puede ser resorbida dentro del cuerpo antes de la muda.

Encima de la endocutícula y la exocutícula hay una muy delgada capa acelular, la epicutícula (Fig. 2). Así misma está conformada de capas, la epicutícula interna, la epicutícula externa o cuticulina, una capa de cera, y una capa de cemento. La epicutícula no contiene quitina.²

² CHAPMAN, R. F. Ibid., p. 19.

La capa de cera es importante ejerciendo control del movimiento de agua a través de la pared del cuerpo (la exocutícula y la endocutícula son permeables al agua).

Figura 3. Representación esquemática de una sección transversal de la Epicutícula.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

Los escleritos frecuentemente están subdivididos por surcos y crestas, o proyecciones hacia el interior del cuerpo como apoyos internos o apodemas. En general los surcos señalan invaginaciones de la cutícula de la pared exterior del cuerpo llamada sulcus (plural sulci). El término sutura es ampliamente utilizado y se refiere a la línea de fusión entre dos escleritos separados anteriormente.³

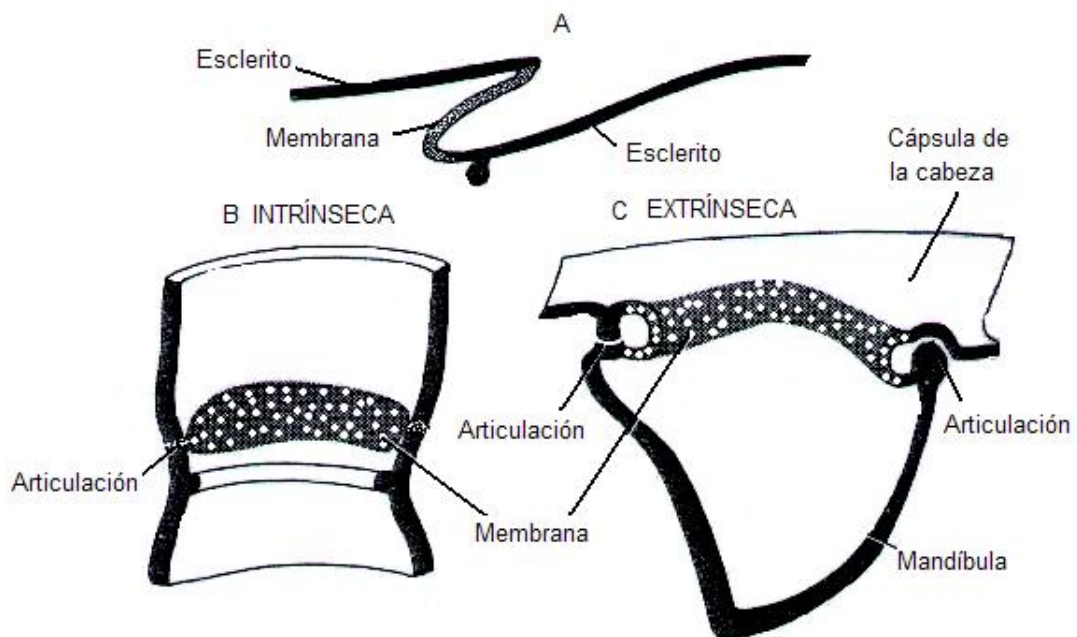
2.3.1.2 Funciones del Integumento.

La pared del cuerpo le brinda protección y soporte a las estructuras internas y externas del insecto. Ofrece puntos de inserción muscular, versatilidad de movimientos que dependen de la complejidad del integumento, así como, permite la percepción de estímulos y la comunicación entre diferentes individuos de la población.

³ Ibid., p. 19.

Para proporcionar flexibilidad a la cutícula unas partes de ésta tienen completamente diferenciada la exocutícula, conformando los llamados escleritos que se unen a regiones de la cutícula que permanece membranosa. La extensión de la membrana y el método de articulación de los dos escleritos adyacentes determinan el grado de movimiento que puede darse en la junta. Se han organizado tres tipos de uniones o juntas que pueden observarse claramente en diferentes regiones del cuerpo (Fig. 3). En el abdomen los segmentos están unidos por una membrana extensa y no constituye un punto de contacto entre escleritos adyacentes tanto que el movimiento es restringido (Fig. 4A). Mas usualmente los escleritos hacen contacto uno con otro para formar verdaderas articulaciones que pueden ser monocondílicas o dicondílicas dependiendo de si son uno o dos puntos de articulación.

Figura 4. Esquema de los diferentes tipos de juntas entre áreas esclerotizadas.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

(A), Membrana intersegmental extensa sin articulación entre escleritos. (B), Articulación intrínseca de la junta dicondíllica de la pata. (C), Articulación dicondíllica de la mandíbula con la capsula de la cabeza. Articulaciones extrínsecas. Regiones en negro muestran los bordes esclerotizados, la membrana en regiones punteadas.⁴

⁴ Ibid., p. 19.

La articulación monocondílica, como el caso de la antena con la cabeza, permite una considerable libertad de movimiento, mientras la articulación dicondíllica, como ocurre en muchas de las uniones de la pata, limita más el movimiento, pero le brinda más precisión. Las superficies articulares pueden quedarse dentro de los límites de la membrana, intrínseca, como en muchas de las juntas de la pata (Fig. 4B), o ellas pueden quedarse fuera de esta, extrínseca, como por ejemplo la articulación mandibular (Fig. 4C).

2.3.2 Segmentación.

La segmentación del cuerpo es un carácter muy ancestral. Esta característica significó una ventaja competitiva con relación a los invertebrados no segmentados; con ello adquirieron una mayor capacidad y precisión en los movimientos corporales.

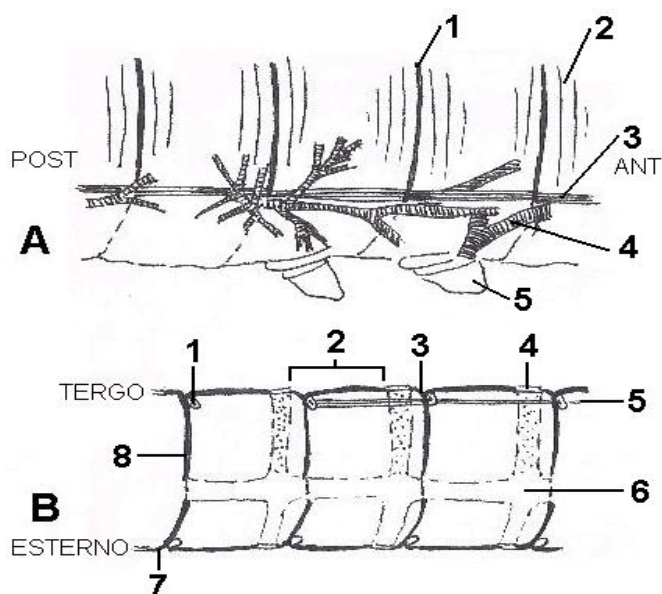
La segmentación, no sólo fue superficial y externa, se manifiesta también internamente en todos los sistemas corporales, derivados del mesodermo y ectodermo. Cada segmento se constituyó así en una unidad relativamente autónoma, con centro nervioso, respiración y musculatura propia.

En insectos de cuerpo blando, como es el caso de las larvas, la segmentación se observa externamente en forma de anillos corporales, separados por líneas intersegmentales suavemente constrictas. Internamente estas líneas intersegmentales son coincidentes con los puntos donde se fijan los músculos longitudinales del cuerpo. Estos músculos, recorren libremente el cuerpo de los invertebrados en sentido longitudinal. Esta segmentación se conoce como segmentación primaria, por corresponder a la segmentación ancestral (Fig. 5A).

La esclerotización del integumento característica de la mayoría de los adultos y algunas formas juveniles, forma escleritos que no corresponden con los límites del segmento primario; de no ser así, la rigidez del esclerito al ocupar el ámbito del segmento impediría toda la acción de los músculos longitudinales, ya que estos están insertos en los extremos de los segmentos, es decir, en las líneas intersegmentales. La esclerotización de los segmentos, solo ocurre en el dorso (tergo) y en el vientre (esterno). Cada esclerito se extiende hacia delante del otro segmento inmediatamente anterior. Esta particular condición anatómica, permite reconocer de adelante hacia atrás en cada segmento las siguientes secciones, acroterguito, dorsal o acroesternito ventral (borde anterior de cada esclerito), antecosta (punto de inserción de los músculos longitudinales), tergo (dorsal) o esterno (ventral) porción mayor del esclerito, posterior a la sutura se localiza la

membrana o sector no esclerotizado primario u original, que se extiende hasta el acroterguito del siguiente segmento. Con esta nueva organización, se establece, una nueva relación mecánica entre las partes esclerotizadas y las membranas de los segmentos originales, conocida como segmentación secundaria (Fig. 5B).⁵

Figura 5. Esquema detallando la organización de un segmento típico de un insecto.



Fuente: OSUNA, A. E. 1995.

(A), SEGMENTACIÓN PRIMARIA larva de Lepidóptero; antecosta 1, pliegues del segmento 2, músculo longitudinal 3, traqueas 4, pseudopata 5. (B), SEGMENTACIÓN SECUNDARIA Porción del abdomen de Grillo); apodema 1, segmento 2, acroterguito 3, membrana intersegmentaria 4, musculatura longitudinal 5, pleura 6, acroesternito 7, antecosta 8.⁶

En la segmentación secundaria Los músculos se insertan sobre apodemas presentes en la antecosta, esta inserción no corresponde con los límites del segmento secundario, permitiendo que los segmentos se imbriquen. Debido a la

⁵ Ibid., p. 19.

⁶ OSUNA, A. E. Morfología del exoesqueleto de los insectos. Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1995.

esclerotización se generan zonas rígidas antes de la antecosta (acroterguito y acroesternito), delante de ellas se localiza la membrana intersegmentaria; cuando se contrae el músculo longitudinal se da la imbricación de los segmentos, permitiéndole el insecto de manera general, reducir su longitud.⁷

2.3.3 Tagma cefálico.

El tagma cefálico ofrece el polo de orientación del animal, por ello se han desarrollado allí, la mayoría de los órganos sensoriales. Tiene dos funciones principales, la primera, el mantenimiento de la vida; la segunda, para la identificación, protección y adecuación en el medio. En los insectos, producto de la consolidación de varios segmentos corporales se constituyó la cabeza, la cual está recorrida por diversas invaginaciones del integumento o suturas que generalmente refuerzan la cabeza, dan fijación a la musculatura de los apéndices y dan apoyo a las articulaciones.

Los apéndices cefálicos para la mayoría de los insectos son: las antenas, ojos compuestos y otros órganos, los demás corresponden al aparato bucal y se han derivado de los segmentos genatales.

2.3.3.1 Cabeza.

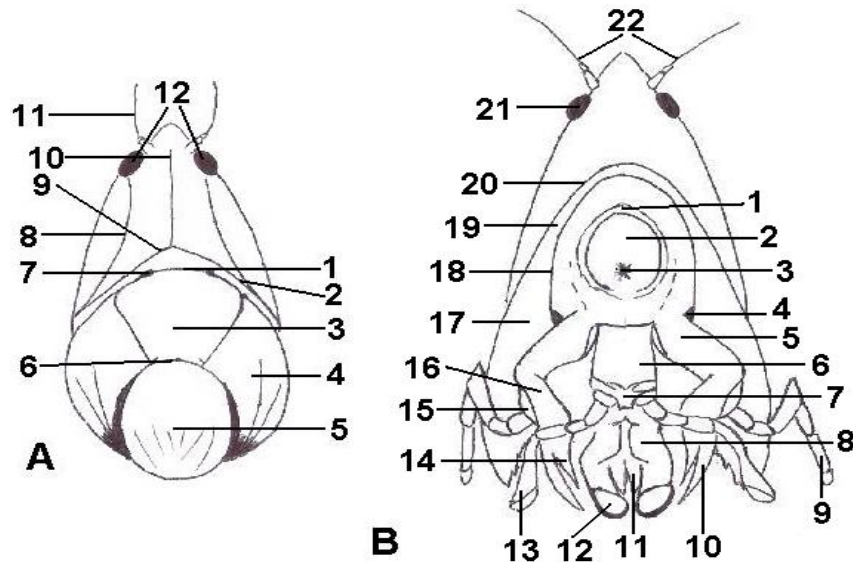
La cabeza en ortópteras está recorrida por invaginaciones del integumento o suturas, que internamente corresponden con crestas, sitios de refuerzo a la cabeza que dan fijación a la musculatura y dan apoyo a las articulaciones.

Los siguientes esquemas muestran las regiones y suturas generales de la cabeza en ortópteros (tipo Hipognata).

⁷ CHAPMAN, Op.cit.,p. 19

2.3.3.2 Aparato Bucal.

Figura 6. Diagramación de la cabeza de un Ortóptera.



Fuente: Autor.

(A), Vista frontal; sutura frontoclipeal (epistomial) 1, sutura subgenal 2, clipeo 3, mandíbula 4, labro 5, sutura clipeolabral 6, hueco tentorial anterior 7, sutura subocular 8, sutura frontal 9, sutura coronal 10, antena 11, ojos 12. (B), Vista posterior; cuello 1, foramen mágnico 2, punto donde confluyen los principales sistemas 3, hueco tentorial posterior 4, cardo 5, postmentón 6, mentón 7, prementón 8, palpo maxilar 9, galea 10, glosa 11, paraglosa 12, palpo labial 13, lacinia 14, palpíger 15, estipe 16, mandíbula 17, sutura postoccipital 18, occipital 19, sutura occipital 20, ojo 21, antenas 22.

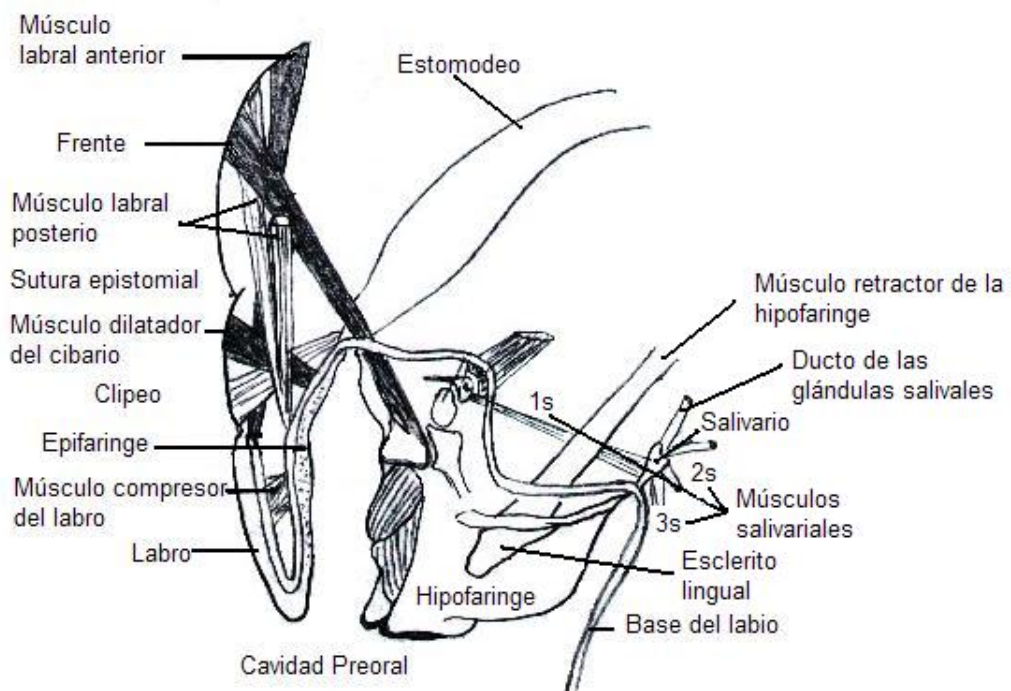
El aparato bucal (gnatal) ha sufrido diversas especializaciones en los diferentes grupos de insectos, pero de forma general sigue algunos modelos básicos que dependen de los hábitos alimenticios. El estudio de los aparatos bucales es importante para determinar hábitos de alimentación de una especie, tipos de daños provocados y su relación con el resto de la comunidad ecológica. Según la posición de las piezas bucales en la cabeza podemos distinguir 3 grupos: hipognatos (hacia abajo), prognatos (hacia adelante) y opistognatos (hacia atrás).⁸

⁸ Ibid., p. 21

Los ortópteros presentan un cabeza de tipo hipognata con aparato bucal mandibulado (poco modificado); se cree es el tipo más primitivo. Está formado por un labro o labio superior móvil, un par de mandíbulas sin palpos, dos maxilas libres con palpos móviles y un labio inferior que en realidad está formado por la soldadura de dos maxilas y dotado de dos palpos.

La epifaringe es muy pequeña comparada con la hipofaringe; ubicada en la parte posterior interna de labro sosteniendo sensilas, frente a ella se localiza la hipofaringe bastante gruesa, a manera de lengua (Fig. 7)⁹

Figura 7. Vista interna de la cavidad preoral.

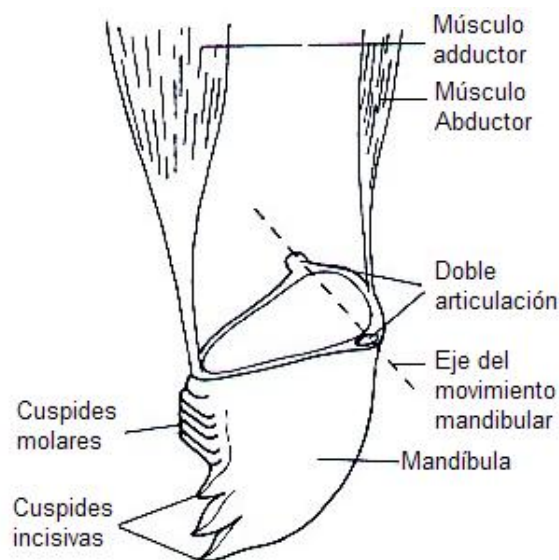


Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

⁹ Ibid., p. 21.

Las mandíbulas son usadas para atrapar objetos o masticar comida sólida, pero también pueden ser usadas para defensa, cortejo o construcción. Las mandíbulas son de gran tamaño con varios lóbulos, el primero, el lóbulo incisivo que es agudo, seguido de los lóbulos molares. Está sujeta por dos grandes músculos el aductor y el abductor mandibular (Fig. 8).

Figura 8. Diagrama de la mandíbula de un insecto pterygota.



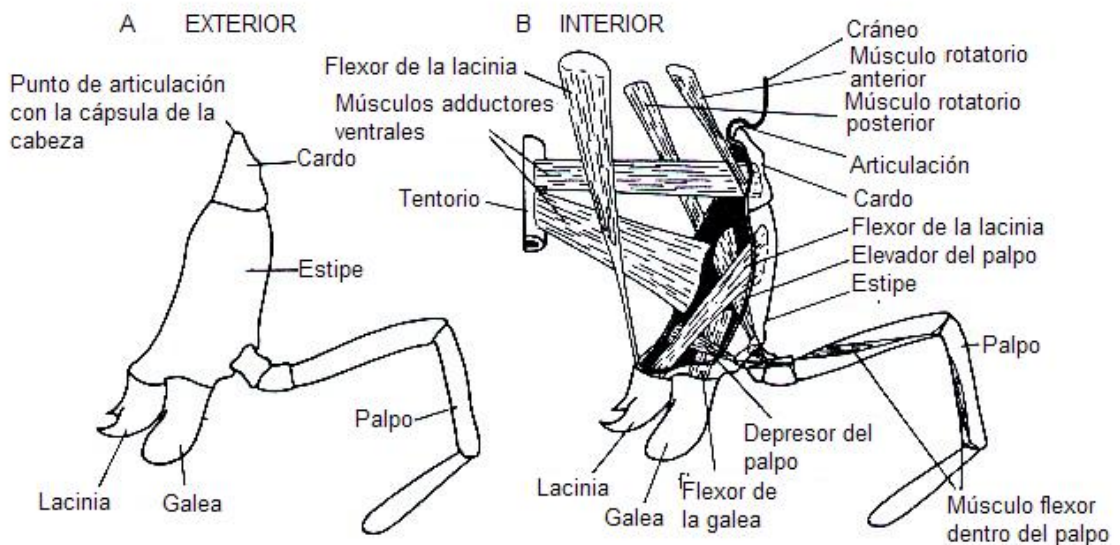
Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

Las maxilas ocupan una posición lateral en la cabeza detrás de las mandíbulas. La parte proximal de la maxila consiste de un cardo basal, el cual articula con la cabeza y un plato aplanado, el estipe, apoyado en el cardo. Ambos cardo y estipe están flojamente unidos a la cabeza por una membrana tanto que ellas son capaces de moverse. Distalmente en el estipe existen dos lóbulos, uno interno lacinia y uno externo galea, (Fig. 9A),

Los músculos de la maxila son comparables con aquellos de la mandíbula. Los músculos rotatorios anterior y posterior están insertados en el cardo y un músculo aductor ventral se origina en el tentorio y se inserta en el cardo y el estipe. En el estipe están los músculos flexores de la lacinia y la galea, el flexor de la lacinia se origina desde el cráneo, pero ningún lóbulo tiene músculo extensor. El palpo

maxilar tiene un músculo elevador y uno depresor que se originan desde el estipe y cada segmento del palpo posee un músculo sencillo que causa la flexión del siguiente segmento (Fig. 9B).¹⁰

Figura 9. Diagrama de la maxila vista desde el exterior (A) y vista interiormente (B) para mostrar la musculatura.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

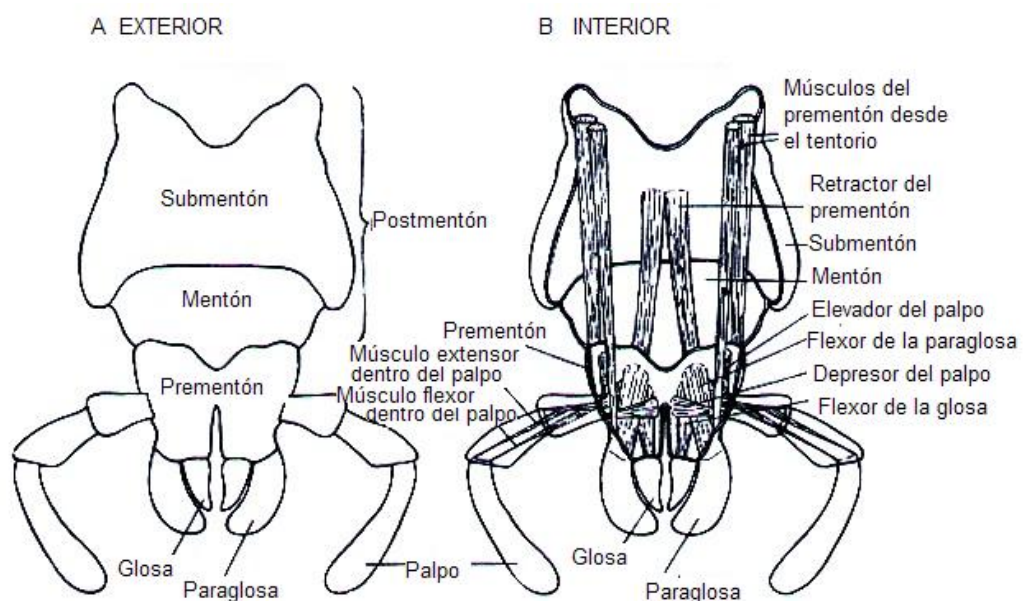
El labio es una estructura similar a la maxila, pero con los dos apéndices de los lados fusionados en la línea media conformando un plato medial (Fig.10). La parte basal del labio denominada postmentón que se halla subdividida en un submentón proximal y un mentón distal. Distal al postmentón, y equivalente a la fusión de las estipes maxilares se localiza el prementón. Terminalmente este sostiene cuatro lóbulos, dos internos denominados, glosa y dos externos, paraglosa, los cuales colectivamente son conocidos como lígula. El postmentón es separado por la sutura labial del prementón que puede o no estar dividido por completo sosteniendo en el extremo la glosa y la paraglosa (Fig. 10A).

La musculatura corresponde con la musculatura de la maxila, solo que el postmentón no posee musculatura. Los músculos correspondientes con los aductores ventrales corren desde el tentorio hasta la parte trasera y frontal del prementón; la glosa y la preglosa tienen músculos flexores, pero no extensores, y el palpo tiene músculos elevadores y depresores originados en el prementón (Fig. 10B). Cada segmento del palpo tiene músculos flexores y extensores.

¹⁰ Ibid., p. 21.

Además se encuentran otros músculos no equivalentes con los maxilares. Dos pares de músculos se originan en el prementón y convergen en la pared del salivario en la unión del labio con la hipofaringe. En par de músculos opuestos a estos se originan en la hipofaringe y el efecto combinado de estos puede estar regulado por el flujo de la saliva o el movimiento del prementón (Fig. 7)¹¹

Figura 10. Diagrama del labio visto desde el exterior (A) y desde adentro (B) para mostrar la musculatura.

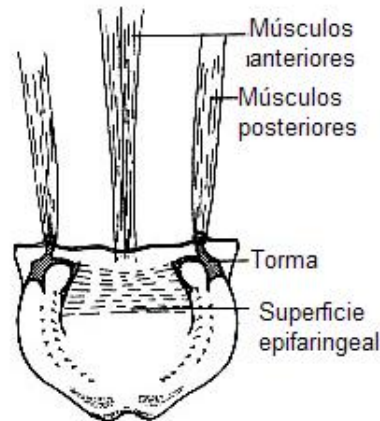


Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

El labro es un amplio lóbulo suspendido desde el cípeo en la parte frontal de la boca y forma un labio superior. En su cara interior este es membranoso y puede estar formado dentro de éste un lóbulo mediano, la epifaringe (Fig. 7), sosteniendo algunas sensilas. El labro es elevado fuera de la mandíbula por dos músculos originados en la cabeza e insertados medialmente en el margen anterior del labro.

¹¹ Ibid., p. 21.

Figura 11. El labro desde la superficie posterior, epifaringeal.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

Este es cerrado contra las mandíbulas por otros dos músculos originados desde la cabeza e insertados en el margen latero-posterior en dos pequeños escleritos, la torma (Fig. 11). El uso diferencial de estos músculos puede producir un movimiento oscilante del labro.

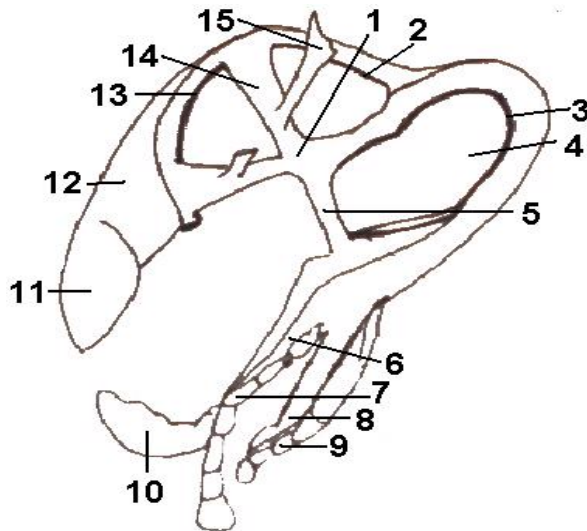
2.3.3.3 El tentorio.

El tentorio es la porción más importante del endoesqueleto de la cabeza, se halla suspendido en medio de la cavidad cefálica por cuatro brazos que se conectan al exoesqueleto a nivel del peristoma. Está formado por invaginaciones del integumento que se hicieron confluentes para formar un cuerpo central conocido como el corpotentorio o cuerpo del tentorio. Cada una de las invaginaciones forman los brazos del tentorio, dos anteriores y dos posteriores.

Los puntos por donde se produce la invaginación se conocen como “huecos tentoriales o punturas tentoriales”, anterior y posterior; (HTA y HTP respectivamente) estas ocurren en la cercanía de la sutura peristomial, que está conformada por la sutura epistomial (Sutura frontoclipeal), subgenal e hipostomial, a su vez, las punturas tentoriales posteriores están cercanas a las bases de la sutura postoccipital.¹²

¹² Ibid., p. 21.

Figura 12. Esquema del tentorio de un Ortóptero visto en posición latero-dorsal; corpotentorio.



Fuente: Autor.

La 1, sutura subgenal 2, sutura postoccipital 3, foramen mágnum 4, brazo tentorial posterior 5, maxila 6, palpo maxilar 7, palpo labial 8, labio 9, mandíbula 10, labro 11, clípeo 12, sutura frontoclipeal 13, brazo tentorial anterior 14, brazo dorsal 15.

En algunos casos los brazos posteriores pueden estar unidos entre sí cerca del foramen mágnum, formando el puente del tentorio (Fig. 12). El tentorio ofrece soporte y resistencia interna a la cabeza, sirve como punto de fijación de algunos músculos de las mandíbulas, maxilas y labio, a los rotatorios de la antena, a los retractores de la hipofaringe y a los dilatadores del estomodeo, también sirve de soporte al estomodeo y de cobertura al ganglio esofágico.

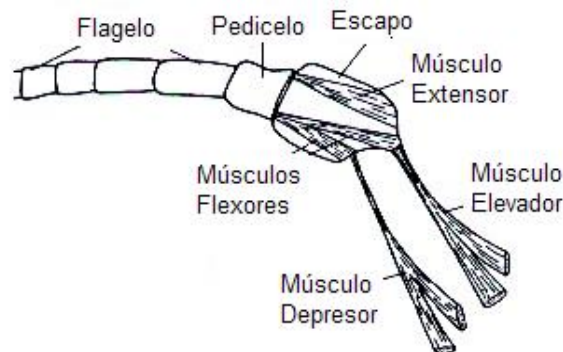
En la mayoría de ortópteras el tentorio presenta dos brazos dorsales, más frágiles en relación a los brazos tentoriales anteriores y posteriores, estos brazos dorsales le brindan soporte a algunos músculos antenales y oculares.

2.3.3.4 Antenas.

La forma general de las antenas en ortópteras es filiforme y varía en longitud dependiendo de la especie. El tipo de antenas que presentan es anulada, en la cual, solo el primer segmento o escapo presenta musculatura; el segundo segmento, el pedicelo y el resto de los segmentos o flagelos (denominados así en conjunto) no poseen musculatura (Fig. 13). La totalidad de la antena es movida por músculos extrínsecos del escapo, que se insertan en el brazo dorsal del tentorio. La musculatura extrínseca varía de un grupo a otro en cuanto a número y

sitio de inserción de los haces musculares, sin embargo se reconocen cuatro músculos principales.

Figura 13. Proximales de la antena anillada de *Locusta sp* (orthóptera) en vista lateral.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

Las antenas son movidas por los músculos elevador y depresor originados en los brazos tentoriales anteriores y se insertan dentro del escapo, y los músculos flexores y extensores que se originan en el escapo y se insertan dentro del pedicelo (Fig. 8). Estos músculos no están en el flagelo y el nervio que recorre el flagelo es netamente sensorial.

Las antenas juegan tal vez el papel más importante en relación a la sensibilidad en los insectos. El órgano de Johnston ocurre en el pedicelo de las antenas anuladas, el cual, es un órgano que percibe el movimiento y tensión en el flagelo, así funciona como órgano regulador de la velocidad del vuelo entre otras.

2.3.4 Tagma torácico.

2.3.4.1 El Tórax.

El tórax en los insectos es la región especializada para la locomoción formada por tres segmentos que corresponden a los segmentos sexto, séptimo y octavo del cuerpo, denominados por, meso y metatórax. Su origen se considera muy antiguo en la historia evolutiva de los insectos. La condición de seis patas cerca de la cabeza, constituyó, en cuanto a número y ubicación, la condición más eficiente para realizar rápidos movimientos con gran estabilidad; se cree que en respuesta a estas exigencias funcionales y mecánicas fue que se sucedió la evolución inicial

del tórax y el abdomen. El tórax típico de Insecta es una estructura exclusiva, en la cual la base de los apéndices se ha modificado de manera única, lo que permitió una gran cantidad de movimiento en las patas y el desarrollo de las alas en el segmento basal de los mismos.¹³

2.3.4.1.1 Regiones externas del tórax.

El tórax está integrado por tres segmentos, que reciben los nombres de protórax, mesotórax (donde se ubican dos pares de alas) y metatórax, estos segmentos sirven de soporte a los apéndices locomotores: tres pares de patas.

En la evolución del tórax se pueden reconocer tres etapas: la primera, asociada con la especialización de las patas hacia una más activa y eficiente locomoción, como consecuencia de la ocurrencia de un proceso neoténico de retardo en el desarrollo de los apéndices no torácicos que se manifiesta con la no diferenciación de la subcoxa, coxa, y trocánter como partes funcionales del apéndice, permaneciendo como componentes de cada segmento cefálico y abdominal.

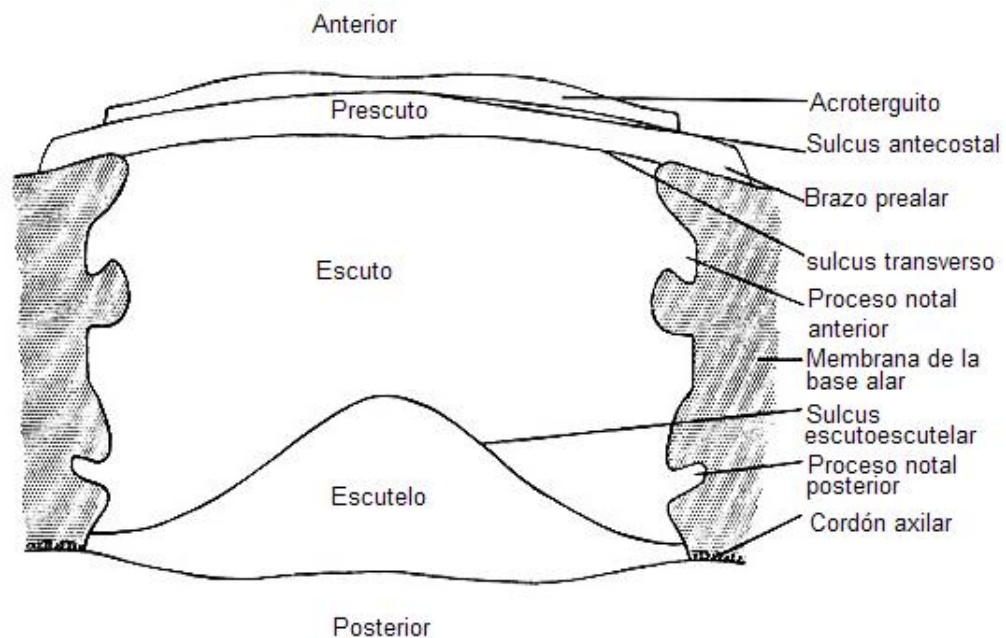
La segunda etapa en pterigotas comprende el desarrollo del ala a partir del éxito epicoxal; los cambios que acompañaron a estos desarrollos, incluyen la extensión de la subcoxa a toda la región pleural, la fusión y fortificación de esta con los demás escleritos torácicos, el fraccionamiento de la epicoxa para formar el mecanismo articular del ala. Los cambios indicados se observan en los tres segmentos del tórax siendo esto una evidencia de la ocurrencia inicial de tres pares de alas en el tórax

La tercera etapa es peculiar en apterigota, en la cual se contemplan las modificaciones asociadas al funcionamiento del ala, la modificación más importante es la formación del pterotorax por la unión de los segmentos meso, metatoraxico y primer abdominal.

En pterygota un tergo típico está constituido de adelante hacia atrás por acroterguito, prescuto, escuto, escutelo y posnota (postescutelo) no siempre presente (Fig. 14). Esta secuencia no siempre ocurre, lo cual ha generado interpretaciones controversiales acerca de su origen. También en este grupo los terguitos están definidos por suturas, que constituyen zonas de menor resistencia, las cuales proporcionan al tergo la elasticidad necesaria para el movimiento del ala.¹³

¹³ Ibid., p. 21.

Figura 14. El diagrama muestra las principales formaciones del noto de un segmento que soporta las alas. La membrana se muestra por regiones punteadas.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

El pronoto ubicado en el primer segmento torácico (Protórax), frecuentemente es pequeño y sirve únicamente como punto de fijación para músculos de la pata, en ortóptera y otros ordenes forma un gran plato que sirve de protección a los segmentos prerotorácicos (Fig. 15).

El meso y metatórax en insectos alados llegan a sufrir modificaciones por la formación de las alas. En la mayoría de insectos alados el movimiento hacia debajo de las alas dependen de una distorsión del tórax donde el tergo adquiere una forma convexa (ver mecanismo del vuelo). Esto es posible por una modificación del segmento típico.

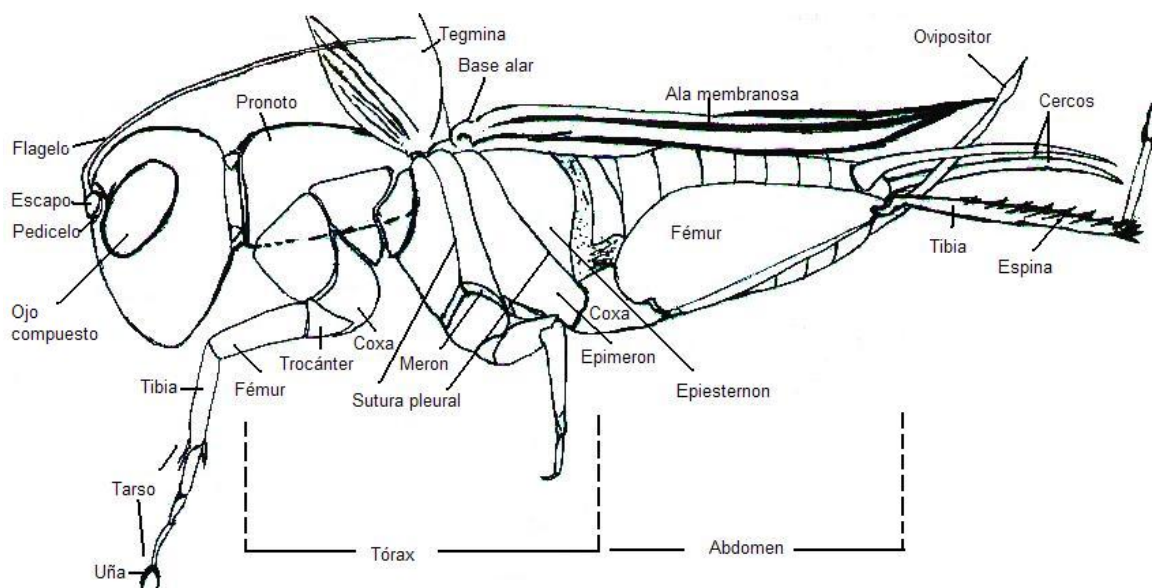
Los acroterguitos del metatórax y del primer segmento abdominal extendido hacia delante para unirse al tergo frontalmente, en muchos casos, llega a estar separado secundariamente de su segmento original por una estrecha región membranosa.

Cada acroterguito y sulcus antecostal es conocido como un postnoto. Esto puede así ser un mesopostnoto y un metapostnoto sí las alas son más o menos igualmente importantes en vuelo, pero sí solo las alas posteriores son importantes

en el vuelo como en ortóptera y Coleóptera, solo el metapostnoto es desarrollado. Varios puentes rígidos se desarrollan en el tergo de los segmentos alares los cuales son adaptaciones al estrés mecánico impuesto por las alas y sus músculos. Los puentes se reconocen por la formación de suturas externas las cuales dividen al noto en áreas siendo las más comunes escuto y escutelo.

Además la región lateral del escuto puede estar cortada o puede formar un sulcus longitudinal medial. Comúnmente el prescuto se conecta con la pleura por una extensión, el proceso prealar, en la región frontal del ala, mientras detrás del ala un proceso postalar conecta el postnoto con el epimerón. Lateralmente el escuto es producido en dos procesos, el proceso notal anterior y posterior el cual articula con los escleritos axilares en la base del ala (Fig. 16). El pliegue posterior del escutelo continúa con el cordón axilar siguiendo a lo largo el margen del ala.¹⁴

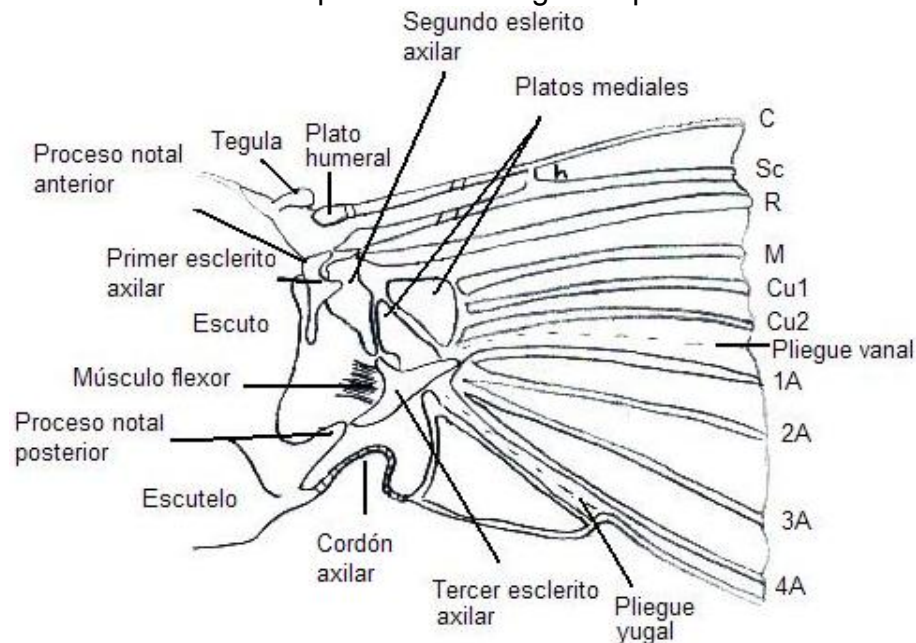
Figura 15. Esquema de las regiones y suturas del tórax de un grillo visto lateralmente.



Fuente: Autor.

¹⁴ CHAPMAN, R. F. Ibid., p.19.

Figura 16. Esquema representativo de un segmento alar visto lateralmente. Las regiones membranosas corresponden a las regiones punteadas.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

La región pleural del tórax en adultos es esclerotizada. Básicamente estos son probablemente tres escleritos pleurales, uno ventral y dos dorsales, los cuales pueden originalmente haberse derivado de la coxa. El esclerito ventral, o esternopleurito, articula con la coxa y llega a fusionarse al esterno haciendo parte integral de este.

Los escleritos dorsales, anapleurito y coxopleurito, en la mayoría de insectos se hayan fusionados formando el pleuron, pero el coxopleurito, el cual articula con la coxa, permanece parcialmente separado en algunos ordenes basales formando el trocántin y formando una segunda, articulación mas ventral con la coxa (Fig. 17B). Encima de la coxa el pleuron desarrolla un puente recto casi vertical, el puente pleural, marcado externamente por la sutura pleural. Esta divide el pleuron en un epiesternon anterior y un epimerón posterior.

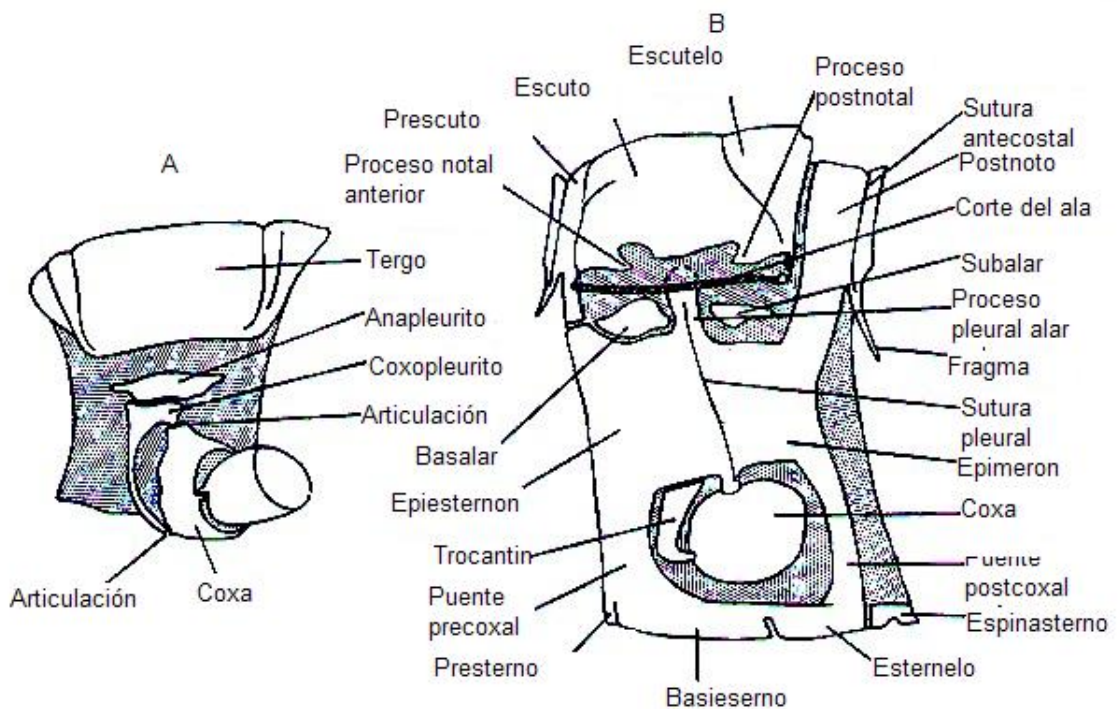
El puente pleural está bien desarrollado en los segmentos alares en cuyos extremos desarrolla dos procesos, uno dorsal que permite la articulación del ala con el segundo esclerito axilar en la base del ala. Ventralmente la sutura pleural desarrolla el proceso coxopleural que articula con la pata (Fig.17B).

Al igual que en la superficie dorsal, las esclerotizaciones primarias están separadas por platos segmentales e intersegmentales que comúnmente en el tórax se mantienen distanciadas. El esclerito intersegmental produce internamente una espina y este es llamado Espinasterno, mientras el esclerito segmental es llamado Eusterno (Fig. 18). En orthópteras varios grados de fusión ocurren formando una organización básica del Esterno.

A partir del esterno se forman un par de apófisis, las apófisis esternales (Fig. 19), cuyo punto de origen está marcado por puentes unidos por una sutura que divide al Eusterno en Basiesterno y Esternelo (Fig. 18).

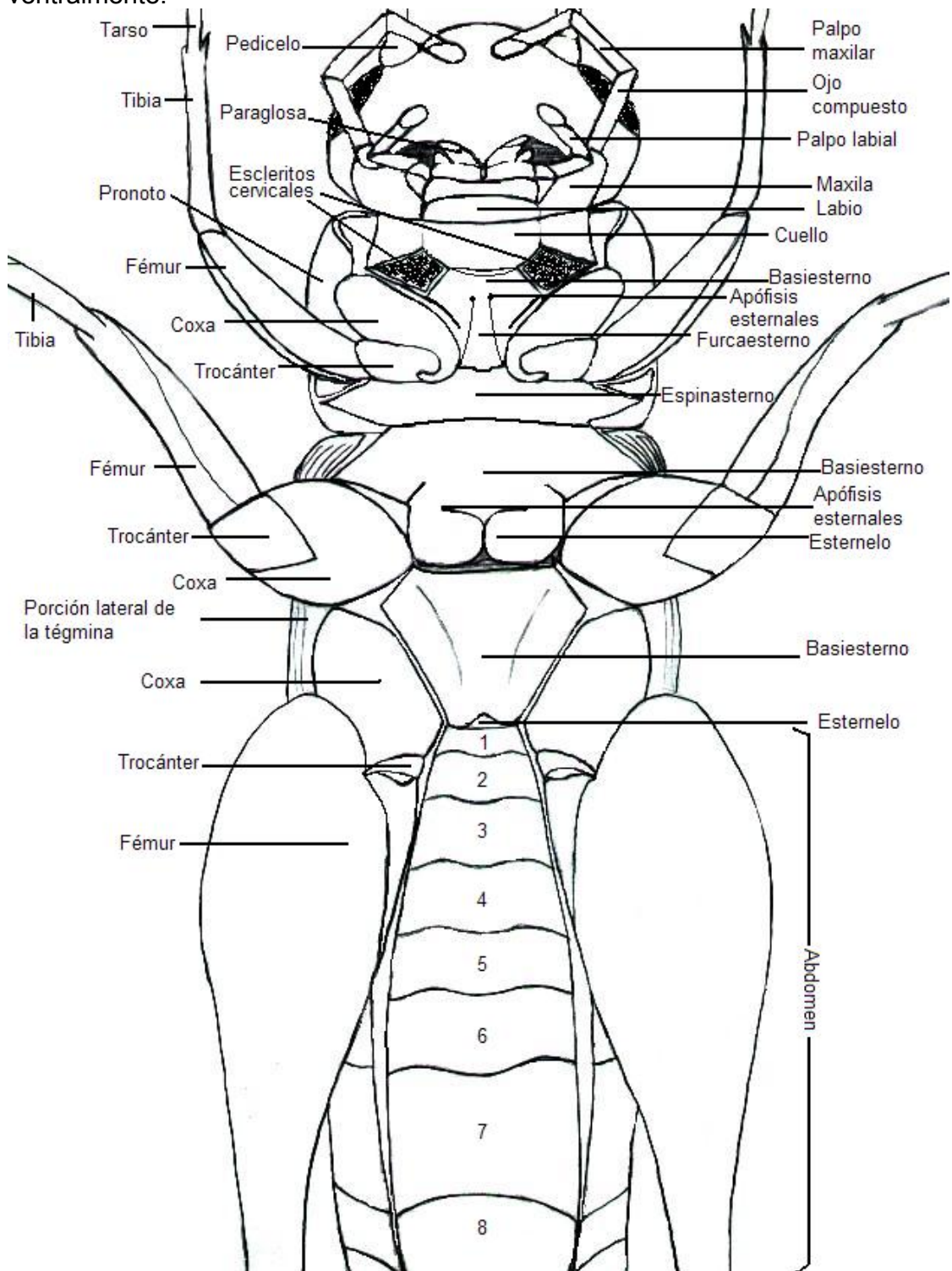
El esterno está conectado al pleuron por puentes pre y post coxales. El esterno de los segmentos alares o pterotorácicos no difieren marcadamente del pro torácico, pero usualmente el basiesterno es mucho más grande, proporcionando puntos de conexión de los grandes músculos tergoesternales involucrados en el vuelo del insecto.

Figura 17. (A), Diagrama de la articulación del ala con el tórax. (B), Vista lateral del tórax mostrando los músculos alares directos. La región pleural se asume por estar transparente.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

Figura 18. Regiones externas del esterno torácico de un Grillo visto ventralmente.



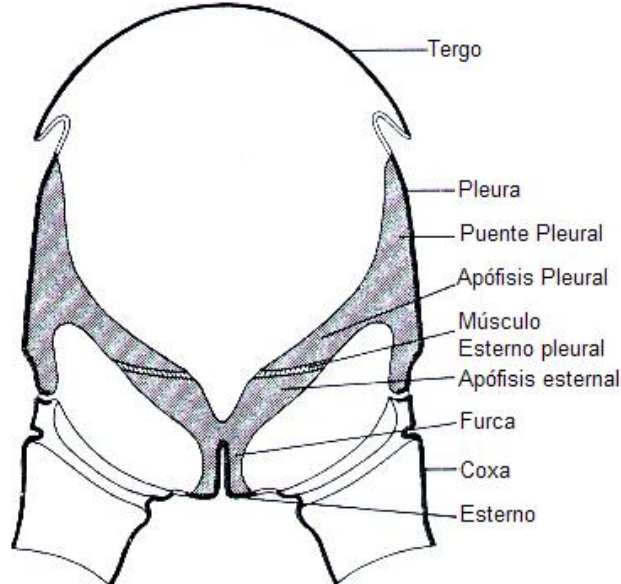
Fuente: Autor.

2.3.4.1.2 Regiones internas del tórax y Musculatura.

El proceso de tagmatización del tórax, especializando esta región como eje principal de la locomoción en los insectos, requirió grandes modificaciones a nivel externo e interno. El aumento en la capacidad de vuelo en los insectos, va acompañado de un aumento en la superficie disponible para la inserción de los músculos que intervienen en el movimiento de las alas; los fragmas del mesotórax, metatórax y del primer segmento abdominal aumentaron de tamaño, descendiendo profundamente dentro de la caja torácica, proporcionando una gran superficie de inserción de los músculos longitudinales dorsales (tergales), que actúan indirectamente sobre las alas.

En insectos mayores como los orthópteros, las dos apófisis se originan conjuntamente en la línea medial y solo se separan internamente formando la furca a manera de Y (Fig.19). Distalmente las apófisis esternales (AS) están asociadas con los extremos internos de los puentes pleurales (AP), usualmente conectándose con estos por músculos cortos (Fig. 19), los músculos esternopleurales (MPS). Esto adiciona rigidez al tórax, mientras la variación en el grado de contracción de los músculos hace variable y controlable la rigidez.¹⁵

Figura 19. Diagrama de la sección transversal de un segmento torácico mostrando el puente pleural y las apófisis esternales.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

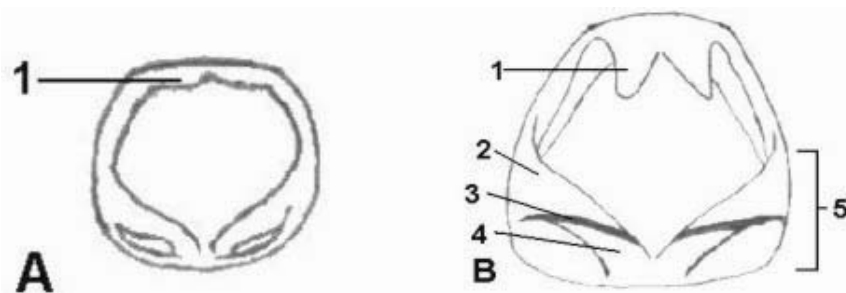
¹⁵ Ibid., p. 21.

Las apófisis esternales también sirven como punto de fijación de los músculos longitudinales ventrales, aunque algunas pocas fibras retienen sus primitivas conexiones intersegmentales con el espinasterno (Fig.21). La furca proporciona puntos de apoyo a músculos asociados con el movimiento de las patas.

Comparando los tres segmentos torácicos de un ortóptera se encuentra una organización estructural muy similar; sin embargo, hay diferencias entre ellos en cuanto al tamaño y proporción de los componentes internos.

El protórax de ortópteros, es pequeño a comparación con el mesotórax y el metatórax; los fragmas derivados de la extensión que sufre la antecosta hacia el dorso, son muy pequeños, al igual que la furca (Fig. 20 A). Internamente el segundo y tercer segmento torácico (figura 20B), muestran fragmas y furca de gran tamaño, para la mayor inserción muscular, requerida en el vuelo. El mesotórax en el caso de ortópteros, soporta las tégminas; mientras el metatórax lleva las alas propiamente dichas, encargadas del vuelo del insecto, así como de su maniobrabilidad en el aire, por ello, el metatórax presenta músculos más desarrollados (Fig. 21).

Figura 20. (A), Diagrama representativo de un segmento torácico que no soporta alas; fragmas dorsales 1. (B), Esquema de un segmento que soporta estructuras alares; fragmas dorsales 1, apófisis pleural 2, músculo esternopleural 3, apófisis esternal 4, furca 5.

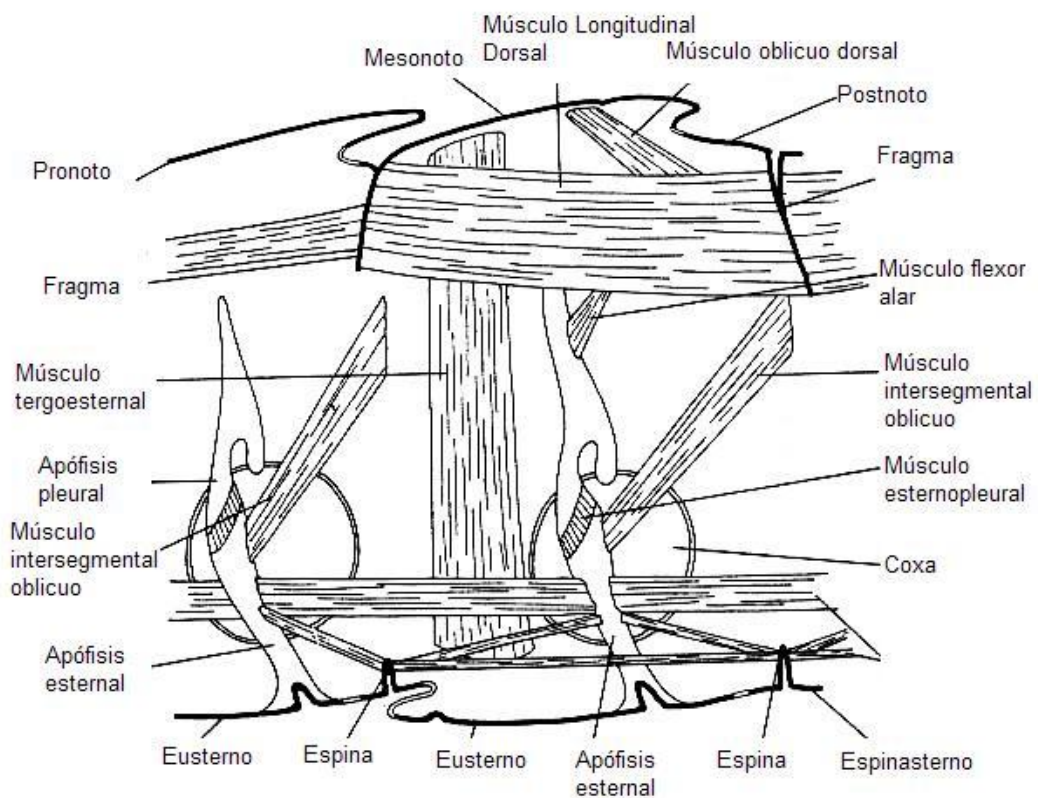


Fuente: Autor.

Los músculos longitudinales del tórax, como en el abdomen, van desde un puente antecostal al siguiente, dorsalmente se desarrollan prominentemente formando los músculos longitudinales dorsales (MLD), que van adquiriendo una mayor proporción desde el protórax hasta el metatórax (T3), donde alcanza el tamaño máximo. Estos en los insectos alados constituyen los principales músculos

depresores del ala, yendo de fragma a fragma causando con su contracción distorsión del segmento. Los músculos longitudinales ventrales (MLV) en insectos adultos van de una de la apófisis esternal a la siguiente; en el protórax este va inserto desde la espina hasta la base de la cabeza, aparentemente hasta el tentorio (Fig. 22)¹⁶

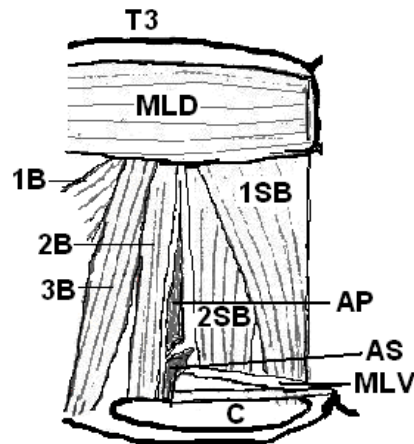
Figura 21. Principales músculos, otros músculos diferentes a los asociados a las patas, en el metatórax de un insecto alado.



Fuente: SNODGRASS, R. E. 1935.

¹⁶ SNODGRASS, R. E.. Principles of insect morphology. McGraw-Hill, New York, 1935.

Figura 22. Músculos del tórax relacionados con el vuelo. T3 Metatórax, coxa C, apófisis pleural AP, apófisis esternal AS.



Fuente: OSUNA, A. E. 1995.

El músculo longitudinal ventral oblicuo está insertado entre las apófisis esternales y la espina.

El músculo tergoesternal, formado por grandes fibras musculares que se apoyan desde el tergo hasta el esterno o el pleuron, su tamaño es muy similar en los tres segmentos torácicos (Fig.21) y están primitivamente involucrados con la rotación o compresión del segmento y en insectos alados actúan indirectamente en el vuelo.

Los músculos relacionados directamente con el vuelo forman dos grandes grupos (Fig. 16). Los músculos basales localizados hacia el extremo anterior del segmento, se halla conformado por tres paquetes musculares, el primero apoyado sobre el episternon (1B); el segundo, lateralmente en el esterno cerca al borde de la coxa (2B); el tercer paquete inserto sobre el borde externo anterior de la coxa hasta el esclerito basal (3B), y los músculos subalares ubicados hacia el extremo posterior del segmento, donde se observan claramente dos paquetes grandes de fibra muscular, uno se insertan en el borde posterior de la coxa (1SB), y el segundo, sobre el epimerón (2SB).

Los otros músculos torácicos están relacionados con el movimiento de las patas los cuales se tratarán más adelante.¹⁷

¹⁷ OSUNA, A. E. Morfología del exoesqueleto de los insectos. Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1995.

2.3.4.2 El cuello.

El cuello corresponde a la zona membranosa entre la cabeza y el protórax, es una región generalmente extensa y elástica que permite gran capacidad de movimiento a la cabeza, sin embargo puede ser corto o casi desaparecer

recubierto por el extremo anterior del protórax. La idea más aceptada sobre el origen del cuello actualmente, contempla la partición de la parte posterior del segmento labial y del anterior del segmento protorácico, quedando incluida en el cuello la línea intersegmental original entre ambos segmentos.

Los escleritos cervicales se hallan en el cuello como refuerzos de la membrana, como puntos de inserción muscular y soporte de la cabeza. Los escleritos cervicales ventrales se consideran como esclerotizaciones secundarias de la membrana cervical, que ocurren entre los escleritos laterales en insectos orthopteroides.

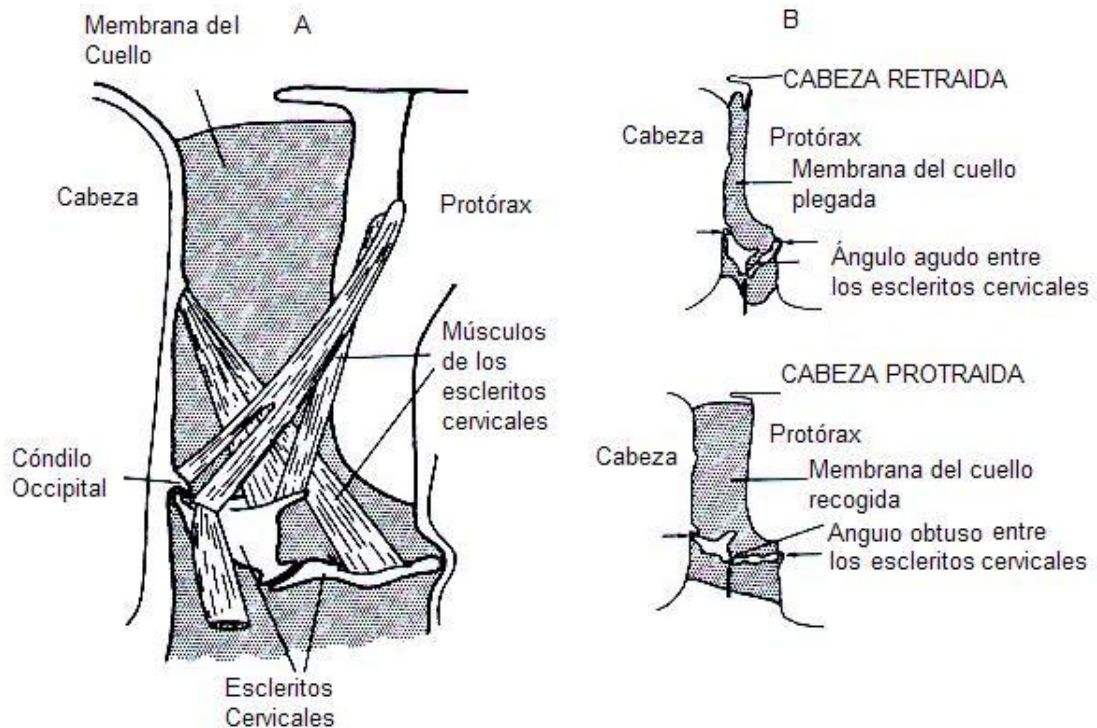
El cuello en orthopteroides presenta de manera general, un par de escleritos cervicales a cada lado; estos proporcionan puntos de articulación a la cabeza.

El primero articula anteriormente con el cóndilo occipital en la base de la cabeza y posteriormente con el segundo esclerito cervical el cual articula con el epiesternon protorácico. Los músculos se originan desde el postoccipucio y el pronoto están insertados en estos escleritos y su contracción incrementa el ángulo entre los escleritos tanto que la cabeza es empujada hacia delante. Un músculo originado ventralmente e insertado en el primer esclerito vertical puede ayudar en la retracción o movimiento lateral de la cabeza (Fig. 23B).

Los músculos que recorren el cuello son los músculos longitudinales, los músculos dorsales desde el puente antecostal del mesotórax hasta el puente postoccipital, y los músculos ventrales desde las apófisis esternales del protórax hasta el puente postoccipital o el tentorio (Fig. 23A). Estos músculos sirven a la retracción de la cabeza sobre el protórax mientras su contracción diferencial puede causar movimientos laterales de la cabeza.¹⁸

¹⁸ CHAPMAN, Op.cit., p. 19.

Figura 23. (A). El cuello y los escleritos cervicales de un saltamontes visto lateralmente. (B). diagrama mostrando cómo cambia el ángulo entre los escleritos cervicales cuando la cabeza es retraída y protraída. Las flechas indican los puntos de articulación.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

2.3.4.3 Apéndices Torácicos de Ortóptera.

En el tagma torácico, existen dos tipos de apéndices corporales, patas y alas, estos últimos no siempre presentes, cumplen la función básica de locomoción.

Partiendo de los once segmentos primigenios, la epicoxa se fusionó al tergo en donde su éxito fue prolongándose poco a poco hasta desarrollar las alas, estructuras membranosas soportadas sobre venas longitudinales y transversales, que han sufrido esclerotizaciones para formar estructuras de protección.

Las alas han desarrollado estructuras especiales para la sincronización del vuelo a fin de tener un menor gasto energético. La subcoxa se integro a la zona lateral del tergo, o pleura, para darle soporte y rigidez al mismo. Los demás segmentos

conforman las patas propiamente dichas, donde solo ha existido modificación de solo alguna sección de la pata.

En los orthópteros actuales la parte móvil está formada la coxa, trocánter, fémur, tibia, tarso, y postarso. La coxa es el punto funcional de la pata. El trocánter, juega un papel importante en las patas diseñadas para saltar, este segmento, en su unión coxotrocanteral permite una rotación violenta del trocánter, traducida en salto, la unión trocanterofemoral es frágil y es el sitio por donde generalmente se desprenden las patas de los insectos.

El pre fémur en insectos está integrado al trocánter. El fémur, se caracteriza por ser el segmento mas largo, firme y fuerte, por la musculatura que se aloja en él, muy importante para caminar y saltar. El fémur también puede desempeñar otras funciones como órgano estridulante en algunos Ortópteros, en este caso presenta algunas salientes o estrías que por rozamiento contra las venas de la tegmina producen un sonido característico, en este segmento también se localizan una estructura membranosa muy sensible, que le permite percibir las vibraciones u ondas sonoras, el cual se ha denominado tímpano.

La tibia en su extremo proximal posee fusionada a ella la patela, de tamaño reducido, forma la porción curva de articulación de la tibia al fémur; este segmento es alargado tanto o más que el fémur, soporta todo el esfuerzo de caminar, correr y saltar, siendo el más resistente de todos

El basitarso se articula con la tibia El tarso puede estar anulado en varios sub-segmentos, comúnmente cuatro; de acuerdo al número de sub-segmentos al tarso se denomina, mono, di, tri, tetra y pentámero, incluyendo en la cuenta al basitarso como primer sub-segmento tarsal; el ultimo sub-segmento presenta en el dorso de su ápice un proceso más o menos diferenciado o unguifer, donde se articulan las uñas.

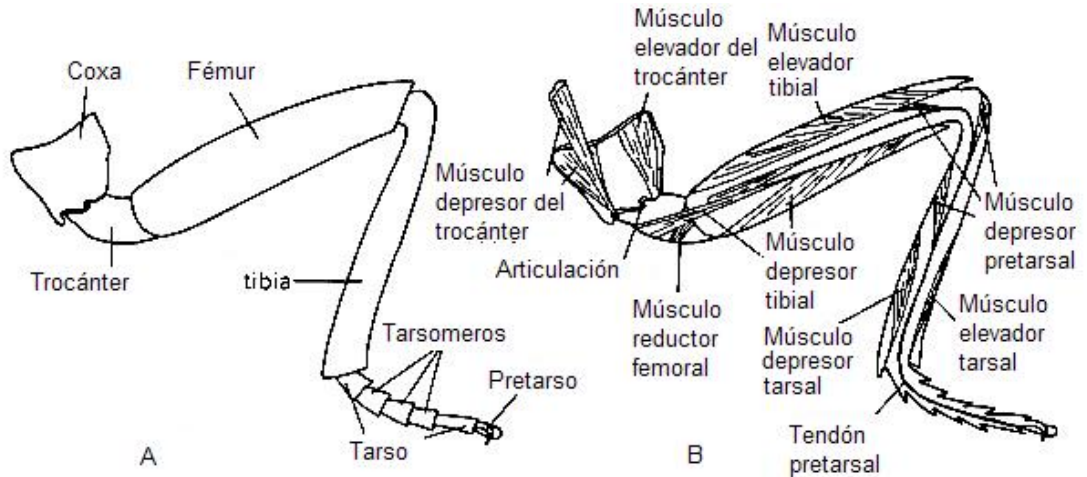
El postarso o pretarso, corresponde a la parte terminal de la pata, inserto en la punta del tarso, este presenta dos uñas conectadas al unguifer con un soporte ventral denominado auxilia. En la cara ventral del postarso debajo de las uñas se encuentra un lóbulo medio o aróleo, que trabaja a modo de ventosa, esta estructura no siempre está presente para todos los orthópteros.¹⁹

2.3.4.3.1 Patas.

La estructura típica de las patas consiste de seis segmentos, articulando uno con otro por articulaciones mono o dicondílicas fijas a una membrana, el corium. Los seis segmentos básicos son. Coxa, trocánter, fémur, tibia, tarso y pretarso (Fig. 24A).

¹⁹ Ibid., p. 21

Figura 24. Pata típica de insectos.



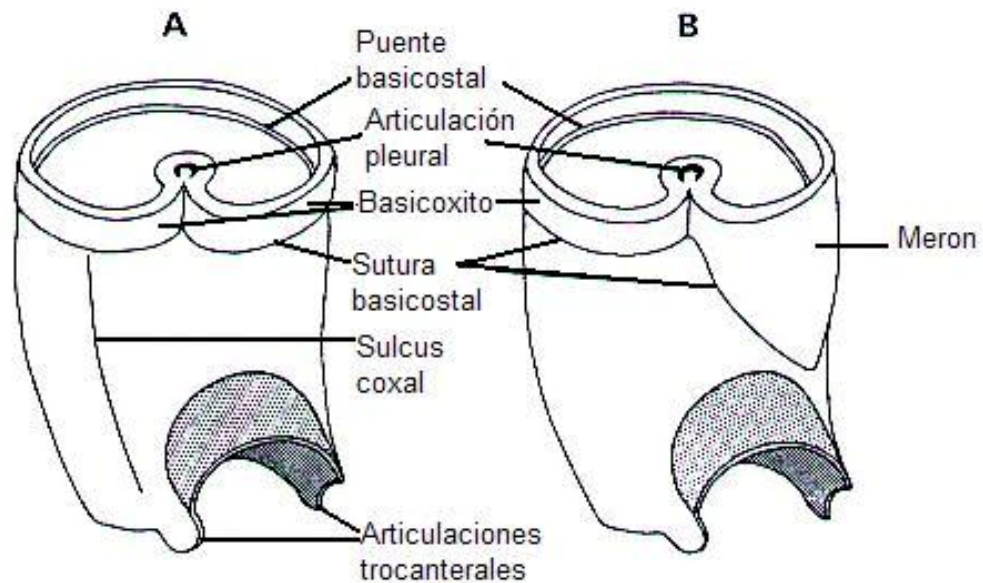
Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

En la figura arriba se observa (A), Vista exterior. (B), Organización interna mostrando los músculos intrínsecos.

La coxa a manera de cono truncado articula basalmente con la pared del tórax. Esta articulación es sencilla con el proceso coxopleural en cuyo caso el movimiento de la coxa es bastante libre. La parte de la coxa que sostiene las articulaciones esta frecuentemente consolidada por un puente señalado externamente por la sutura basicostal la cual marca la parte basal de la coxa, el basicoxito (Fig. 25). El basicoxito está dividido en una parte anterior y una posterior por un puente rígido donde articula la pata; la parte posterior es denominada merón.²⁰

²⁰ Ibid., p. 21

Figura 25. Vista exterior de (A) la coxa de un insecto típico, y (B) coxa con un merón grande.

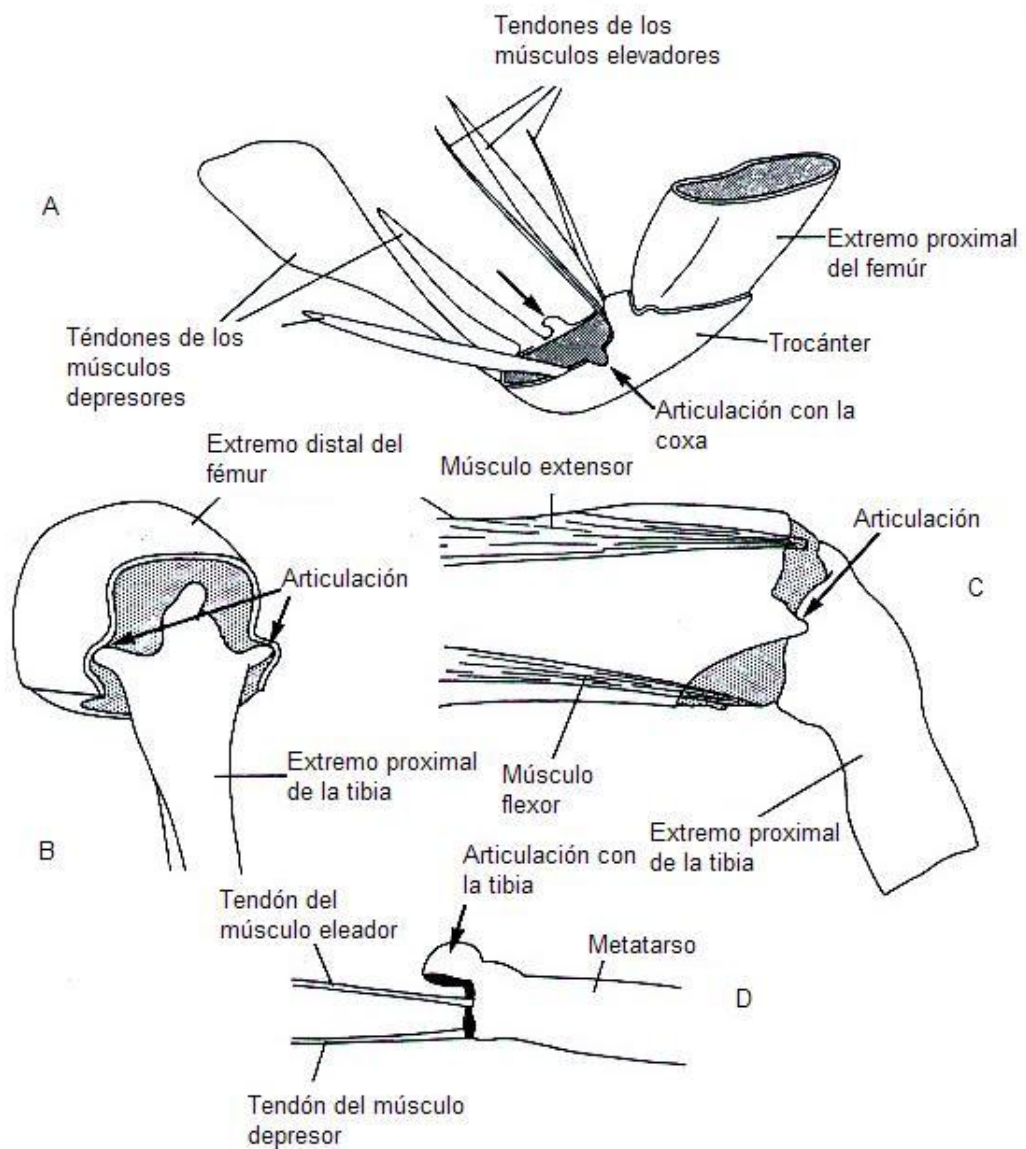


Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

El trocánter es un pequeño segmento que articula dicondílamente con la coxa lo que le permite moverse únicamente de manera vertical (Fig. 20A). El fémur está más o menos fijo al trocánter y en este caso el fémur no es movido con músculos, aunque algunas veces el trocánter posee unos pequeños músculos capaces de producir un ligero movimiento hacia atrás, o reducción, del fémur.²¹

²¹ Ibid., p. 21

Figura 26. Descripción esquemática de las articulaciones de las uniones de la pata. **(A)**, Articulación del trocánter con la coxa y los músculos que mueven el trocánter. **B** y **C** Articulación de la tibia y el fémur, **(B)** vista desde el extremo, **(C)** vista lateralmente. **(D)**, Articulación del tarso con la tibia.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

La tibia es una gran canilla que articula dicondílamente con el fémur, moviéndose solo en un plano vertical (Fig. 26B y C). En algunos casos la cabeza de la tibia está inclinada de modo que la canilla puede doblarse recta hacia atrás contra el fémur (Fig. 25).

El tarso en grillos presenta una constitución sencilla, dividido en no más de tres segmentos denominados tarsómeros, los cuales carecen de musculatura. El tarsómero basal o metatarso, articula con el extremo distal de la tibia por un cóndilo sencillo, pero entre los tarsómeros no hay articulación, ellos están conectados por una membrana flexible, tanto que ellos son de movimiento libre. Los músculos elevadores y depresores del tarso se originan en la tibia y están insertados en el extremo proximal del metatarso.

El pretarso en grillos consiste de una membrana basal que soporta un par de uñas las cuales articulan con un proceso medial del último tarsómero conocido como unguifer. Ventralmente este es un plato esclerotizado, el unguitractor, y entre estos y las uñas se localizan pequeños platos llamados auxilias

En grillos verdaderos se pueden reconocer dos tipos de patas según su función:

Caminadora (Fig. 42) y Saltadora (Fig. 43), cuya diferencia principal es el tamaño del fémur. En patas saltadoras este es bastante robusto y largo, de longitud menor o igual a la de la tibia, donde ambas partes, son fundamentales para lograr una elevación de gran altura.²²

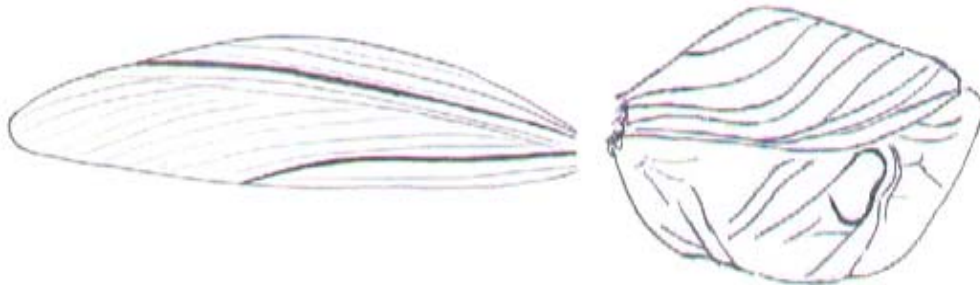
2.3.4.3.2 Alas.

Típicamente los adultos tienen dos pares de alas articuladas con el tórax y consisten de lóbulos aplanados del integumento soportado por venas huecas. Las alas se han modificado en varias rutas y frecuentemente las alas anteriores están endurecidas y sirven de protección a las alas posteriores.

Las modificaciones que se diferencian según el grado de esclerotización. En orthópteros el mesotórax sustenta las tégminas cuya textura es apergaminada (baja esclerotización) y proporciona protección a las verdaderas alas, que están soportadas por el metatórax. Además los dos pares de alas son independientes uno del otro durante el vuelo.

²² Ibid., p. 21.

Figura 27. Esquema de las formas de las tégminas de Orthóptera.



Fuente: Autor.

Los grillos como insectos hemimetábolos desarrollan las alas funcionales desde muy temprano en su ciclo de vida, las alas son visibles como sacos externos, que a través de las mudas en cada instar se desarrollan las alas totalmente las cuales aparecen como membranas transparentes en el estado adulto.

2.3.4.3.2.1 Estructura del ala.

El desarrollo total del ala aparece como una lámina delgada y rígida, originada dorso-lateralmente desde y entre la pleura y el notum del meso y metatórax. Cada ala consiste de una membrana delgada soportada por un sistema tubular de venas.

La membrana está formada por dos capas del integumento, cercanamente distribuidas, mientras las venas están formadas por dos capas que permanecen separadas y la cutícula está fuertemente esclerotizada. Dentro de cada una de las venas mayores existe un nervio y una tráquea, y una vez la cavidad de las venas están conectadas la hemolinfa puede circular alrededor del ala.

En algunos grupos el ala está pigmentada por manchas que constituyen el patrón alar. El margen posterior del ala cerca de la base es un tubo hueco, el cordón axilar, el cual se origina desde el ángulo posterior lateral del notum, este sirve para fortalecer el margen de la membrana, y en algunos como un canal para retornar la sangre (hemolinfa) del ala al tórax.²³

²³ Ibid., p. 21

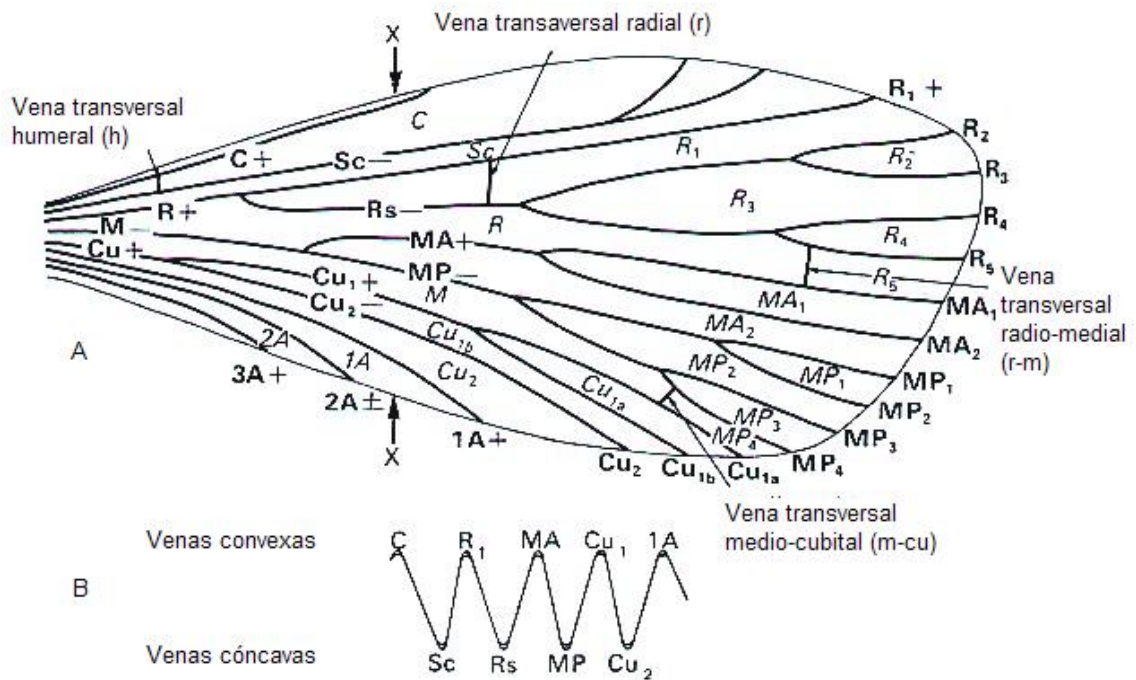
2.3.4.3.2.2 Venación Alar.

La venación del ala en términos generales sigue un patrón general constituido por venas longitudinales y transversales, que dependiendo del grupo se han reducido, permanecido o aumentado.

El patrón se ha constituido mediante registros fósiles y embriología de los diferentes grupos de insectos.

La homología de la venación está basada en estudios de formas fósiles, la presencia y arreglo de tráqueas en las venas, la forma y posición de las venas y su asociación con escleritos axilares particulares.

Figura 28. (A), Diagrama de la venación básica hipotética del ala mostrando las principales venas longitudinales y transversales. (B), Sección en X-X de A mostrando las venas cóncavas y convexa exagerando la profundidad.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

Además, esta es una tendencia para el plegamiento de las alas en forma de abanico en órdenes bajos de insectos. Una vena en la cresta de un pliegue es llamada convexa (indicada por + en la figura 28A), mientras una vena en una depresión es llamada cóncava (- en la figura 28A). Además, una hilera de sensilas tricoideas puede estar asociada con cada vena y pueden persistir en ausencia de la vena.

Principales venas longitudinales, por su nomenclatura se escriben con letras mayúsculas.

Pre costal (Pc) también llamada vena marginal (Snodgrass), se encuentra incorporada al margen costal.

Costal o Costa (C +) Puede o no ser marginal, su base está asociada al plato humeral y no sufre ramificaciones. Recorre el ala paralela al margen alar

Subcostal (Sc -) Distalmente se ramifica en dos brazos Sc1 y Sc2 en algunos casos; generalmente no se ramifica.

Radio o Radial (R +) Generalmente es la vena más gruesa, tiene típicamente 5 ramas. El tronco principal se divide cerca de la mitad del ala en Rama anterior R1+ y Rama posterior o sector radial SR-. SR se divide dicotómicamente en R2+3 y R4+5, terminado el margen se divide nuevamente en R2, R3, R4, R5.

Media o Medial (M) Generalmente se divide en dos, Medial anterior + MA o M1+2 y Medial posterior - o M3+4, posteriormente se dividen dicotómicamente en M1, M2, M3, M4.

MA: Esta vena está asociada al radio; cuando está separada del radio se asocia al plato medio distal o se fusiona con él.

Cubito o Cubital (Cu) Esta vena se divide en dos Cu1+ y Cu2-. Cu1+ se divide en venas secundarias comúnmente dos Cu1a y Cu1b. Cu2 también es llamada como vena plical (P) por Hamilton. La base del cubito está asociada al plato medial distal.

Anal, Vanal o Clavales (A) Estas venas pueden dividirse has en 12 dependiendo de la extensión del margen anal (Snodgrass, 1935). Para Snodgrass la primera venas anal es la Postcubital (PCu) y Hamilton la denomina vena Empusal (E).

Generalmente asociadas al plato medio anterior ubicada delante y sobre el dobles claval.

Las venas mencionadas anteriormente tienen un origen independiente.

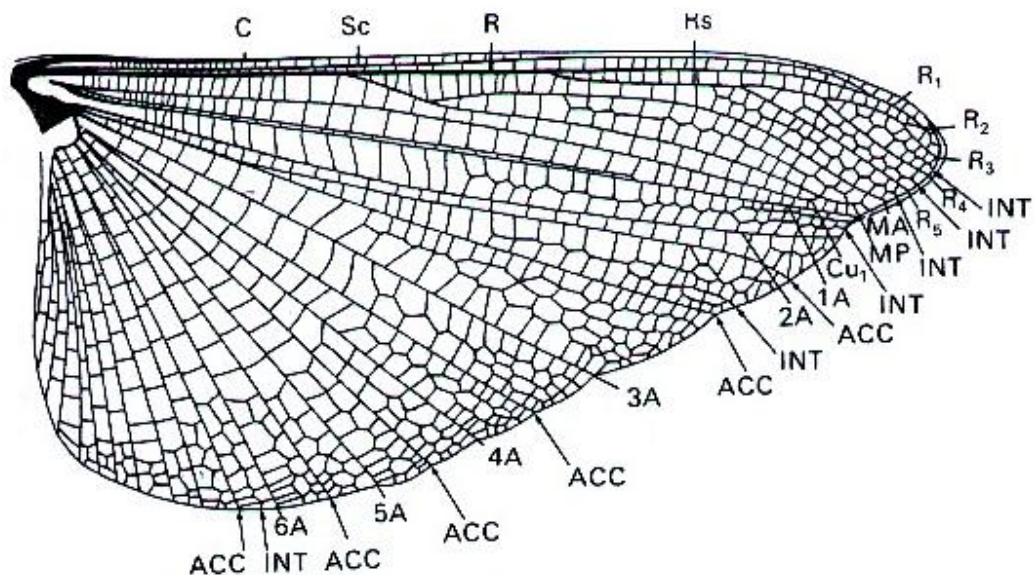
Yugal (J) Estas son opcionales tienen un origen común con las venas anales pueden formarse frecuentemente dos venas yúgales (J1 y J2), sin embargo con la vena anal forman tres venas anales 1A,2A,3A, que pueden ser cóncavas (-)

Principales venas Transversales, según su nomenclatura se escriben con letras minúsculas

Humeral (h) ubicada entre Sc y C
 Radial (r) localizada entre R1 y Rs
 Radiomedial (r-m) Entre la R y la M
 Medial (m) se dispone entre MA2 y MP1
 Medio cubital (m-cu) se extiende desde MP a Cu.

En orthópteras se puede observar una modificación a nivel de la vena medial, así como un incremento en la venación por ramificación de las venas existentes para formar venas accesorias (ACC) o por el desarrollo de venas adicionales o venas intercalares (INT) entre las venas existentes (Fig. 29)²⁴

Figura 29. Ala posterior de *Locusta sp.* Mostrando la venación. Algunas de las venas secundarias están señaladas por flechas. INT=Vena intercalar, ACC= vena accesoría.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

²⁴ Ibid., p. 21

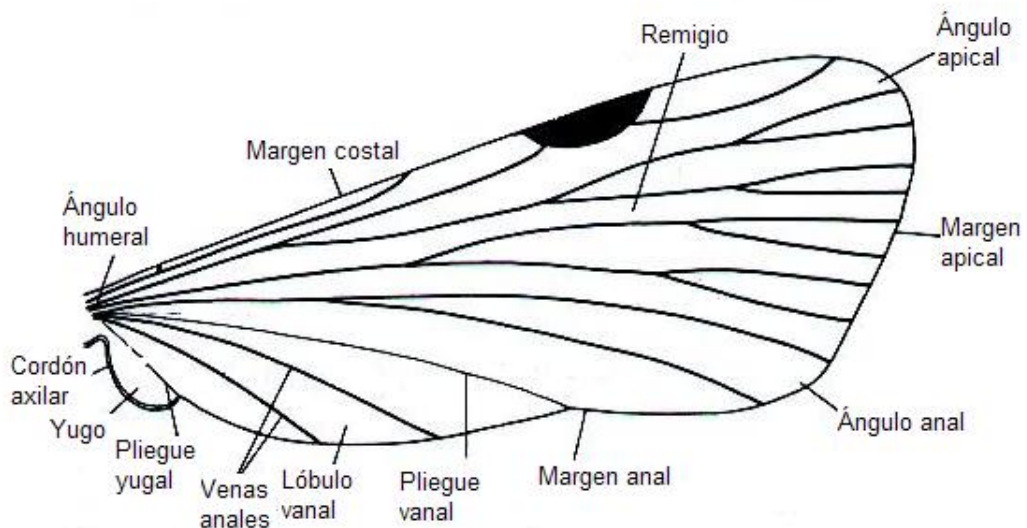
2.3.4.3.2.3 Áreas del ala y ángulos.

En orden a brindar un máxima eficiencia y soporte al ala durante el vuelo, las venas longitudinales tienden a concentrarse hacia el margen anterior del ala. La región contiene el volumen de venas se denomina Remigio y detrás de este, el área que soporta solo las venas anales es llamada región Vanal o anal. El Remigio y la región vanal están separadas por el pliegue vanal el cual puede quedar antes o delante de la vena 1A.

Proximal al vano en algunos insectos se presenta otro lóbulo membranoso llamado Yugum

Los márgenes y ángulos alares son también nombrados. El margen principal del ala es el margen costal, el margen que sigue es el margen anal y el borde exterior es el margen apical. El ángulo entre el margen costal y apical es el ángulo apical, El ángulo entre el margen externo y el margen anal es el ángulo anal, mientras el ángulo que esta en la base del ala es llamado el ángulo humeral (Fig. 30).²⁵

Figura 30. Esquema de la estructura del ala señalando las regiones y ángulos del ala.



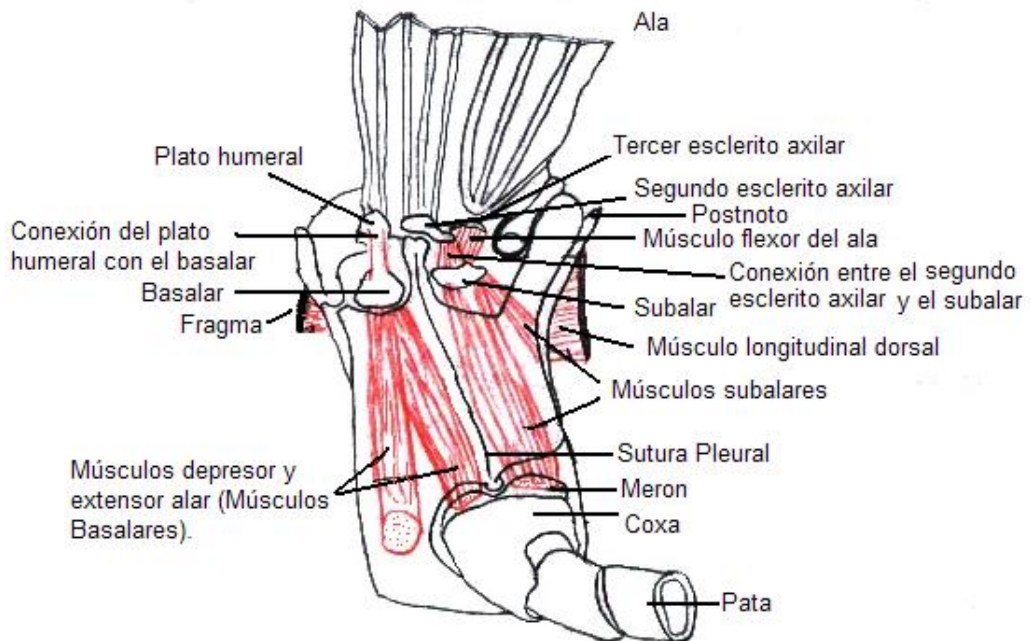
Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

²⁵ Ibid., p. 21

2.3.4.3.2.4 Articulación del ala con el tórax.

La región basal del ala, donde se une con el tórax, es membranosa y en esta membrana son los escleritos axilares los que permiten el movimiento libre del ala sobre el tórax. Principalmente son tres escleritos axilares. El primero está en la membrana dorsal y proximalmente articula con el proceso notal anterior y distalmente con la vena subcostal y el segundo esclerito axilar. El segundo se extiende hacia ambas membranas y articula ventralmente con el proceso pleural alar (Fig. 16 y 31) y distalmente con la base del radio. Este está también conectado con el tercer esclerito axilar el cual articula proximalmente con el proceso notal posterior y distalmente con las venas anales. El tercer esclerito axilar tiene forma de Y con un músculo flexor alar insertado dentro de la horquilla de la Y. En orthóptera este es un cuarto esclerito entre el proceso notal posterior y el tercer esclerito axilar.²⁶

Figura 31. Vista lateral de un segmento alar mostrando la región basal del ala y los músculos directos del vuelo.



Fuente: SNODGRASS, R. E. 1935.

²⁶ SNODGRASS, R. E.. Principles of insect morphology. McGraw-Hill, New York, 1935.

En adición a los escleritos axilares hay otros platos en la base del ala. Conectando con el tercer esclerito axilar, y quizás representando una parte de este, puede estar uno o dos platos de los cuales la vena media y Cubito se originan. En la base de la costa hay un plato humeral y frecuentemente, proximal a este, esta otro plato derivado del margen de la membrana articular llamado tégula.

El movimiento de las alas sobre el tórax involucra algunos movimientos condílicos en el proceso pleural, una gran cantidad de movimientos son permitidos por la presencia de ligamentos de resilina, a manera de bisagra como en los orthópteras. Mediante estos, el problema de fricción y lubricación que pueden ocurrir en el movimiento de una articulación normal a alta frecuencia de las alas es evadido.

La gran cantidad de escleritos facilitan el plegamiento del ala, que por orthóptera es hecho longitudinalmente.²⁷

2.3.4.3.2.5 Órganos de los sentidos en el ala.

Las Macrotriquias a lo largo de las venas son probablemente mecano-receptores que responden al tacto y posiblemente al flujo del aire sobre las alas en vuelo. En la base de ñaña están varios grupos de sensilas campaniforme, generalmente tres grupos en la parte inferior de la subcosta y tres en el lado dorsal del radio. Distalmente sobre las venas están otras sensilas campaniforme dispersas, pero estas son grandes y circulares, tanto que, estas se diferencian en los grupos basales, ellas pueden tener una sensibilidad no direccional. La sensila en los grupos son ovales, todas ellas en un grupo están similarmente orientadas, tanto que son sensibles a distorsiones de la base del ala en planos particulares. El número de sensilas en cada grupo varia, y se hallan en mayor cantidad en especies con alta maniobrabilidad. Algunas de estas sensilas, están involucradas en el control de la estabilidad en vuelo.

Adicional a la sensila campaniforme, hay cuatro órganos cordotonaes en la base de cada ala. Uno de estos esta insertado en la Costa, originándose próximamente a la base del ala, mientras los otros recorren oblicuamente a través de las venas radial, media y algunas veces la cubital.

En orthóptera cada ala tiene un receptor de tensión y un órgano cordotonal en el tórax asociado con la base del ala. Los dos órganos de un ala del mesotórax de *Schistocerca sp*, por ejemplo, se originan al mismo tiempo en el mesofragma. El receptor de tensión se extiende justo detrás del subalar, mientras el órgano cordotonal esta unido a uno más pequeño ventralmente.

²⁷ Ibid., p. 57.

El receptor de tensión está siempre presente en el tercer instar y parece ser homólogo al receptor de tensión abdominal. Estos órganos han sido detectados e identificados en acridias, Gryllidos y tettigonidos, pero no en gryllotalpidos o blattidos. Están fuertemente vinculados con el control del movimiento alar.

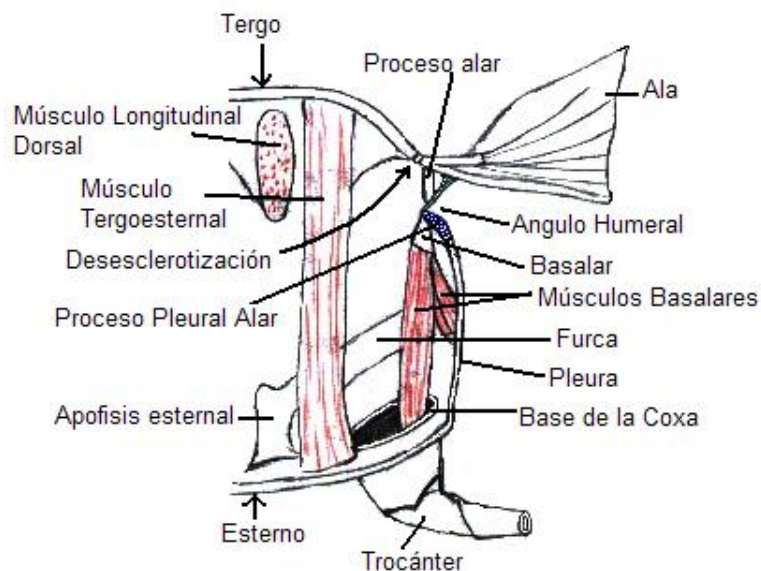
2.3.4.3.2.6 Músculos asociados con las alas.

Numerosas fibras musculares están insertadas directamente dentro de los escleritos de la base del ala; ellos son los músculos alares directos (Fig. 31). Uno de estos, se origina en la pleura y se inserta en el tercer esclerito axilar, flexiona el ala hacia atrás. La extensión del ala desde la posición flexionada es producida por uno o más músculos insertados dentro del basalar. Estos músculos se levantan en el epiesternon, el esterno y la coxa.

Otro músculo, originado en el merón, está insertado en el subalar, acompañado en gryllidos y otros grupos, por un segundo músculo desde el epimerón. Los músculos basales y subalares que extienden y bajan el ala.

En adición a los músculos directos hay otros músculos los cuales, aunque no están asociados directamente con las alas, mueven las alas como un resultado de la distorsión que ellos producen en el tórax. Estos son los músculos indirectos del vuelo.

Figura 32. Diagrama de la sección transversal del tórax en un segmento alar mostrando los músculos indirectos del vuelo.



Fuente: SNODGRASS, R. E. 1935.

Los músculos indirectos del vuelo más importantes son los músculos longitudinales dorsales y los músculos tergo-esternales, los cuales van de dos pares en adelante. Estos músculos usualmente están bien desarrollados, mientras los músculos oblicuos dorsales (Fig. 32), los cuales van desde el pos diafragma a el escuto son frecuentemente pequeños o ausentes en conjunto.²⁸

2.3.5 Tagma abdominal.

El abdomen es la tercera sección del cuerpo, carece de patas propiamente dichas, sin embargo podemos considerar como vestigios de patas, algunos apéndices que evolucionaron para desempeñar una función específica. El abdomen cumple varias funciones relacionadas con su capacidad para aumentar su volumen interno; es recipiente de los órganos de circulación, respiración, digestión y reproducción.

En él, se han establecido tres regiones o sectores según la posición de los órganos genitales. Los segmentos de la región pregenital corresponden a los segmentos I – VII.

Los segmentos genitales varían en forma y tamaño en relación a los pregenitales, ya que estos han sufrido pérdida o membranización de los esternos; usualmente pierden los éxitos; las patas no existen, aunque pueden estar representadas como gonópodos segmentados o como órganos periféricos; los enditos de la coxa se han modificado en vesículas y gonapófisis, y los del trocánter en vesículas, penes (falos) o válvulas.

Los segmentos postgenitales X, XI y XII, no siempre están presentes, ya que es frecuente la modificación, reducción u ocultamiento de alguno de ellos; principalmente el XI. El ápice abdominal, es denominado pigidio, aunque otros consideran al segmento IX como pigidio.

De los tres segmentos que conforman esta región, solo el XI, en muchos casos con un tergo reducido y un esterno membranizado sustenta los principales apéndices abdominales. El tergo reducido puede hallarse extendido formando el filamento cercal o paracerco, cuya función es sensorial, o bien, también cumple un papel asociado a la evasión rápida, recepción de estímulos y sonidos.

La pleura presenta un par de patas modificadas en cercos, que actúan fundamentalmente como órganos sensoriales, aunque en ciertos casos son estructuras accesorias de la cópula como en Ortópteros. El segmento XII, también

²⁸ Ibid., p. 57.

llamado epiprocto o telson, en adultos está representado por un lóbulo supranal o epiprocto y dos subanales o paraproctos que representan al esterno.²⁹

2.3.5.1 Apéndices Abdominales.

Ovipositor: Esta conformado por gonapófisis de los segmentos VIII y IX, que son prolongaciones del margen mesial del gonopleurito, que se proyectan posteriormente y se superponen con las opuestas, formando el eje del ovipositor, cuatro gonoapófisis intervienen en su formación: dos anteriores (válvulas ventrales o primeras válvulas) y dos posteriores (válvulas dorsales, segundas válvulas o válvulas internas).

Las gonapófisis ventrales están unidas basalmente con el gonángulo, que les sirve de soporte para el movimiento de vaivén de una gonoapófisis contra la opuesta; esto le permite al ovipositor penetrar en el sustrato para depositar los huevos, Existen unas terceras válvulas o válvulas laterales que recubren a las primeras y segundas gonapófisis, estas pueden presentar gonópodos o estilos como en Odonata, algunos ortóptera e Isoptera, Hemiptera y Homoptera, Coleoptera, Neuroptea y Heteromptera, entre otros.

2.3.6 Mecano-recepción.

La mecano-recepción incluye la percepción de cualquier distorsión del cuerpo. Esta puede resultar del contacto con un objeto o del impacto de las vibraciones producidas a través del aire, agua o el sustrato, y así la mecano-recepción incluye los sentidos de audición.

2.3.6.1 Sensilas tricoideas.

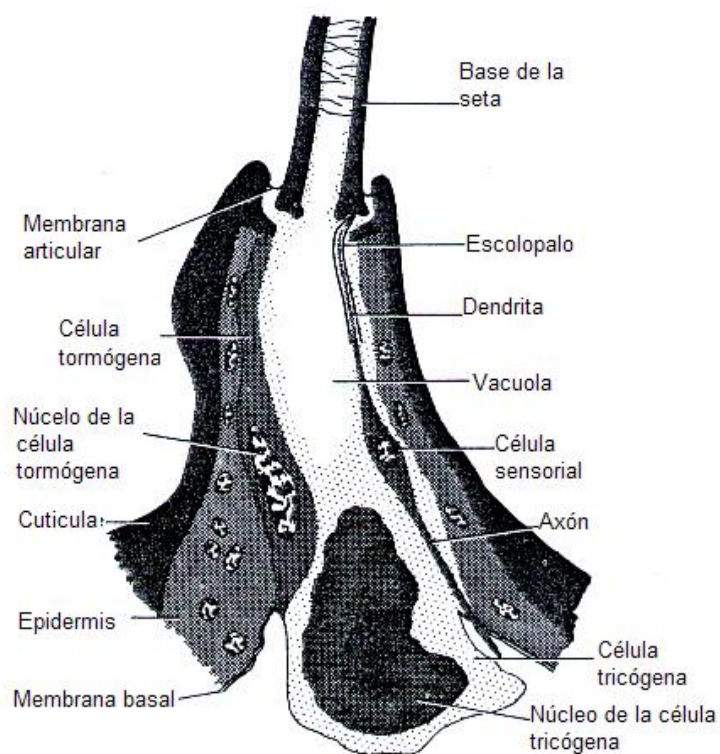
La sensila tricoidea es una proyección a manera de pelo de la cutícula articulada con la pared del cuerpo por una cuenca membrana que le permite moverse libremente. El pelo es producido por una célula tricógena, y la cuenca por otra célula, la célula tormógena, colocada en la epidermis.

Asociado con cada pelo esta una o más células nerviosas. Los pelos vinculados únicamente con la mecano-recepción tienen una sola neurona, pero los químico-sensores con un número de neuronas. Y también frecuentemente funcionan como

²⁹ CHAPMAN, Op.cit., p. 19.

mecano-receptores. Distalmente las dendritas pueden estar encerradas en una vaina de material cuticular continuo a la superficie cuticular en la base del pelo, Este tubo se denomina escolopalo y distalmente puede estar rematado por un casquete del escolopalo o cuerpo apical. La dendrita puede dejar el escolopalo y extenderse al lumen del pelo. Generalmente la dendrita esta insertada dentro de la cutícula en un borde de la base del pelo (Fig. 33).

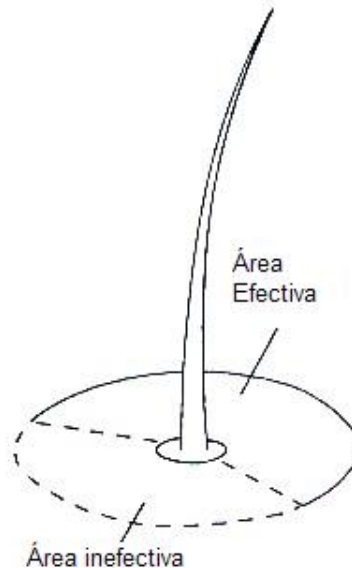
Figura 33. Diagrama de la base de una sensila tricoidea.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

El movimiento de la seta resulta en una deformación mecánica de la terminal nerviosa conduciendo a la producción de potenciales del receptor. En *Schistocerca sp.* Las setas a lo largo del borde del protórax, producen un potencial, cuando la seta es inclinada en cualquier dirección, pero otros, como las setas de los cojines velludos del rostro, solo responden cuando ellos son inclinados en ciertas direcciones (Fig. 34).

Figura 34. Ilustración de la sensibilidad direccional de una sensila tricoidea. Únicamente al doblarse hacia el área efectiva permite el desarrollo de un impulso nervioso.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

Los potenciales del receptor producido en la parte distal de una dendrita difieren del tipo de seta. En la mayoría un potencial solo se desarrolla durante el movimiento de la seta, torciéndose o enderezándose, lo que se conoce como respuesta fásica, en otros casos el potencial es mantenido todo el tiempo en que la seta esté torcida, adaptándose solo muy suavemente. Esta se conoce como una respuesta tónica.³⁰

2.3.6.1.1 Receptores fásicos.

Los receptores que muestran respuesta fásica funcionan como receptores táctiles, ocurren frecuentemente en la antena, tarso y si el insecto toca el sustrato. Ellos también pueden responder a la vibración del sustrato y en algunos casos a sonidos transmitidos a través del aire si estos son de alta intensidad.

³⁰ Ibid., p. 61.

Estas setas responden a sonidos en el rango de 32-1000 c/seg. Los sonidos de alta intensidad causan contracciones convulsivas de los músculos longitudinales tanto que los insectos se retuercen con sus cabezas. Setas similares están presentes en el abdomen y en los cercos de saltamontes, mientras las setas cercas de *Periplanta sp* responden a frecuencias de hasta 3000/seg.

Es dudoso si las setas cercas de los saltamontes tienen alguna importancia en la percepción de la estridulación, pero las setas del abdomen puede ser importantes cuando la intensidad del sonido es alta, como durante las últimas etapas de cortejo con los insectos solo a pocos centímetros de distancia.

Aparte de sonidos, el movimiento del aire a solo 4cm/seg., es suficiente para estimular las setas cercas de la langosta.³¹

2.3.6.1.2 Receptores tónicos.

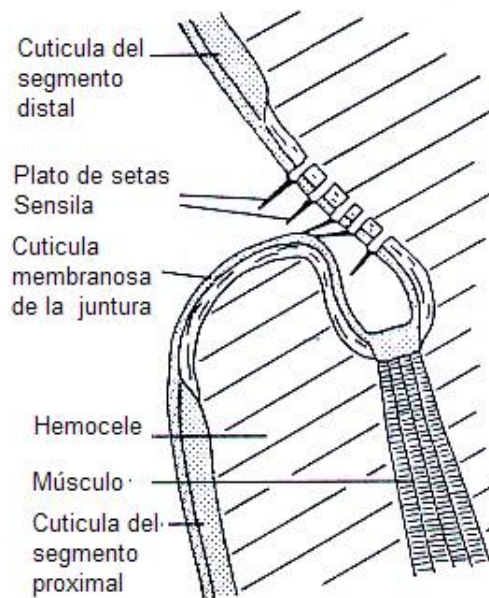
Las setas que exhiben una respuesta tónica al torcerse ocurren entre las uniones de las patas, sobre el protórax y la genitalia y en muchas otras situaciones en el cuerpo, frecuentemente asociadas a junturas. Ellas poseen diferentes funciones de acuerdo a su posición, pero, una vez ellos ajustan sus resultados suavemente, proveen una información continua.

Algunas veces se hallan agrupadas formando cojines, como se observa en el rostro de las langostas, en los escleritos cervicales, en las uniones de la coxa con el tórax y el trocánter con la coxa, en las uniones de los palpos, en la base del abdomen y en cualquier lugar. Ellos sirven dependiendo de su localización, por ejemplo, los cojines faciales son estimulados por el aire en el rostro a velocidades de 2 m/s o más. Ellos muestran sensibilidad direccional y están orientados para responder al aire que pasa a lo largo del eje del insecto. Así ellos habilitan al insecto para orientarse hacia el viento aun cuando estén sobre el suelo y ayudan al control del yaw mientras este vuela, aun vez la estimulación asimétrica de los cojines de setas de los dos lados permiten variar la oscilación de las alas.

La estimulación de los cojines también inicia un reflejo de vuelo resultando en la retracción de las patas durante la posición de vuelo y el mantenimiento del mismo.

³¹ Ibid., p. 61.

Figura 35. Diagrama mostrando la manera en que las sensilas de un plato con setas son estimuladas al entrar en contacto con la cutícula adyacente.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

Los cojines localizados en juntas del esqueleto son estimulados por contacto de las superficies adyacentes (Fig. 35) cumpliendo una función de propiocepción. Los cojines del primer esclerito cervical, por ejemplo, proporciona al insecto de información sobre la posición de su cabeza.

2.3.6.2 Órganos cordotonales.

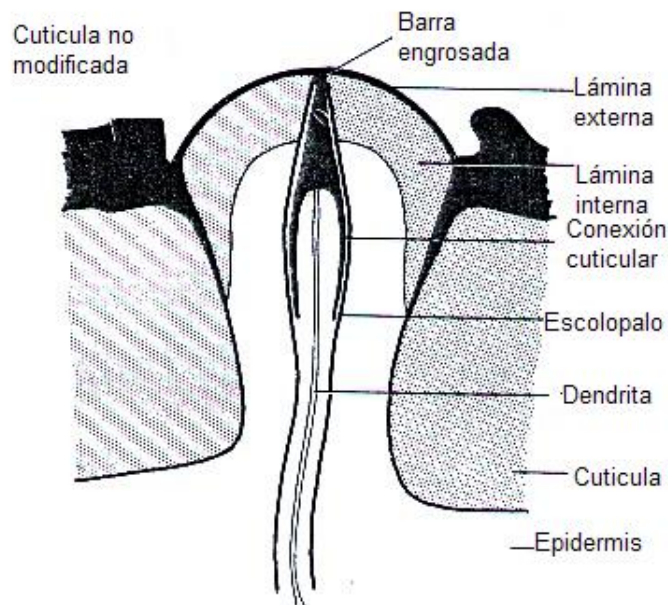
Los órganos cordotonales o escolopoforos, consisten de sencillas unidades o grupos de unidades similares llamadas escolopidias. Ellas son subcuticulares, frecuentemente sin una señal externa de su presencia y están sujetas a la cutícula en uno o ambos extremos. Cada escolopidia consiste esencialmente de tres células arregladas de modo lineal: la neurona, una envolvente o célula scolopalo y una de conexión, la célula casquete o cuerpo apical. Las escolopidias conforman el órgano timpánico en las langostas que también poseen una célula envoltoria fibrosa rodeando la base de la dendrita. En este caso, por lo menos, la dendrita finaliza en un proceso semejante a un cilio contenido en un anillo periférico de nueve filamentos dobles y con la raíz extendida próximamente dentro de la

dendrita. El extremo del cilio queda en una depresión de la caperuza extracelular del escolopalo.

2.3.6.3 Sensila campaniforme.

Estas sensilas son áreas de escasa cutícula, en forma de domo y usualmente ovales, tienen un diámetro de 20-30 μ . El domo es engrosado a lo largo de su diámetro e insertada adentro esta la dendrita de una neurona sencilla, frecuentemente encerrada en un escolopalo (Fig. 36). Esta sensila frecuentemente ocurre en grupos, todos ellos dentro de un grupo poseen la misma orientación y posiblemente están conectadas a la misma fibra nerviosa funcionando como una unidad. Ellas se localizan en todas las partes del cuerpo sujetas a estrés (tensión) y están concentradas cerca de las uniones o junturas como las base del ala. En las patas de las cucarachas están en cuatro grupos sobre el trocánter, una en cada base del fémur, otras en la base de la tibia y una en cada segmento del tarso.³²

Figura 36. . Esquema de la sección transversal de una sensila campaniforme.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

La tensión produce cambios en la forma de la sensila campaniforme, porque el engrosamiento divide en compases a través del domo, las fuerzas de compresión a lo largo de la longitud de la sensila elevándose el domo aun cuando la extensión

³² Ibid., p. 61

en la misma dirección baja el domo. La respuesta de la sensila campaniforme está determinada por las propiedades elásticas de la cutícula, el grosor y la curvatura; por las fuerzas ejercidas sobre la cutícula por músculos; y por el modelo de las fuerzas debido a la gravedad o inercia.

Las sensilas campaniformes no responden a movimientos de músculos individuales, pero sí a las resultantes de la variedad de las tensiones a la que es sometida la cutícula

2.4 MECANISMOS

2.4.1 Movimientos de las Patas.

El movimiento de las patas se da en secuencia que varían a diferentes velocidades de modo que se mantenga siempre la estabilidad. La Coordinación de estos movimientos involucra mecanismos centrales, así como reflejos segmentales que también son importantes.

Las patas puede funcionar solamente de este modo cuando el esqueleto es rígido, sí el cuerpo es blando como en las formas larvales, el trabajo muscular contra un esqueleto hidrostático se mantiene por la turgencia de la hemolinfa

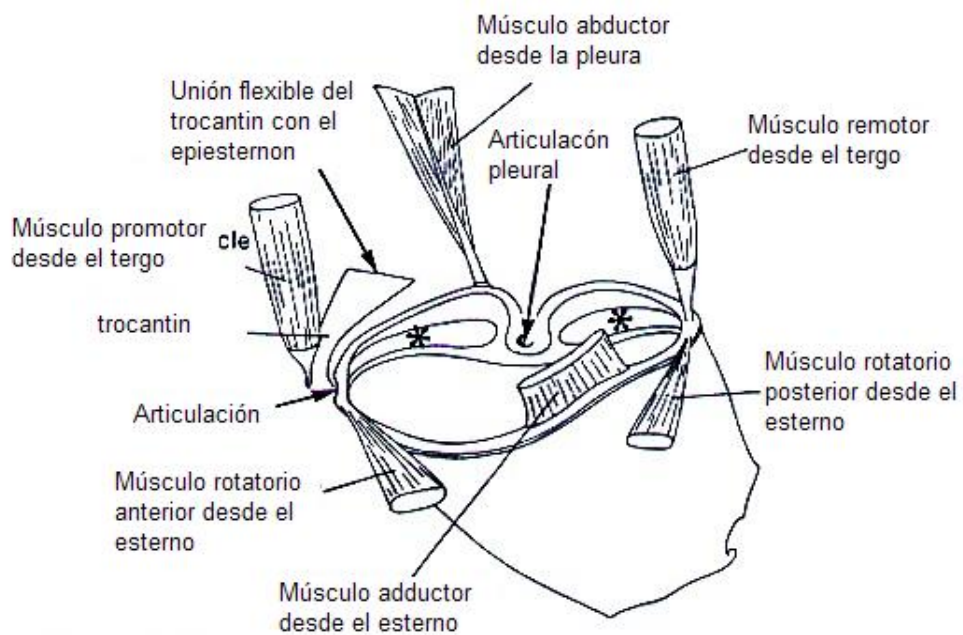
Terminología en el movimiento de las patas:

En la descripción del movimiento de las patas son usados los siguientes términos)

- Protracción: Movimiento completo hacia delante del miembro completo relativo a su articulación con el cuerpo.
- Promoción: Movimiento de la coxa resultante de la protracción.
- Retracción: El movimiento hacia atrás de la pata entre el tiempo que esta se ubica sobre el suelo y el tiempo de esta en levantarse.
- Aducción: El movimiento de la coxa hacia el cuerpo.
- Abducción: El movimiento de la coxa alejándose del cuerpo
- Elevación: El levantamiento de la pata o parte de la misma, parte de protracción.
- Depresión: Descenso de la pata, o parte de la misma. El termino elevación y depresión son en el mismo sentido intercambiables con:
- Extensión: Un incremento en el ángulo entre dos segmentos de la pata
- Flexión: Un detrimento en el ángulo entre dos segmento de la pata.

Los músculos que producen estos movimientos se organizan en dos categorías, Extrínsecos, con origen externo de la pata e intrínsecos, completamente dentro de la pata y recorren esta desde un segmento a otro.³³

Figura 37. Vista interna de la coxa mostrando los músculos extrínsecos de la pata con los cuales esta se mueve. Los músculos que se originan desde los puntos marcados con asterisco e insertados en la base del ala son omitidos.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

La coxa es movida por músculos extrínsecos originados en el tórax y típicamente organizados como se muestra en la (Fig.37), con los músculos promotor y re motor originados en el tergo, los músculos abductor y aductor desde la pleura y el esterno, y los músculos rotatorios originados también desde el esterno. La función de los músculos puede variar, dependiendo de la actividad de los otros músculos y también del tipo de articulación.

En los segmentos pterotorácicos, los músculos (marcados con *) discurren desde la coxa a los escleritos basalar y subalar. Ellos están involucrados con el movimiento del ala.

³³ Ibid., p. 61.

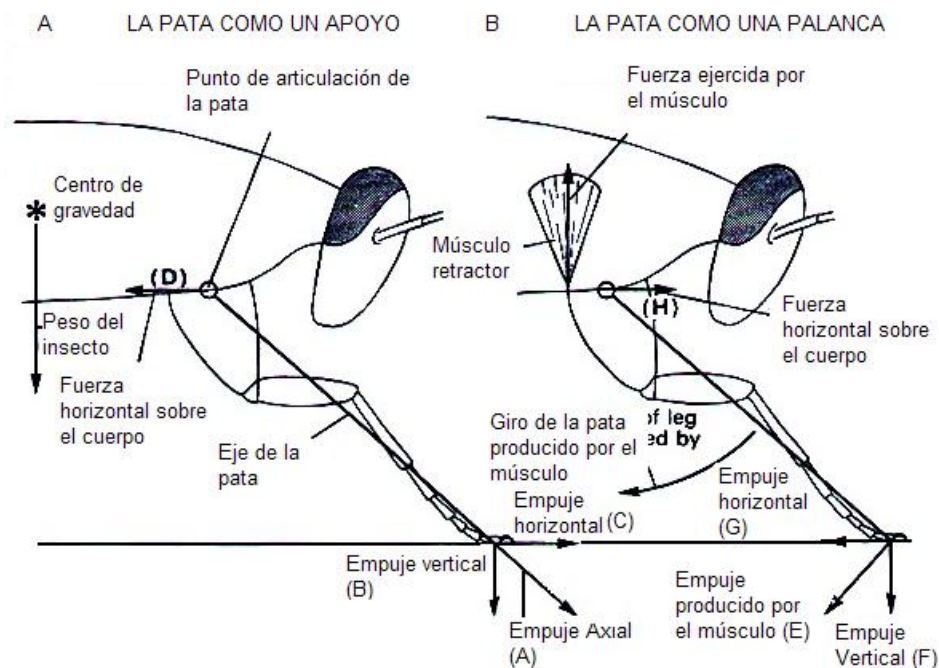
La musculatura intrínseca de la pata es mucho más sencilla que la musculatura coxal, consistiendo típicamente solo de pares de músculos antagonistas en cada segmento (Fig.24B)

El fémur es usualmente inmóvil enganchado al trocánter, pero la tibia es movida por los músculos extensor y flexor originados en el fémur e insertados dentro tendones desde la membrana en la base de la tibia. Los músculos elevador y depresor del tarso se originan en la tibia y son insertados en el extremo del etatarso, pero estos músculos no están dentro del tarso moviendo los tarsómeros. Es característico de insectos que el pretarso tenga un músculo depresor, pero no músculo elevador. Las fibras del depresor aparecen en pequeños grupos en el fémur y tibia, siendo insertadas dentro de un gran tendón el cual se origina sobre el unguitractor. La elevación del pretarso resulta de la elasticidad de sus partes basales.³⁴

2.4.1.1 Mecanismo del desplazamiento caminando.

Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo para producir locomoción vienen en varias maneras desde las actividades de las patas.

Figura 38. . A, Representación esquemática de una pata actuando como un apoyo. El empuje axial B, Representación esquemática de una pata actuando como una palanca.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

³⁴ Ibid., p. 61.

...véase la figura 38... (A) es ejercido hacia abajo recorriendo la longitud de la pata por virtud del peso del insecto. El tamaño del empuje axial depende, entre otras cosas, en como la mayoría del peso es sostenido por otras patas. Este puede ser descompuesto en componentes verticales (B) y horizontales (C), ya que el pie es ayudado por la fricción con el sustrato para que este no se mueva. En cambio, una fuerza horizontal igual y opuesta (D) actúa sobre el cuerpo, en este caso, tiende a impulsar hacia atrás al cuerpo salvo que esté balanceado por otras fuerzas. La contracción del músculo retractor tiende a girar la pata hacia atrás de modo que el pie ejerce un empuje (E) sobre el suelo. Este puede ser descompuesto componentes verticales y horizontales (F y G), pero una vez el pie está apoyado aun por fricción una fuerza horizontal igual y opuesta actúa sobre el cuerpo empujándolo hacia delante.

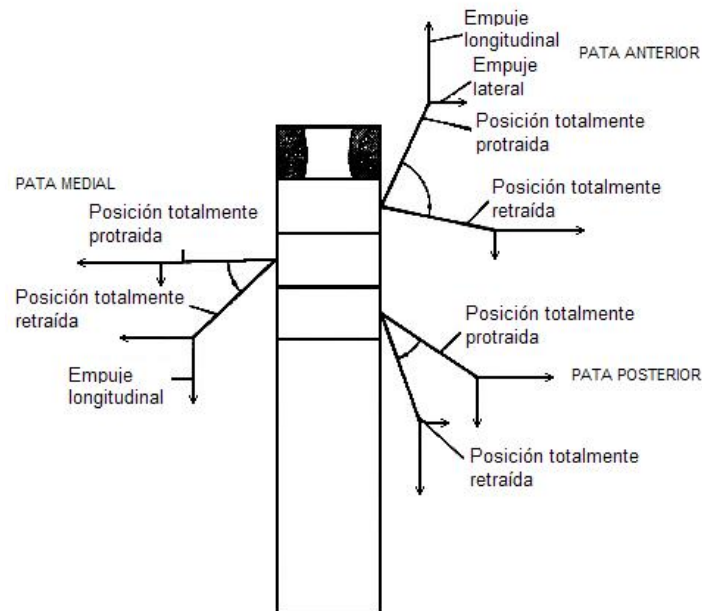
Una pata puede actuar simplemente como un apoyo con las fuerzas actuando bajo ésta dependiendo de su ángulo de inclinación a el cuerpo y el peso del insecto (Fig. 38A) Fuerzas iguales y opuestas pueden ser ejercidas por la pata sobre el cuerpo.

La fuerza que actúa bajo la pata puede ser descompuesta en dos componentes, uno horizontal y uno vertical, y debido a que la pata es extendida hacia fuera lateralmente al cuerpo, la fuerza horizontal puede ser descompuesta en componentes longitudinal y transversal (Fig. 39).

El tamaño relativo de los componentes longitudinal y transversal puede variar de acuerdo a la posición de la pata. En el diagrama de la fig. 39, se asume que solo tres patas están en el suelo y es claro que esta posición es para mejorar su movimiento, el efecto de apoyo de las patas anteriores tiende a retardar el movimiento hacia adelante, mientras que las patas mediales y posteriores promueven el movimiento hacia adelante. Tanto que si las fuerzas longitudinal y lateral están balanceadas unas con otras podría no haber movimiento, pero si las fuerzas no están balanceadas el cuerpo podría ser desplazado debido a una reducción en el centro de gravedad.³⁵

³⁵ Ibid., p. 61.

Figura 39. Diagrama que muestra las posiciones de las patas formando un triángulo típico de soporte.



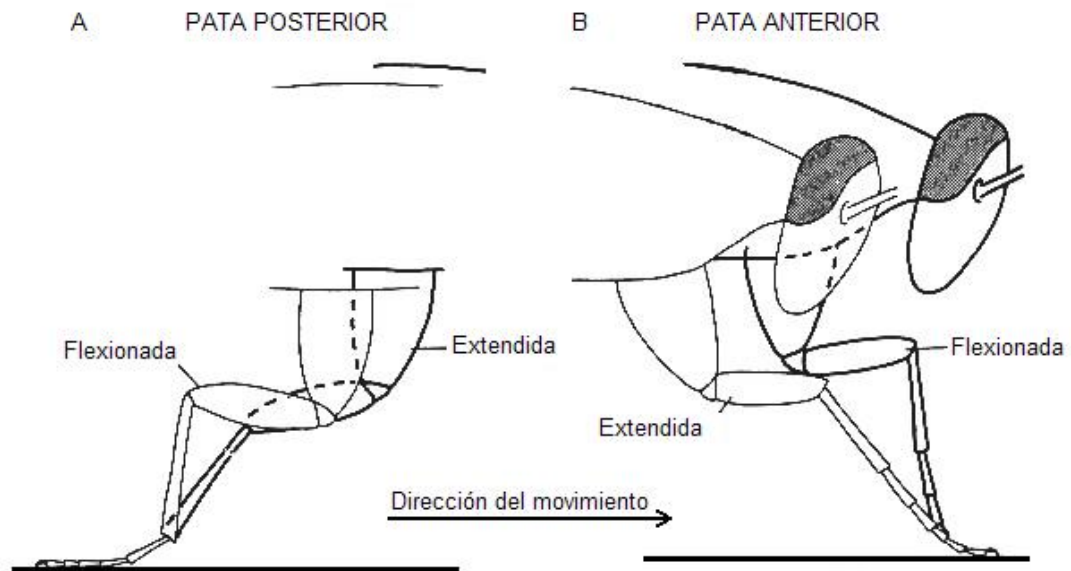
Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

En la (Fig. 39) se observan las patas cuando están completamente protraídas y completamente retraídas, junto con los componentes laterales y longitudinales del efecto del empuje horizontal que ejercen las patas en el suelo en esos tiempos. Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo pueden estar en direcciones opuestas.

Una pata puede también actuar como una palanca, esta es como una barra en la que el trabajo externo es realizado tanto que esta rota sobre un punto de apoyo. Este efecto es producido por los músculos extrínsecos que mueven la pata relativamente hacia el cuerpo y así influyen a lo largo del insecto. La pata además, no es una simple y rígida barra o apoyo, esta también tiene músculos intrínsecos que pueden ejercer fuerzas sobre el cuerpo para flexionar o extender la pata. Si una pata es extendida anteriormente la flexión de las uniones podría halar el cuerpo hacia adelante (Fig.40B). Mientras en una pata que es dirigida hacia atrás las uniones son enderezadas alcanzando a empujar el cuerpo hacia delante (Fig. 40A).³⁶

³⁶ Ibid., p. 61.

Figura 40. Diagrama mostrando el efecto de la extensión y flexión de las juntas coxotrocanteral y femorotibial sobre el movimiento del cuerpo.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

Mientras el pie se mantiene aún en el suelo. A, Extensión de la pata posterior empujando el cuerpo hacia delante. B, Flexión de la pata anterior empujando el cuerpo hacia delante.

Cuando se inicia el movimiento de la pata anterior esta es completamente protraída debido a la máxima promoción de la coxa y extensión total de los segmentos de la pata. En este estado esta ejerce una acción como apoyo retardando el movimiento. La retracción inicia por la remoción de la coxa la cual produce el efecto palanca conduciendo al animal hacia delante, un efecto que es adicionado por la flexión del trocánter sobre la coxa y la tibia sobre el fémur. Esta fase continua hasta que la pata esta en un ángulo recto a el eje del insecto. Cuando esta ha pasado esta posición ésta ejerce un efecto de apoyo el cual, ayudado por la extensión de la pata, tiende a empujar al insecto hacia delante.

Durante la protracción la pata es elevada y flexionada tanto que esta no ejerce ninguna fuerza sobre el cuerpo. El músculo promotor de la coxa probablemente comienza a contraerse antes de que la retracción esté completa, tanto que el cambio desde la retracción a la protracción es suave. Como las patas giran hacia adelante estas se extienden nuevamente tanto que en cada ciclo de movimiento

los músculos intrínsecos son sometidos a dos fases de contracción y relajación, mientras los músculos extrínsecos solo se contraen y relajan una vez.

El tarso de las patas mediales y posteriores siempre está ubicado sobre el suelo detrás de su coxa tanto que su efecto como apoyo longitudinal siempre asiste el movimiento hacia delante (Fig.39).

La principal fuerza de impulso de ambos pares de patas deriva de la extensión del trocánter sobre la coxa y de la tibia sobre el fémur empujando al insecto hacia delante.

Las fuerzas longitudinales producidas por estos movimientos son mayores tanto que el insecto se mueve hacia delante. Al mismo tiempo fuerzas laterales son producidas y cuando, por ejemplo, la pata anterior esta recta sobre el suelo, esta tiende a empujar la cabeza hacia la izquierda. Esto es parcialmente balanceado por las otras patas, pero estas son algunas tendencias para girar la cabeza de un lado al otro durante el movimiento.

2.4.1.2 Patrones de movimiento de las patas.

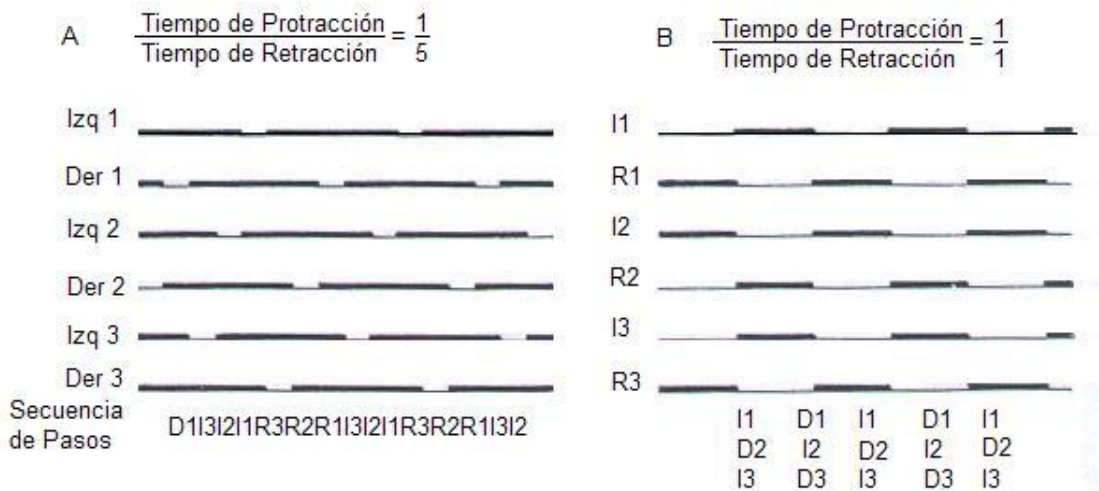
Cuando el insecto está caminando sus patas se mueven en una secuencia definida siguiendo dos principios generales. Primero, la pata no es levantada hasta que la pata de atrás este en una posición de soporte y, segundo, los movimientos de las dos patas de un segmento son alternados.

El modelo de movimientos de la pata y el número de patas sobre el suelo en un tiempo cualquiera depende de los tiempos relativos de protracción, cuando ellos están en el aire, y la retracción, cuando ellos están en el suelo. Los cambios en el modelo ocurren automáticamente siguiendo cambios en los periodos relativos de protracción y retracción. A velocidad baja el tiempo de retracción es relativamente mayor a la protracción tanto que: protracción/retracción es baja.

En estas circunstancias la mayoría de las patas están en el suelo por más tiempo y las patas son protraídas individualmente en la secuencia D3 D2 D1 I3 I2 I1 D3 etc. (donde D e I indican derecha e izquierda respectivamente, y 1,2 y 3 la pata frontal, medial o posterior).Fig. 41A y 42A.³⁷

³⁷ Ibid., p. 61.

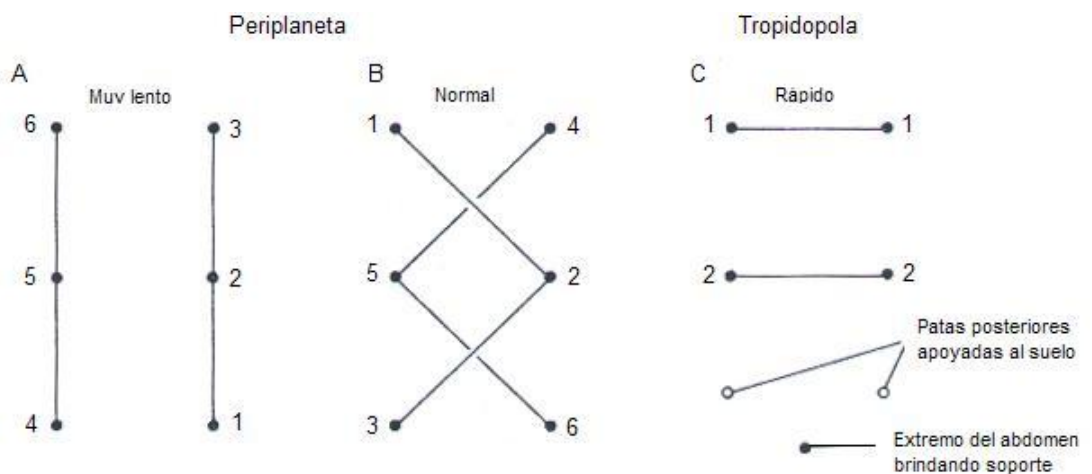
Figura 41. Diagrama mostrando la posición de las patas con diferentes relaciones en el tiempo de protracción: tiempo de retracción.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

Las líneas engrosadas indican retracción con el pie sobre el suelo, las líneas delgadas indican la protracción con el pie en el aire.

Figura 42. Esquema mostrando el orden en el cual los pies son levantados.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

... véase la figura 42... (A), a muy baja velocidad. (B), Velocidad normal en la mayoría de los insectos y (C), Velocidad alta de movimiento caminando. Los números indican la secuencia de pasos; los puntos unidos por líneas rectas indican los pasos de las patas al mismo tiempo o en una sucesión rápida.

Como la velocidad incrementa el tiempo de retracción que llega a ser relativamente más corto y la relación protracción/retracción se aproxima a la unidad. Con la relación protracción/retracción = 1.0 solo tres patas permanecen en el suelo en un tiempo cualquiera. La tres patas son la anterior y posterior de un lado y la pata medial del lado opuesto. Entre estas ellas forman un triángulo de soporte. Como ellas son protraídas las otras tres son retraídas y viceversa en la secuencia D1 I2 D3, I1 D2 I3, D1 I2 D3, etc. El insecto así es soportado en triángulos alternados de las patas. Este modelo de movimiento basado en triángulos alternados es fácilmente observable.

El insecto nunca tiene menos de tres patas sobre el suelo y puede para en cualquier punto sin perder su estabilidad una vez la tres patas encierran el eje vertical por el centro de gravedad. La estabilidad es mejorada por el hecho de que el cuerpo es tirado por las patas tanto que el centro de gravedad es bajo.

Otro modelo de movimiento también puede ocurrir. El movimiento de las dos patas de un segmento al mismo tiempo, este es asimismo el verdadero movimiento del saltamontes alpinista *Tropidopola sp.* Este insecto es efectivamente cuadrúpedo, usando solo los dos pares de patas anteriores, mientras el extremo del abdomen provee un punto adicional de soporte (Fig. 42C). A una velocidad rápida las patas son movidas en las secuencias I1I2I1 al mismo tiempo que la secuencia D1D2D1 etc. A velocidad baja los mantidos son también funcionalmente cuadrúpedos usando solo los dos pares de patas posteriores, pero la secuencia de pasos es I3I2D3D2I3 etc... o I3I2I3 a la vez que mueve D2D3D2 etc.

La velocidad de movimiento varía grandemente de un insecto a otro, pero en general la velocidad es mayor, a mayor temperatura.³⁸

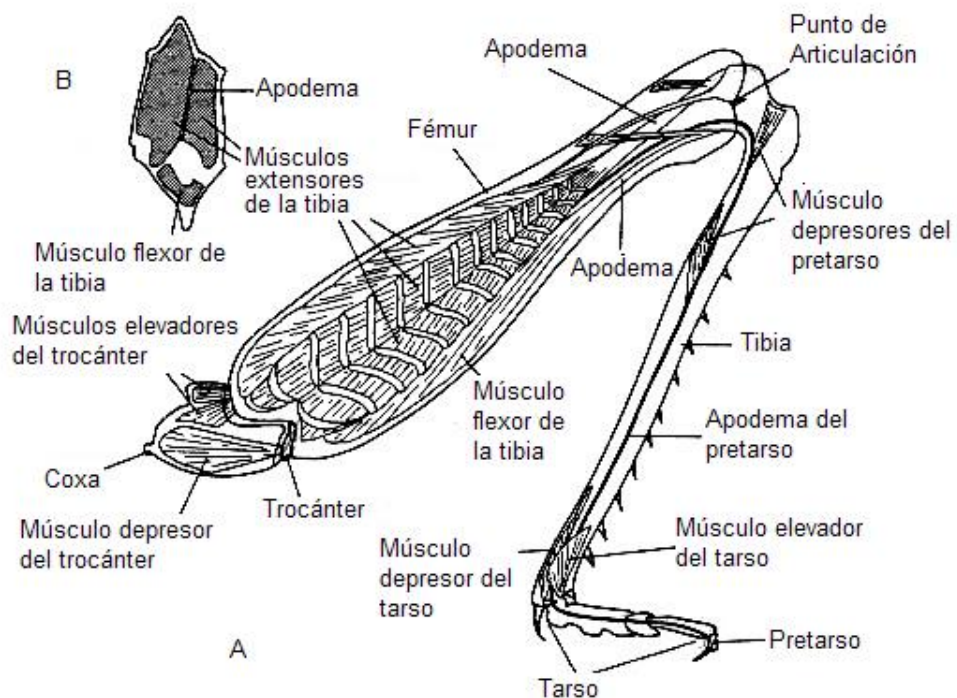
2.4.1.3 Mecanismo de salto.

En ortóptera, el fémur está fuertemente engrosado, aloja el poderoso músculo extensor (elevador) de la tibia, el cual consiste de dos grandes masas de fibras musculares que se levantan oblicuamente desde la pared del fémur y se inserten dentro en un gran y grueso apodema (Fig. 43B). El salto en este caso resulta del repentino enderezamiento de la unión femorotibial, extendiendo la tibia la cual también es alargada.

³⁸ Ibid., p. 61.

Los ortópteros pueden hacer grandes saltos, *Locusta sp* alcanza de hasta 70 cm., logrando una altura de 30 cm. El poder para saltar esta proveído por la repentina extensión de la tibia la cual en reposo esta plegada bajo el fémur. Antes de saltar un saltamontes sube su parte anterior del cuerpo y flexiona la unión femorotibial. El fémur posterior se mueve hacia delante y la tibia de ambos lasos repentinamente se extiende, empujando contra el suelo y proyectando el insecto hacia el aire.³⁹

Figura 43. Pata posterior de un saltamontes mostrando (A) la musculatura y (B) una sección transversa del fémur.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

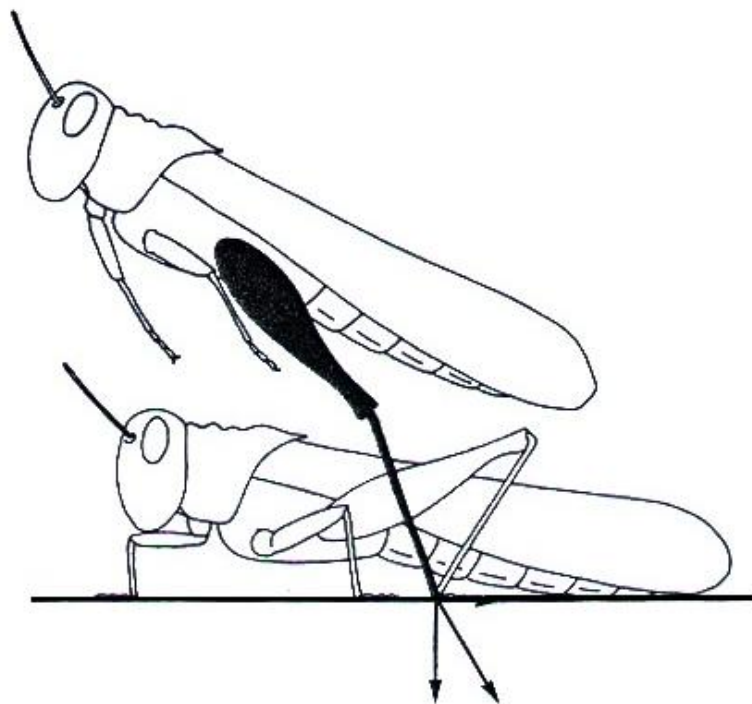
El poder de este movimiento esta dado desde el músculo extensor de la tibia el cual ocupa el fémur. Estos consisten de una serie de cortas fibras insertadas oblicuamente dentro del apodema, ellas tienen una gran área en sección

³⁹ Ibid., p. 61.

transversal y aquí son muy poderosas (Fig. 43B). Ellas pueden ejercer un pico de tensión de más de 800 g. sobre el apodema.

El último esta insertado dentro de la tibia sobre la articulación con el fémur tanto que, en un movimiento impartido al pie, este tiene un marcado efecto de palanca. Debido a la naturaleza de la unión el radio de influencia es 1:60 en la posición completamente flexionada o completamente extendida, cayendo a 1:35 con la tibia a medio extender. Así cada pie ejerce un empuje de aproximadamente 20 g contra el piso, amplio para elevar al insecto, pesando cerca de 1.5 g., dentro del aire.

Figura 44. Diagrama del salto de una langosta, mostrando el empuje ejercido por la pata posterior y su componente vertical y horizontal.

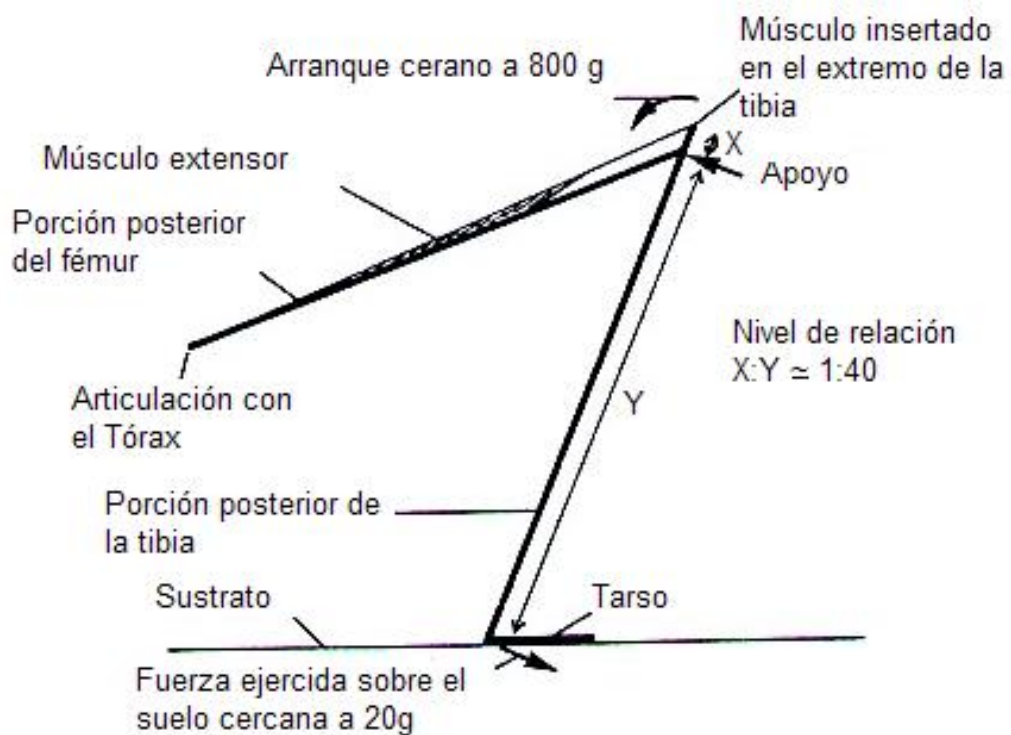


Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

La magnitud de la velocidad de despegue en un saltamontes adulto pesando 3 g. es 340cm/seg. Esto puede ser resuelto en componentes horizontales y verticales los cuales determinan la longitud y altura del salto. La altura incrementa con el

ángulo de despegue, el cual es usualmente cerca de 60° , y también con la distancia a través de la cual el mueve las patas.⁴⁰

Figura 45. Diagrama mostrando el efecto palanca de la tibia posterior de una langosta con el extremo del fémur actuando como un apoyo.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

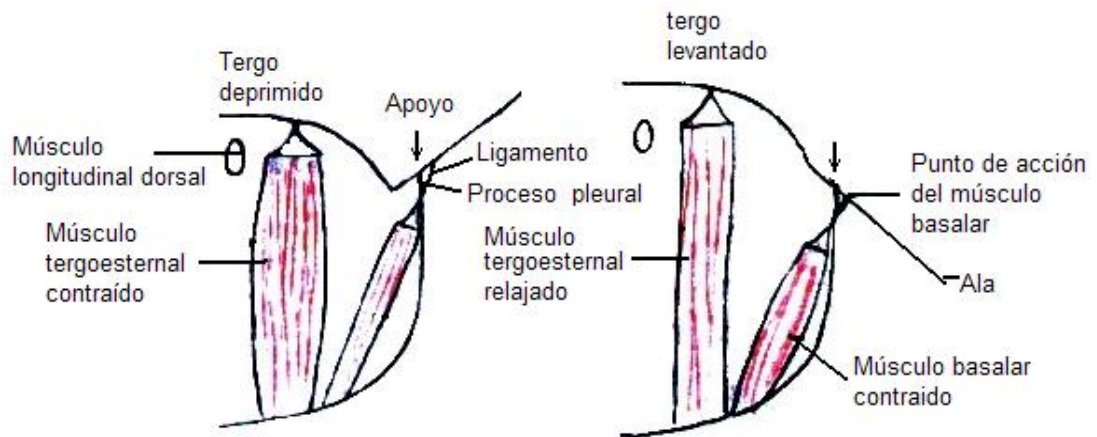
2.4.2 Mecanismo del Vuelo.

2.4.2.1 Movimiento arriba y abajo.

El movimiento de las alas arriba y abajo, es producido por los músculos alares directa e indirectamente, que involucran la elasticidad del tórax, la base del ala y los músculos mismos.

⁴⁰ Ibid., p. 61.

Figura 46. Sección transversal del tórax ilustrando el movimiento alar en un insecto, el que los músculos directos del vuelo causan el descenso del ala.



Fuente: SNODGRASS, R. E. 1935.

En todos los insectos el movimiento hacia arriba del ala es producido por el músculo dorso ventral o tergo-esternal, músculo indirecto insertado en el tergo del segmento sosteniendo el ala. Por contracción de sus fibras jala el tergo hacia abajo y de aquí también mueve el punto de articulación del alar con el tergo. El efecto de este movimiento es mover la membrana alar hacia arriba con el proceso pleural actuando como un fulcro o punto de apoyo (Fig. 46). Los músculos que producen este movimiento no siempre son homólogos. En muchos insectos ellos se levantan en el esterno o la coxa.

El movimiento hacia abajo del ala en ortóptera es producido por los músculos directos e indirectos actuando conjuntamente. Los músculos directos son entonces de propósito dual, ellos también intervienen en la torsión del ala durante el transcurso de la brazada

Un número de músculos que mueven el ala se originan en la coxa la cual es así mismo movable. Sí estos músculos mueven las patas o las alas, parece estar determinado por la posición de los apéndices; si las alas están cerca de los músculos que mueven las patas, pero en vuelo con las patas en posición de vuelo las alas son movidas.⁴¹

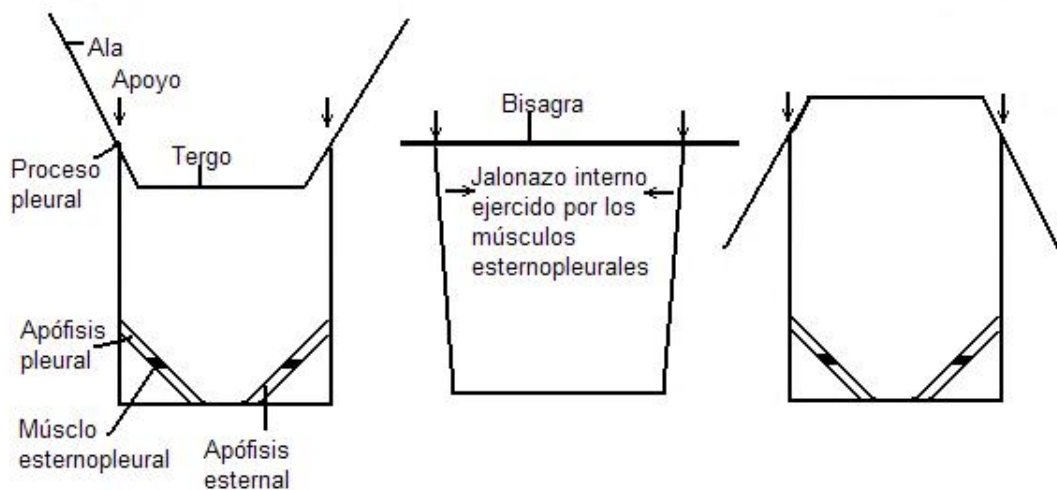
⁴¹ SNODGRASS, R. E.. Principles of insect morphology. McGraw-Hill, New York, 1935.

2.4.2.2 Movimiento debido a la Elasticidad.

En ortóptera, y probablemente en otros insectos, mucha de la energía involucrada en la brazada hacia arriba del ala es almacenada como fuerzas elásticas para usarlas en la brazada hacia abajo. Esto es posible porque las fuerzas aerodinámicas producidas en este tiempo, actúan en la misma dirección del movimiento alar asistiendo entonces a este movimiento. Así los músculos solo han llegado a superar las fuerzas de inercia del ala y la elasticidad de la base del ala, y como un resultado cerca del 86% de la energía que ellos producen es almacenada para usarla en la brazada hacia abajo del ala.

La elasticidad del sistema resulta en cierto modo de cojines de resilina, una proteína que forma la principal articulación en bisagra del ala.

Figura 47. Ilustración esquemática de la sección transversal del tórax mostrando la distorsión del tórax producto del movimiento del ala.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

En la Figura 47 se muestra (A), Alas arriba en posición estable. (B), posición inestable debido al jalonado interno ejercido por los músculos esternopleurales. C, Alas abajo en posición estable.

Las propiedades elásticas de los cojines son al menos perfectas tanto que estos absorben menos del 3% de la energía impartida a ellos cuando estos son extendidos en el movimiento hacia arriba de las alas.

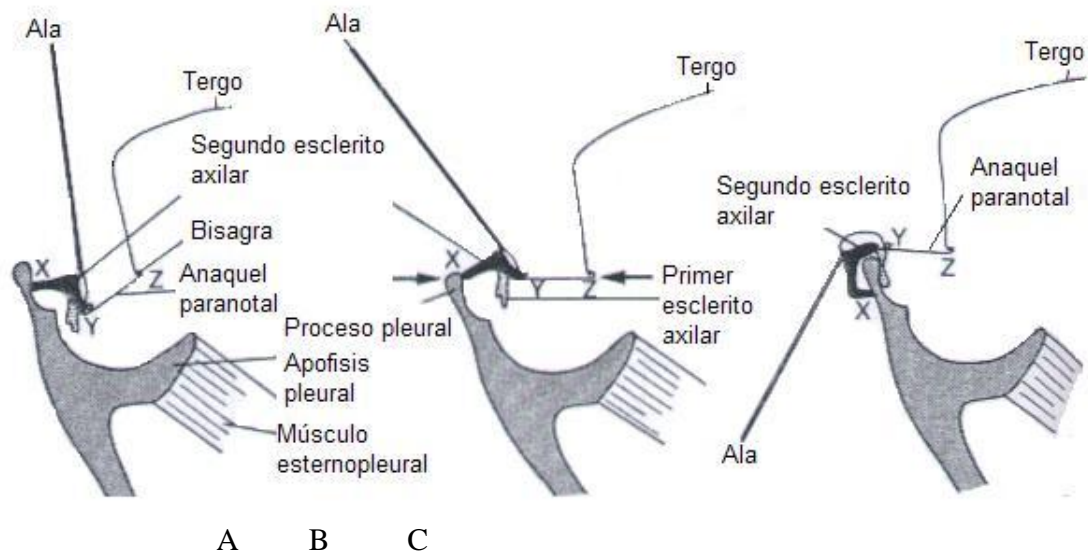
La contracción de los músculos indirectos del vuelo, distorsionan el tórax tanto que las propiedades elásticas del tórax como un todo son también factores

significativos en el movimiento alar. El movimiento de las alas involucra un movimiento lateral de la pared del tórax. Este movimiento es resistido por la elasticidad del tórax, la cual es grande debido a la articulación esterno-pleural y, a la menor extensión de la articulación tergo-pleural.

En el mesotórax y el metatórax, la apófisis pleural y esternal están fusionadas tanto que proporcionan una rigidez lateral al tórax que es considerable y constante, pero en otros insectos las apófisis están unidas por un músculo, alteraciones en la tensión de estos pueden regular la rigidez lateral.

Como un resultado de la rigidez lateral, la posición del ala es inestable para muchas de las brazadas y ellas tienden a retornar automáticamente a cualquiera de las posiciones completamente arriba o completamente abajo, siendo esta la única posición estable. Así en el vuelo las alas oscilarían en la posición arriba o abajo como un resultado de la elasticidad torácica. Este arreglo es llamado mecanismo 'click'.⁴²

Figura 48. Sección transversal de la base del ala ilustrando el mecanismo en clic en el movimiento alar.



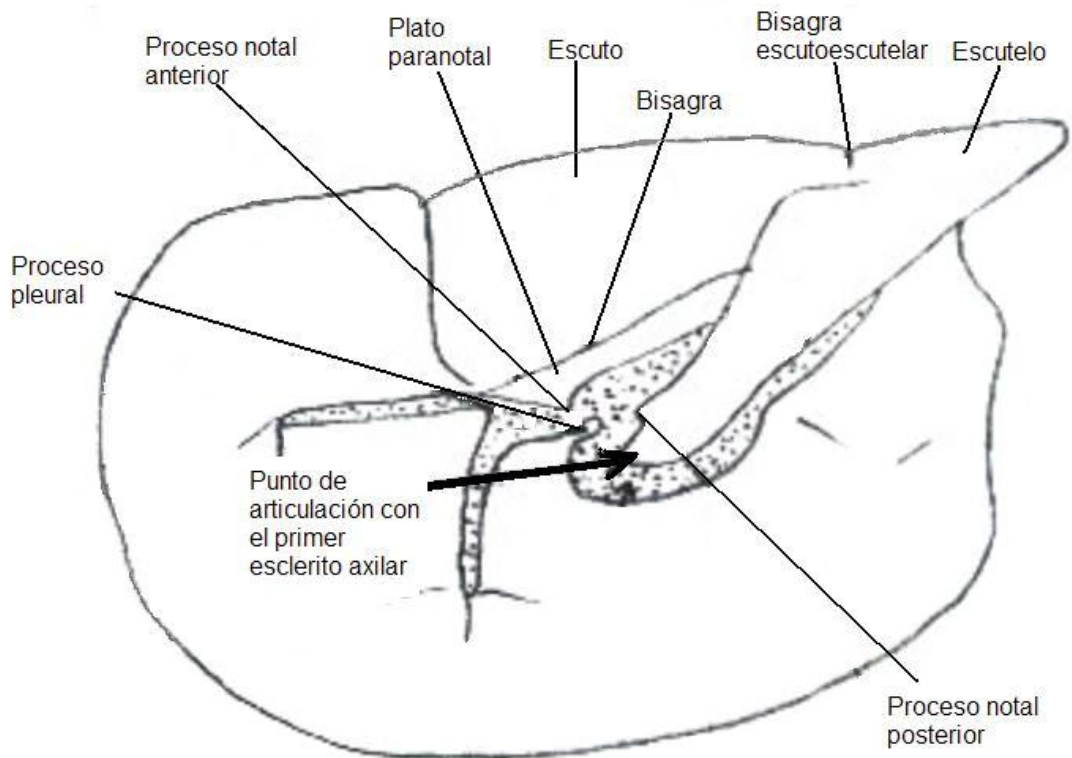
Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

(A), ala arriba en posición estable. **(B)**, posición inestable con el sistema XYZ en línea recta y bajo presión entre las flechas. **(C)**, ala abajo en posición estable.

⁴² CHAPMAN, Op.cit., p. 19.

La articulación del ala es más compleja que en los diagramas, pero el método de trabajo es básicamente el mismo. Así en *Sarcophaga sp.* (Díptera) ambos músculos del vuelo indirectos, los músculos dorsoventrales y longitudinales dorsales, producen una extensión lateral del notó, ejerciendo fuerzas externas, mientras el proceso pleural está jalando hacia dentro por el músculo esternopleural. El sistema XYZ de la figura es únicamente estable en el extremo terminal de la brazada.

Figura 49. Vista lateral del tórax de *Sarcophaga sp.*



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

La contracción de los músculos longitudinales de *Sarcophaga sp.* baja el escutelo que depende del escuto comportándose como una bisagra. Este sube el extremo anterior del nivel escutelar (noto convexo), el cual se origina del lado del escutelo (Fig. 49), y este empuja el primer esclerito axilar hacia arriba hasta que alcanza la posición inestable (Fig. 48B). Cuando las fuerzas ejercidas en X y Z causan que ala haga clic, es decir, encaje dentro de la posición estable, ala abajo. (Fig.48C). Durante la elevación de las alas el nivel escutelar empuja el primer esclerito axilar hacia abajo a la posición de máxima inestabilidad y entonces el ala automáticamente hace clic arriba.

En el extremo de cada brazada del ala el movimiento producido por el click es limitado por un tope. Esto da una mayor eficiencia en el vuelo una vez es eliminada la necesidad de hacer el trabajo de detener el movimiento. Así en *Sarcophaga sp* como en ortóptera la brazada hacia arriba está limitada por el nivel escutelar que golpea contra el esclerito pleural, pero el límite inferior es más variable. Este está determinado por la naturaleza de la articulación entre el primer y segundo esclerito axilar, los cuales pueden variar un poco en extensión por los músculos directos alternando la tensión lateral.

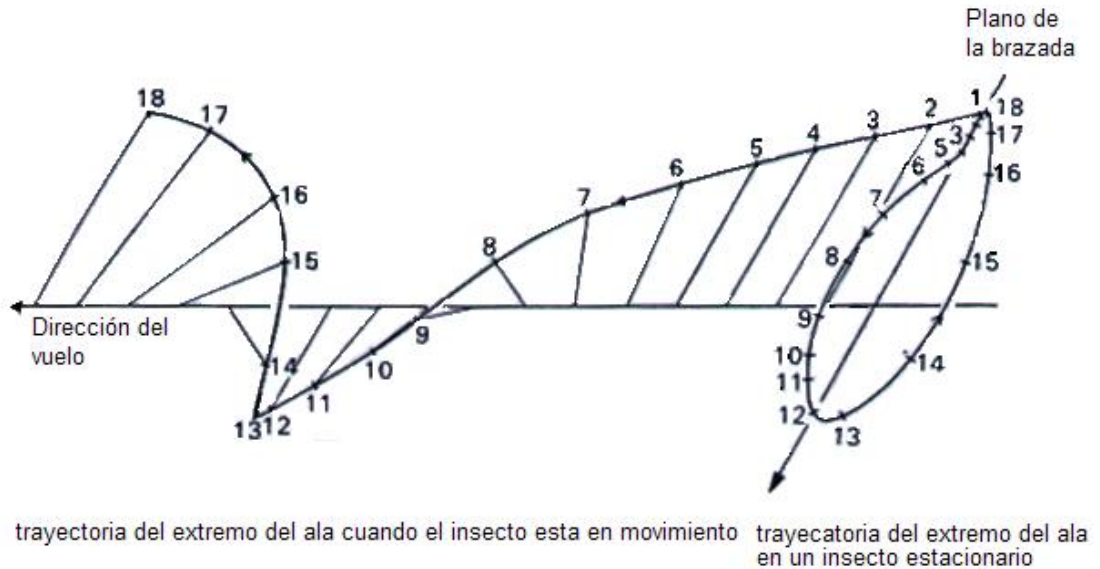
En *Schistocerca sp* el movimiento de las alas puede ser detenido por la contracción de músculos antagonistas, antes de que la brazada del ala se complete. Así los músculos longitudinales dorsales pueden comenzar a contraerse antes de finalizar la brazada hacia arriba.⁴³

2.4.2.3 Plano de la brazada y amplitud del aleteo.

Las alas se mueven siguiendo un ciclo de vibración, ellas también se mueven hacia atrás y hacia delante en alguna extensión. Como un resultado de estos movimientos, el extremo del ala anterior de *Schistocerca sp.*, se mueve en una elipse relativa al cuerpo, moviéndose hacia delante y abajo en el brazada hacia abajo del ala. y arriba y atrás en la brazada hacia arriba. Cuando el insecto está moviéndose, la ruta del extremo del ala a través del aire sigue un recorrido irregular. El plano en el cual las alas vibran relativas al cuerpo es llamado plano de la brazada.

⁴³ Ibid., p. 81.

Figura 50. Movimiento del extremo del ala cuando el insecto esta en movimiento.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

La elipse a la derecha muestra el movimiento relativo a el cuerpo del insecto, mientras la curva irregular muestra la trayectoria del extremo del ala de un insecto en movimiento a través del aire. Los números indican la posición del ala a intervalos de tiempos regulares durante la brazada y las líneas de unión a la trayectoria del extremo del ala en vuelo muestran el ángulo que el eje longitudinal del ala forma con el cuerpo en diferentes etapas de la brazada.

En orthópteras este se da en un ángulo de 30° mas o menos constante a el eje longitudinal del cuerpo con una amplitud de aleteo para *Schistocerca sp*, donde las alas no están ligadas anatómicamente, de $60 - 70^\circ$ de amplitud del ala anterior, mientras la del ala posterior es de 110° . La variación de la amplitud de aleteo en los dos lados del cuerpo puede ser usada en pilotar, los insectos dan vuelta hacia afuera desde el lado de mayor amplitud.

2.4.2.4 Torsión del ala.

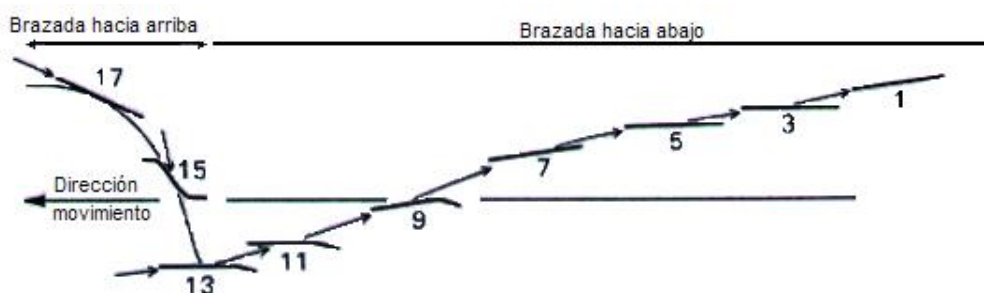
Añadiendo a la forma de aleteo el ala puede torcerse en diferentes caminos en diferentes fases de la brazada alterando las fuerzas que estas ejercen. En muchos insectos la torsión es producida por dos músculos directos del vuelo, el músculo basalar el cual inclina el ala, esto causa que la superficie ventral de la

cara extendida hacia abajo por un jalón bajo el borde de ataque, y el músculo subalar el cual supina el ala, causan que la superficie ventral de la cara oblicuamente extendida hacia delante por un jalón bajo el borde posterior. Estos músculos también actúan como depresores del ala, ellos son activos únicamente durante la brazada hacia abajo cuando el balance entre ellos determina el grado de inclinación del ala.

Además estos son algo pasivos torciendo el ala como un resultado de su flexibilidad y esto es evidente en el ala posterior del saltamontes el cual siempre implica una curvatura lisa. Durante la brazada hacia arriba, cuando los músculos directos están inactivos, la torsión del ala es totalmente pasiva.

Las alas bajo una secuencia regular de cambios en la torsión, están completamente inclinados durante la mayoría de la brazada hacia abajo con, una ala flexible posterior llegando hacia delante y hacia el extremo del movimiento. En la brazada hacia arriba el ala es supinada y forma una Z en sección transversal.

Figura 51. Cambios en la torsión de la sección media del ala anterior de *Schistocerca sp* en el transcurso de una brazada sencilla.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

El tamaño relativo del ala está fuertemente exagerado para mayor claridad. Las flechas cortas indican la dirección del viento relativo y el número es correspondiente con aquel mostrado por la posición del extremo del ala en la figura 50.⁴⁴

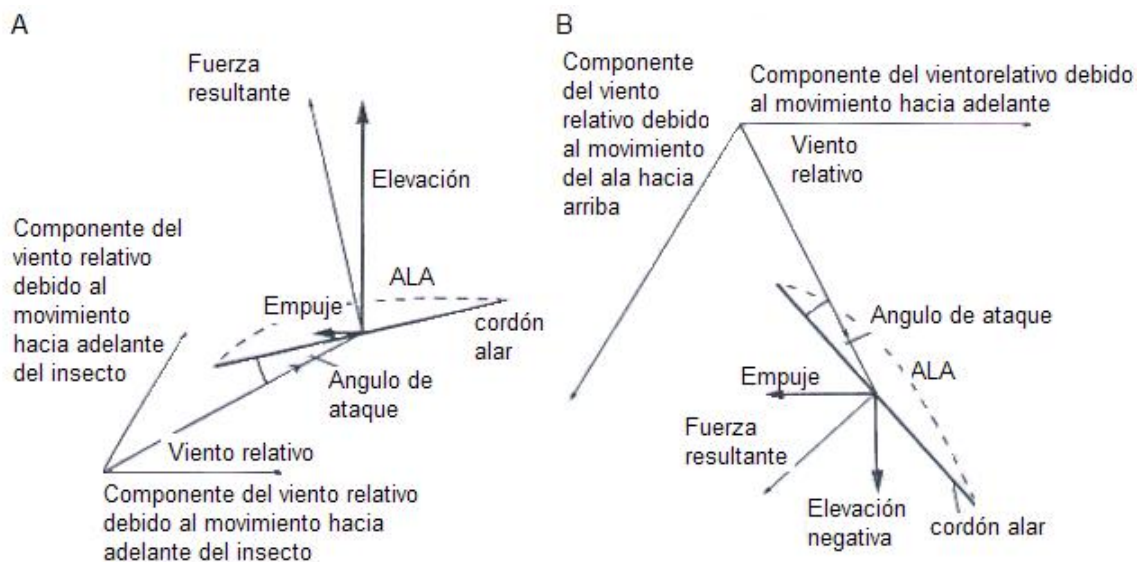
⁴⁴ Ibid., p. 81.

2.4.3 Aerodinámica.

2.4.3.1 Vuelo por aleteo.

La fuerza que mantiene a un insecto aerotransportándose y propulsándose es producto del movimiento de las alas. Ellos varían a través del aleteo debido a cambios en la torsión de las alas y a cambio en la velocidad relativa del viento. El viento relativo es el movimiento relativo del aire hacia el ala y este tiene dos componentes mayores; uno debido a la velocidad aerodinámica del insecto y un segundo debido a la velocidad del ala en el plano de brazada. El viento relativo puede ser considerado como el resultante de estas dos fuerzas.

Figura 52. Ilustración de las fuerzas actuando en el punto medio del ala en diferentes fases del aleteo.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

Correspondiendo aproximadamente con las posiciones 7 y 15 de la Figura 48. (A), Brazada hacia abajo del ala con un ángulo positivo de ataque. (B), Brazada hacia arriba del ala con un ángulo de ataque negativo. El grosor de las flechas no tienen significado ni indican el poder de las fuerzas.

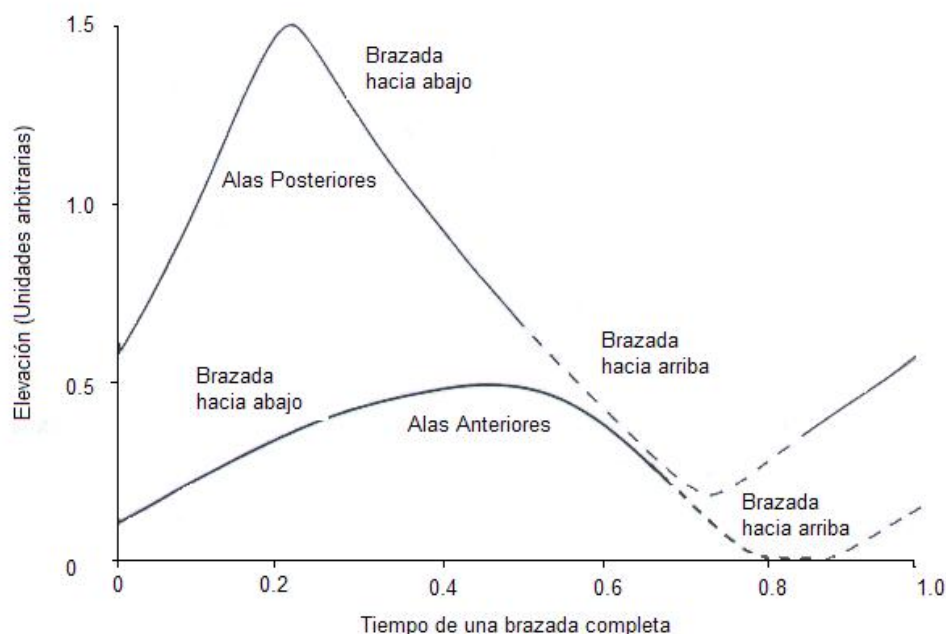
La fuerza que el viento relativo ejerce sobre el ala depende del ángulo al cual la brazada del cordón del ala está. Este ángulo es conocido como el ángulo de

ataque y este puede ser positivo o negativo (Fig. 52B). Porque la torsión del ángulo de ataque del ala varía a lo largo de su longitud, mientras la torsión también modifica el ángulo de ataque en cualquier punto en el curso del aleteo (Fig.51). Así el ángulo de ataque en el punto medio del ala es positivo y bastante constante a través de la brazada hacia abajo, pero llega a ser negativo durante la brazada hacia arriba.⁴⁵

2.4.3.2 Elevación.

La fuerza que ejerce el viento relativo sobre el ala puede descomponerse en dos componentes, la elevación del empuje. La elevación es la fuerza vertical producida para mantener la insecto estable en el aire la fuerza de elevación debe aproximarse o se igual al peso del insecto. La elevación llega a ser mínima durante la brazada hacia arriba de las alas, pero, en *Schistocerca sp.*, debido al ajuste del ángulo de ataque, este nunca llega a ser negativo, esto es que el ala como un todo nunca produce una fuerza que impulse al insecto hacia abajo (Fig. 53)

Figura 53. Cambios en la elevación producidos por las alas de *Schistocerca sp.* durante una brazada.

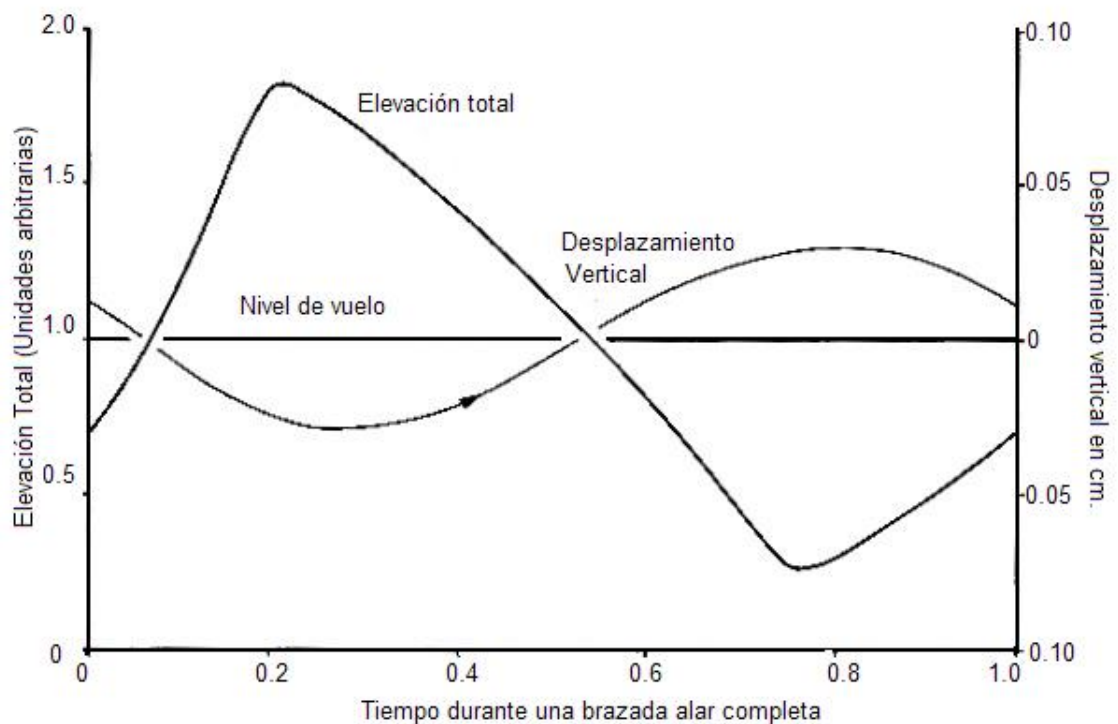


Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

⁴⁵ Ibid., p. 81.

Porque su gran área y gran amplitud de movimiento de las alas posteriores produce más elevación que las alas anteriores, cerca del 71% del total, y porque el ajuste del ángulo de ataque del 20% de la elevación total es producida durante la brazada hacia arriba de las alas. Esta variación resultante en la elevación durante el curso del aleteo deja un ciclo de desplazamiento vertical del insecto durante su vuelo siguiendo una ruta horizontal doblando arriba y abajo (Fig. 54).⁴⁶

Figura 54. Cambios en la elevación total y el desplazamiento vertical asociado de *Schistocerca sp.* Durante una brazada. Este es un tiempo de retraso entre el periodo de máxima elevación y el correspondiente ascenso del insecto.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

La elevación es también producida por la acción del viento relativo sobre el cuerpo como se distingue de las alas, pero la fuerza es insignificante comparada con la que es producida por las alas, en una proporción menor a 1/20 del total de la elevación en *Schistocerca sp.*

⁴⁶ Ibid., p. 81.

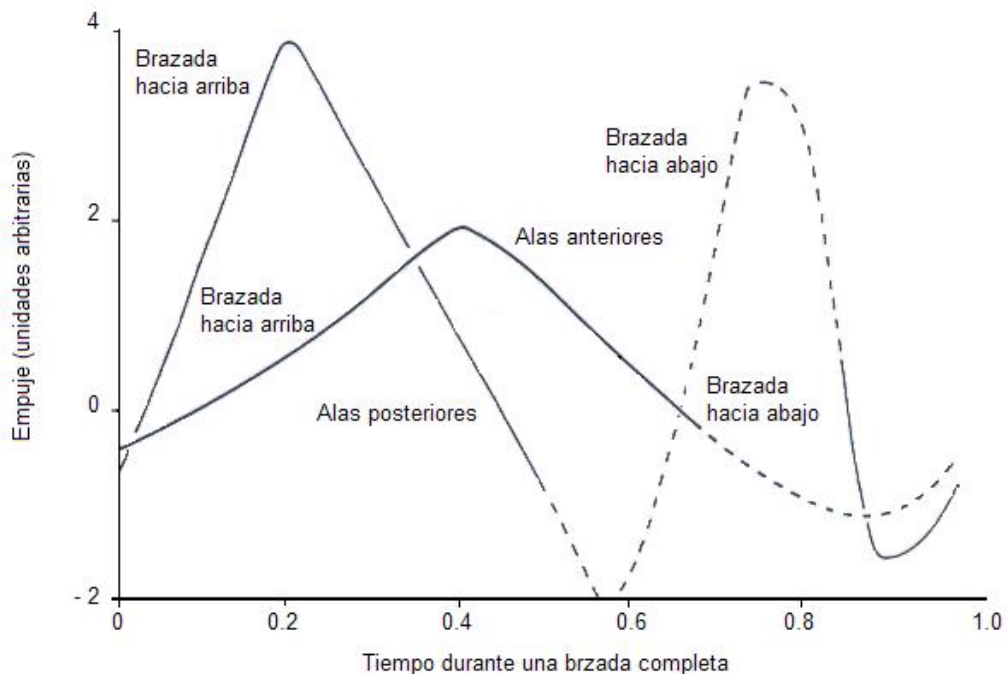
2.4.3.3 Empuje.

El movimiento hacia delante del insecto se debe también a l producto de una fuerza horizontal conocida como el empuje. Este debe ser suficientemente grande para sobrepasar las fuerzas de arrastre las cuales resisten el movimiento del insecto a través del aire. El arrastre resulta parcialmente desde el contorno del insecto, esta es el área que está presente hacia el aire, pero principalmente desde un arrastre inducido debido al desarrollo de vórtices en los extremos del ala los cuales disipan mucho le energía cinética desde los dos lados del ala.

El empuje, como la elevación, varían en el curso de un aleteo y las alas posteriores de *Schistocerca sp* producen el empuje máximo en el punto medial de la brazada hacia abajo y nuevamente en la brazada hacia arriba (Fig. 55). Esta variación resulta en cambios insignificantes de la velocidad del vuelo del insecto hacia delante en el curso de un aleteo.

La propulsión del insecto hacia delante requiere relativamente poca energía comparada con la necesidad de mantenerse en el aire y en *Schistocerca sp* el promedio del empuje es solo el 7% del promedio de elevación.

Figura 55. Cambios en el empuje producido por las alas de *Schistocerca sp.* durante una brazada.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

2.4.4 Control del Aleteo.

2.4.4.1 Comienzo de los movimientos alares.

El comienzo del vuelo inicia por el aleteo como un resultado de la pérdida de contacto del tarso con el sustrato. En orthópteras voladores, ocurre cuando el insecto salta hacia el aire. Cuando las patas están tocando el suelo el movimiento de las alas es inhibido, el contacto probablemente está siendo percibido a través de propioceptores de las patas. Las alas pueden también inducir el aleteo por varios estímulos de sacudida.

2.4.4.2 Permanencia de los movimientos alares.

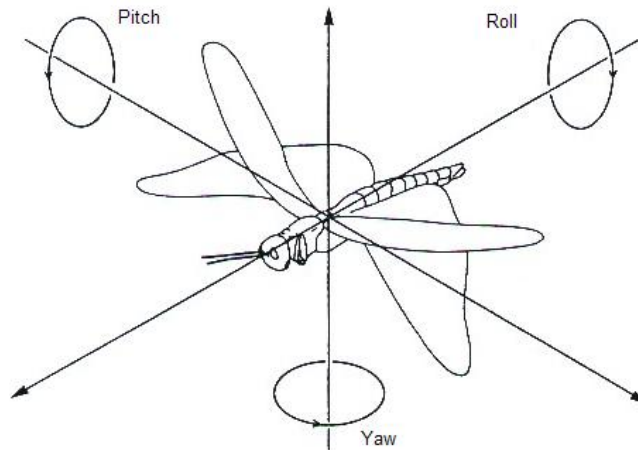
La pérdida de contacto entre el tarso y el sustrato es suficiente para mantener el movimiento de las alas como también para iniciarlo, en muchos otros insectos el vuelo se detiene pronto a menos que reciba una estimulación posterior. Esta es proporcionada por el movimiento del viento contra la cabeza. Una velocidad del viento de 2 m/s., es suficiente para mantener el movimiento de las alas en *Schistocerca sp* y una vez este es menor que la velocidad de vuelo del insecto el viento relativo producido en vuelo puede proveer suficiente estímulo.

Para las langostas el estímulo también resulta de la retracción de las patas cerca del cuerpo en un manera característica. Así la estimulación en la langosta de los cojines de setas causan que las patas anteriores asuman la posición de vuelo, pero las patas posteriores solo lo hacen cuando la sensila en la base de las alas son estimuladas por el movimiento del ala.

2.4.5 Estabilidad en vuelo.

Debido a las variaciones en las fuerzas que actúan sobre un insecto durante el vuelo, éste tiene una tendencia a desviarse de una ruta estable. Esta inestabilidad puede involucrar rotación de alguno de los tres ejes mayores del cuerpo pasando a través del centro de gravedad del cuerpo. La rotación cerca del eje longitudinal del cuerpo es llamado "rolling" (Rodamiento), la rotación cerca de la horizontal, del eje transversal es "pitching", o levantamiento y picada; y la rotación cerca del eje vertical es "yawing" o bandazo. Las desviaciones de una ruta estable son percibidas por varias sensilas y las entradas nerviosas desde estas ejercen un influencia controladora del ciclo de aleteo, tanto que la desviación es corregida y la ruta de estabilidad mantenida (Fig. 56).

Figura 56. Diagrama mostrando los ejes principales de rotación del insecto debido a su inestabilidad en vuelo.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

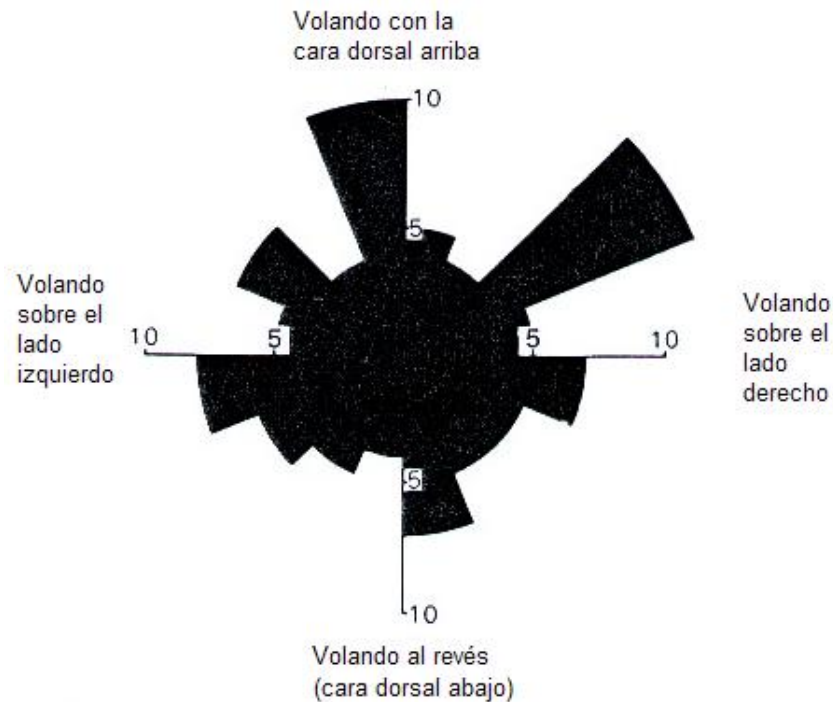
2.4.5.1 Rolling o Rodamiento.

La visión juega un papel importante en el control del Rolling. En orthóptera y en otros insectos, tienen una reacción de luz dorsal por la cual ellos alinean la cabeza para que la omatidia dorsal reciba la máxima iluminación. Para producir una reacción de luz dorsal un número de omatidias deben ser iluminadas, pero la respuesta no depende de la estimulación de una porción particular del ojo, puesto que este es inmóvil aparentemente, sí la mayoría de omatidias, la cuales están normalmente involucradas en la respuesta, están cubiertas.

La reacción de luz dorsal da estabilidad a la cabeza, y al resto del cuerpo que es alineado con la cabeza. Cualquier desviación de este alineamiento es señalado por propioceptores entre la cabeza y el tórax. En *Schistocerca sp.*, esta es una campana de setas en el esclerito cervical y pelos a lo largo del borde anterior del pronoto el cual está involucrado en esta orientación. Una estimulación desigual de las sensilas en los dos lados debido a un giro del tórax relativo a la cabeza produce un diferencial de torción de las alas, tanto que el tórax es llevado atrás en un nuevo alineamiento (Fig. 57).⁴⁷

⁴⁷ Ibid., p. 81.

Figura 57. Diagrama mostrando la orientación de una langosta en una serie de observaciones hechas cuando estaba en vuelo en oscuridad total.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

Las figuras indican el porcentaje de la frecuencia con la que la orientación ocurrió en cada sector.

Sí el insecto controla el rolling exclusivamente por una reacción de luz dorsal ellos pueden algunas veces tener una tendencia a volar en ángulos inusuales. Esto puede ocurrir con baja luz solar y cuando el cielo está justo antes del ocaso.

2.4.5.2 Control del Pitching y la elevación.

Cuando el insecto vuela equilibradamente tiende a mantener el cuerpo a un ángulo más o menos constante con la horizontal. En langostas este ángulo del cuerpo es inusualmente de 6-7°. Cualquier tendencia a cambiar el ángulo de inclinación corporal respecto al eje horizontal (Pitch), es contraatacada por cambios en la torsión de las alas anteriores tanto que las fuerzas que están ejerciendo son modificadas, pero aun, sí la langosta es sujeta experimentalmente a cambios mayores a 15° en el ángulo del cuerpo ellas son capaces de mantener la fuerza de elevación más o menos constante. Esta constancia es alcanzada por

la regulación de la torsión de las alas anteriores durante la brazada hacia abajo tanto que la cantidad de elevación a la cual esta, es alterada. Esta no es la regulación durante la brazada hacia arriba o de las alas posteriores en cualquier fase. Así un incremento en el ángulo del cuerpo puede incrementar el ángulo de ataque de las alas posteriores en la brazada hacia abajo tanto que ellas producen más elevación, pero esta es compensada por una reducción en la elevación producida por las alas anteriores tanto que la fuerza de elevación total permanece constante. Además el balance entre las alas anteriores y posteriores es perturbado tanto que esta es una tendencia para el insecto a pitch hacia delante y para contraatacar el cambio impuesto por el ángulo del cuerpo.

La torsión de las alas anteriores en esta reacción de compensación y en el control del Pitch, son regulados por la sensila campaniforme en las bases de las alas. Para producir la reacción en las alas anteriores, la sensila de ambos pares de alas son necesarias y el cambio en la torsión que ellas producen no es instantánea, pero ocurre en el curso de 100 a 150 brazadas del ala. Esto no es evidencia para una reacción de control de la elevación comparable con otros órdenes de insectos.

2.4.5.3 Yawing.

En el control de la rotación respecto al eje vertical o yaw (bandazo), la visión probablemente juega un papel junto con la sensila en la base del ala. Además, en *Schistocerca sp.*, la sensila en el cojín de setas facial tiene algunos grados de sensibilidad direccional y esta es alguna evidencia que la estimulación oblicua de la campana de pelos, puede ocurrir en un insecto tendiente al yaw, produciendo una modificación de la brazada para corregir la desviación.

2.4.6 Control de la Velocidad de Vuelo.

La velocidad de vuelo relativa al suelo puede ser controlada por una reacción opto motora con una tendencia a mantener el movimiento de imágenes sobre el ojo desde el frente hacia atrás a una cierta velocidad, en donde la antena puede ejercer un control sobre la velocidad. La antena está apoyada hacia delante contra el flujo de aire, su posición estática probablemente está siendo percibida por setas sensoriales en la base del flagelo. Oscilaciones del flagelo debido a los movimientos del ala son percibidos por el órgano de Johnston's. La posición de la antena y las oscilaciones del flagelo controlan la amplitud del aleteo y de esta manera influyen el empuje y la velocidad de vuelo ⁴⁸

⁴⁸ Ibid., p. 81.

2.4.7 Aterrizaje.

Durante el vuelo las patas de un insecto están apoyadas cerca del cuerpo, pero antes de aterrizar estas deben ser extendidas tanto que el insecto aterrice sobre sus pies. La extensión de las patas resulta de un estímulo visual mediado por los ojos compuestos. Los cambios visuales que ocurren cuando el insecto se aproxima a la superficie, ya que el ángulo de movimiento puede incrementarse tanto como se acerque y los detalles con imágenes o sombras contrastando pueden llegar a ser más evidentes. Además, para producir los movimientos de la pata un número relativamente grande de omatidias deben ser estimuladas y así el insecto no podría continuamente responder a pequeñas características del ambiente las cuales son visibles en vuelo normal.

2.4.8 Mecanismo de visión.

Muchos insectos adultos tienen un par de ojos compuestos, uno en cada lado de la cabeza lo cuales sobresalen en una extensión mayor o menor dando un amplio campo de visión en todas las direcciones.

Cada ojo compuesto es una agregación de unidades similares conocidas como omatidias, el número de estas que conforman el ojo varía según la especie. Cuando solo unas pocas omatidias están presentes las facetas en las que ellas se manifiestan al exterior están separadas una de otras por áreas estrechas de cutícula rodeándolas. Cuando se compone de grandes números de omatidias, como en orthóptera, las facetas están agrupadas juntas y cercanamente, adquieren una forma hexagonal.

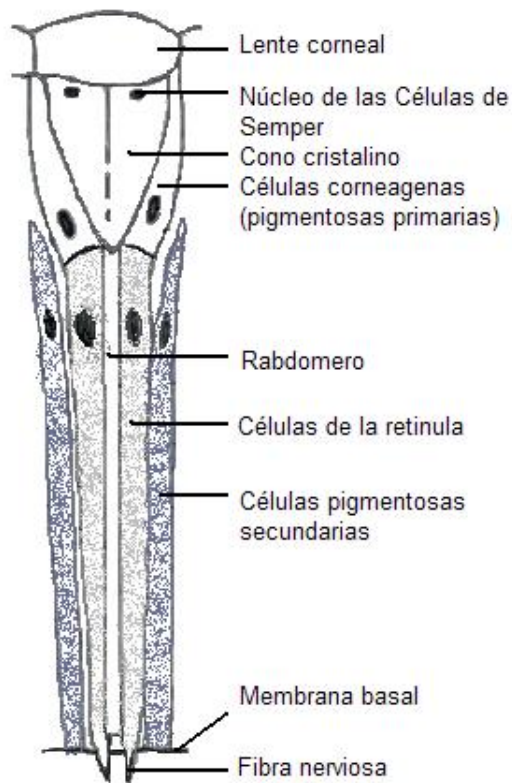
2.4.8.1 Estructura de la omatidia.

Cada omatidia consiste esencialmente de una región óptica, una parte captadora de luz y una región sensorial, percibiendo la radiación y transformándola en energía eléctrica.

La parte óptica usualmente consiste de dos elementos, un lente cuticular y un cono cristalino. La cutícula cubre el ojo, es transparente y poco coloreada; y usualmente un lente corneal biconvexo en el extremo terminal de cada omatidia. Estos lentes son lo que en la superficie muestran la forma de las facetas del ojo compuesto.⁴⁹

⁴⁹ Ibid., p. 81.

Figura 58. Esquema de la estructura del ojo compuesto detallando una sola omatidia.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

La cornea semeja el resto de la cutícula, es secretada por células epidérmicas, cada lente es producido por dos células, las células corneagenas, las cuales después llegan a retirarse a los lados de la omatidia y forman las células pigmentosas primarias. Debajo de la cornea cuatro células, las células de Semper, las cuales en muchos insectos, producen el cono cristalino. Esta es una estructura intracelular clara y dura bordeada lateralmente por las células pigmentosas primarias. Los ojos en los que el cono cristalino está presente es llamado ojo encono (Fig.58).

Inmediatamente debajo del cono cristalino en un ojo eucono está el elemento sensorial. Estos son células nerviosas alargadas conocidas como células de la retinula en cada una de los cuales el margen más cercano al eje de la omatidia es diferenciado para formar el rabdomero el cual se extiende en la longitud total de la

célula. A partir de cada célula está un axón nervioso que pasa a través de la membrana basal hacia atrás del ojo dentro de un lóbulo óptico.

El rabadomero consiste de paquetes cerrados de microtúbulos o micro-vellosidades cerca de 500 amnstrongs entre ellas, hexagonales en sección transversal y se extienden hacia el eje central de la omatidia en ángulos rectos al eje longitudinal de la célula de la retinula. Los microtúbulos de cada célula de la retinula son todos paralelos unos con otros y rigurosamente alineados con aquellos de la célula de la retinula opuesta, pero ellos en conjunto están en un ángulo a estos de la célula de la retinula adyacente. Colectivamente los rabadomeros de cada omatidia forma el rabadoma que en algunos orthópteras todos los rabadomeros están fusionados en una unidad sencilla.

2.4.8.2 Formación de Imagen por el Sistema Óptico.

La teoría clásica de la visión de los insectos supone que cada omatidia forma una imagen de una parte limitada del campo visual. Cada imagen tiene una intensidad global dada la cual varía de una omatidia a la siguiente dependiendo de la cantidad de luz reflejada desde el objeto tanto que colectivamente las omatidias producen series de manchas de luz de diferentes intensidades que juntas forman una imagen del objeto.

La evidencia experimental tiende a soportar esta teoría con algunas modificaciones. Una de ellas, como ocurre en *Locusta sp*, es que cada omatidia percibe la luz que llega desde un ángulo amplio el cual es cercano a 20°, y no simplemente desde un campo delimitado por el ángulo de la omatidia.

El ángulo al cual la omatidia subtiende en la base de la membrana, frecuentemente es de 1-2°. Quizás el campo visual de la omatidia adyacente se traslapa, pero la cantidad de luz transmitida a través del sistema de lentes queda fuera tanto como el ángulo de incidencia incrementa, de modo que la gran parte de luz que entra en cada omatidia llega desde un área limitada.⁵⁰

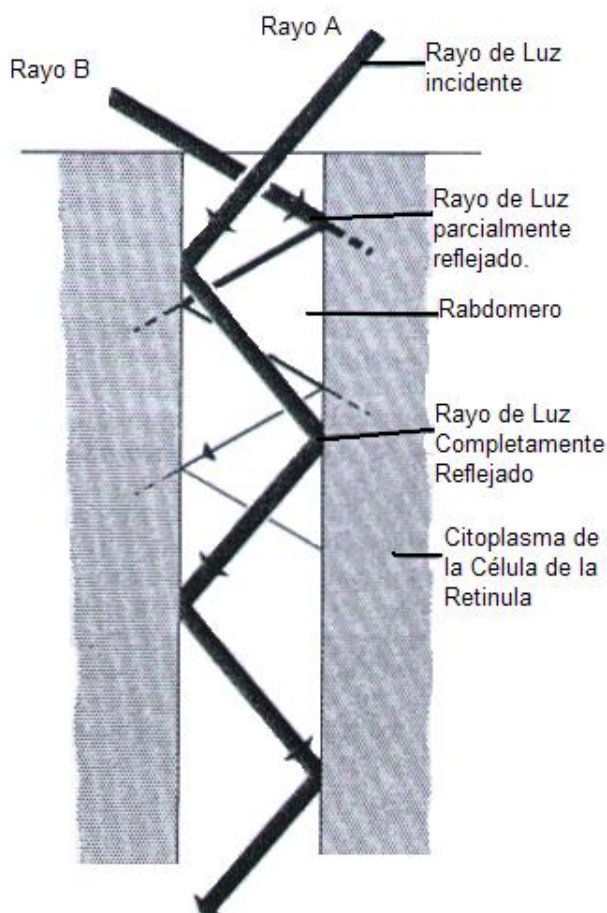
2.4.8.3 Recepción de Luz.

El rabadomero se presume es el sitio de fotorecepción y probablemente actúa como un guía de onda, atrapando la mayor parte de luz que entra a este. El índice de refracción del rabadomero es mayor que el de las células circunvecinas (1.5:1.33), a menos que la luz entrante este en un ángulo muy oblicuo (línea B Fig. 59) El proceso de fotorecepción es básicamente similar al de humanos. La conversión de energía lumínica a impulso nervioso involucra un pigmento fotorreceptor que es una cromo-proteína conocida como rodopsina que consiste de retinina, la aldehído de la vitamina A, conjugada con una proteína. La retinina ha sido aislada de la

⁵⁰ Ibid., p. 81.

cabeza de orthóptera, Himenóptera y Díptera así como de otros grupos y esta es reversiblemente convertida a vitamina A por la acción de una Deshidrogenada.

Figura 59. Diagrama del efecto de la luz captada por el rabdomero.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

El rayo de luz entrante por el lado derecho llega a ser reflejada totalmente en el interior, pero el rayo entrante muy oblicuo desde la izquierda es reflejado parcialmente y llega a ser absorbido por las células de la retinula circunvecinas.

El espectro de absorción del pigmento visual varía de acuerdo a la proteína con el cual la retinina es conjugada y es probable que en algunos insectos sean tres pigmentos con diferente sensibilidad espectral.

El poseer diferente sensibilidad a diferentes longitudes de onda no implica la habilidad para discriminar entre las longitudes de onda. En insectos que se presentan dos o más pigmentos visuales con sensibilidad espectral diferente les permite discriminar longitudes de onda, es decir, tiene visión del color.

Estudios de visión en color y comportamiento han mostrado que la visión del color ocurre en numerosos himenópteros, dípteros, coleópteros, lepidópteros, neurópteros, heteróptero, homópteros y orthópteros, aunque no ha sido determinada para cada grupo los picos del espectro donde se tiene mayor sensibilidad, se apoya la presencia de tres pigmentos fotosensibles en los insectos.

2.4.8.4 Agudeza visual.

Experimentos acerca del comportamiento sugiere que el ojo de insecto tiene una resolución capaz de distinguir dos objetos con un ángulo de separación de cerca de 1°. Objetos mucho más cercanos no son diferenciados uno de otro y la mínima separación angular que le permite distinguir entre dos objetos es conocida como el mínimo ángulo visual y este es una medida de la agudeza visual.

$$\Theta = 1.22 \lambda / d$$

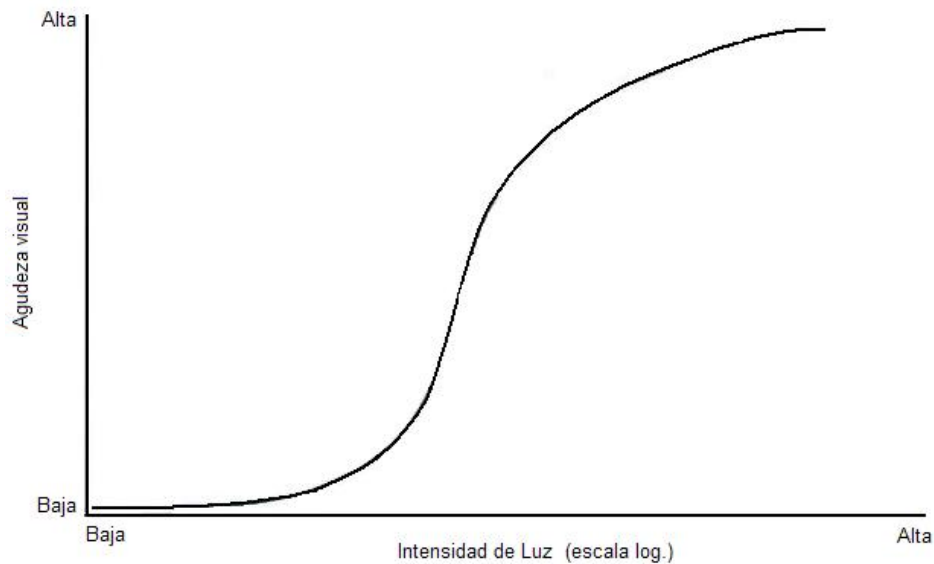
Donde θ es la mínima separación angular para distinguir dos objetos muy cercanos, λ es la longitud de onda de la luz y d es el diámetro de apertura. El ojo de *Locusta sp* es muy sensible a luz con una longitud de onda cercana a los 500 nm y el diámetro del lente es aproximadamente de 32 μ tanto que, sobre esta base, $\theta = 1.09$, con luz ultravioleta, de $\lambda 03040\mu$, $\theta=0.74$.

Esto sugiere que, sobre bases físicas el sistema de lentes en el ojo no separa objetos con un ángulo de separación mucho menor a 1. La agudeza es menor a baja intensidad de luz (Fig. 60).

Esto puede deberse a las células de la retinula de varias omatidias actuando juntas como unidades de modo que la sensibilidad es mejorada y solo depende de la habilidad del insecto para discriminar entre luces de diferentes intensidades.⁵¹

⁵¹ Ibid., p. 81.

Figura 60. La relación entre la agudeza visual del ojo de *Apis sp* y la intensidad de luz.



Fuente: CHAPMAN, R. F. 1979.

2.4.9 Mecanismo en la producción de Sonidos.

El sonido con referencia a insectos puede ser definido como cualquier disturbio mecánico el cual es potencialmente emitido por el insecto desde una fuente externa y localizado. Este no solo incluye las vibraciones transmitidas a través del aire o el agua, sino también, aquellas que viajan a través del sustrato.

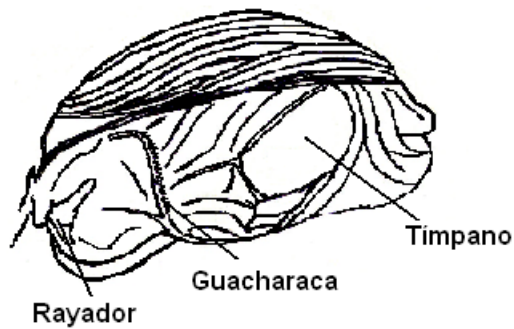
El termino estridulación es usado en el sentido de Haskell (1961) para indicar cualquier sonido producido por un insecto sin implicar el concerniente modo de producción de sonido.

La producción de sonido en gryllidos se logra mediante un mecanismo de fricción entre partes del cuerpo. Al igual que en tettigonidos, los gryllidos tienen estridulación elitral, donde los machos generalmente en cada tegmina tienen una vena cubital cercana a la basa cuyo borde inferior esta modificado para formar una fila de dientes mientras que en cada borde de la tegmina opuesta esta un puente formando el rascador. La tegmina derecha traslapa la izquierda de modo que solo la fila derecha y el rascador izquierdo son funcionales.

En la producción del sonido la tegmina se levanta en un ángulo de 15-40° del cuerpo y entonces abre y cierra de modo que el rascador raspa sobre la fila de dientes causando que la tegmina vibre y produzca sonido. El sonido es producido durante la oclusión de la tegmina, no cuando las tégminas son abiertas, cada impacto entre el rascador y un diente produce una vibración sencilla de la tegmina. La tegmina es así manejada por estos impactos tanto que la frecuencia del sonido producido es la misma que la frecuencia de impactos del rascador sobre los dientes.

Este modo de estridulación, se da en algunas especies, en las cuales las alas posteriores están ausentes y las tégminas son cortas y redondeadas, destinadas únicamente a la producción de sonido. La mayoría de hembras de gryllidos usualmente no poseen aparato estridulante.

Figura 61. Esquema de las estructuras que conforman usualmente el órgano estridulante en grillos.



Fuente: Autor.

3 ANALISIS DEL GRILLO

3.1 ANALISIS MORFOLOGICO

Del material recopilado de dibujos y fotografías que se importan de los diferentes campos a analizar basados principalmente en dos métodos de enseñanza que son: el Método Intuitivo y el Método Gráfico Instrumental; su aplicación y desarrollo es universal.

El método Intuitivo.- Se define como el desarrollo de la libertad de expresión gráfica de la persona, haciendo que diversifique su sentido de observación e iniciativa hacia lo estético, hacia lo bello, hacia la naturaleza, hacia el universo y de esta manera re conformar su personalidad.

El Método Gráfico Instrumental.- Es el método en el que se analizan con exactitud las imágenes de los objetos, de una manera ordenada y secuencial, para normalizar su contenido. Grafico formal, apoyado en algunos instrumentos.

3.1.1 Simetría.

Simetría bilateral proyectada sobre un eje en dirección sagital divide el cuerpo en dos mitades izquierda y derecha iguales entre sí.

La simetría es muy importante pues se considera que en toda la naturaleza está sometida a las leyes de la simetría por cuestiones de equilibrio.

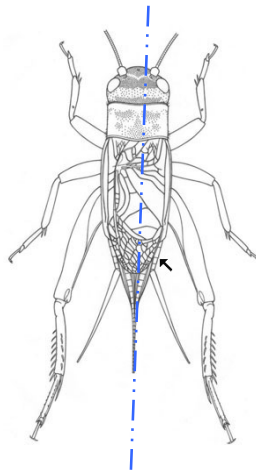


Figura 62 . Esquema de simetría axial.

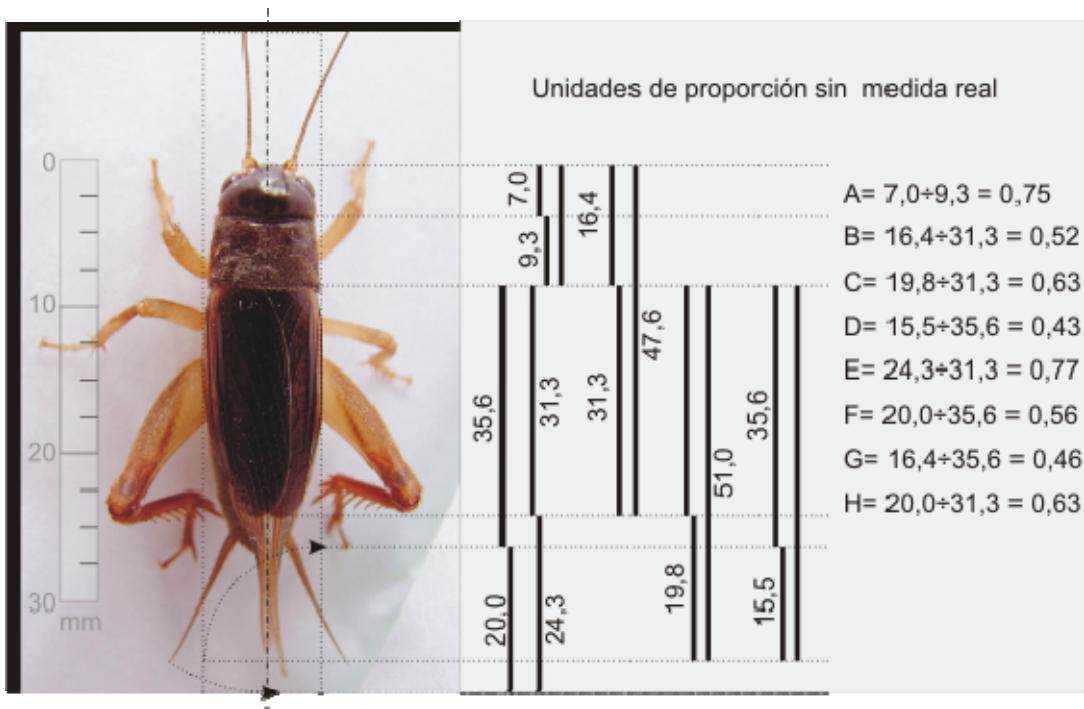


Fuente: Autor.

3.1.2 Proporcionalidad normalizada y visual.

3.1.2.1 Análisis general vista de arriba.

Figura 63 . Proporciones generales vista de arriba.

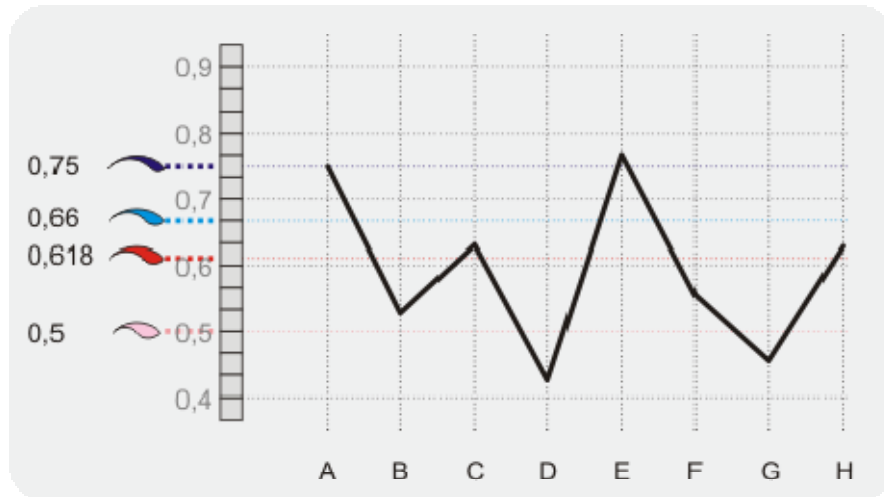


Fuente: Autor.

Tomando como base las principales divisiones y segmentaciones del grillo desde la vista de arriba y proyectadas las magnitudes en un esquema (Fig.63) paralelo y de aproximación se encuentran algunas relaciones de proporcionalidad las cuales determinan su armonía en medidas.

Se muestra en la Figura 63 con líneas verticales negras y con su medida de proporción las magnitudes aproximadas y agrupadas por cercanía, las cuales se utilizan para calcular su relación de proporción mostrada al lado derecho con letras mayúscula que refleja el resultado de una división de menor sobre mayor.

Tabla 1. Diagrama final de proporciones a nivel genera visto de arriba.



Fuente: Autor

De las ocho proporciones tomadas, seis de ellas están dentro de un rango de medidas muy armónicas: 0,5; 0,618; 0,666 y 0,75 señaladas con colores en la (Tabla 1). Los puntos son los correspondientes a A, B, C, D, E, F, G y H. los cuales determinan las proporciones correspondientes entre:

A= Largo Cabeza/ largo Pronoto. = 0,75

B= Largo Cabeza + Pronoto/ largo Termina. = 0,52

C= Extensión de las alas no cubierta por la Tegmina / Tegmina. = 0,63

D= Ancho del abdomen/ largo de labdomen. = 0,43

E= Largo de los cercos/ Largo de la Tegmina. = 0,77

F= Extensión de los cerco a lo largo después del abdomen/ largo abdomen.= 0,56

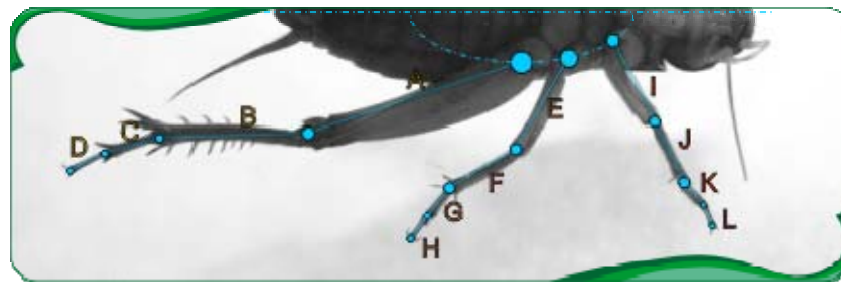
G= Largo Cabeza + Pronoto/ Largo abdomen. = 0,46

H= Extensión de los cerco a lo largo después del abdomen/ largo Tegmina. = 0,63

3.1.2.2 Proporción en patas.

Relación de crecimiento de los segmentos existentes en las patas delanteras, medias y posteriores del grillo.

Figura 64. Medidas en los segmentos de las patas del grillo.



(Medidas en milímetros de los segmentos)

A = 12	E = 6,2	I = 6,0
B = 7,3	F = 4,7	J = 4,4
C = 3,8	G = 2,2	K = 2,0
D = 1,8	H = 1,5	L = 1,5

Fuente: Autor.

Proporciones existentes entre los segmentos de la pata posterior:

Pretarso/Tarso $D/C = 0,473$

Tarso/Tibia $C/B = 0,520$

Tibia/Fémur $B/A = 0,608$

Proporciones existentes entre los segmentos de la pata medial:

$H/G = 0,681$

$G/F = 0,468$

$F/E = 0,758$

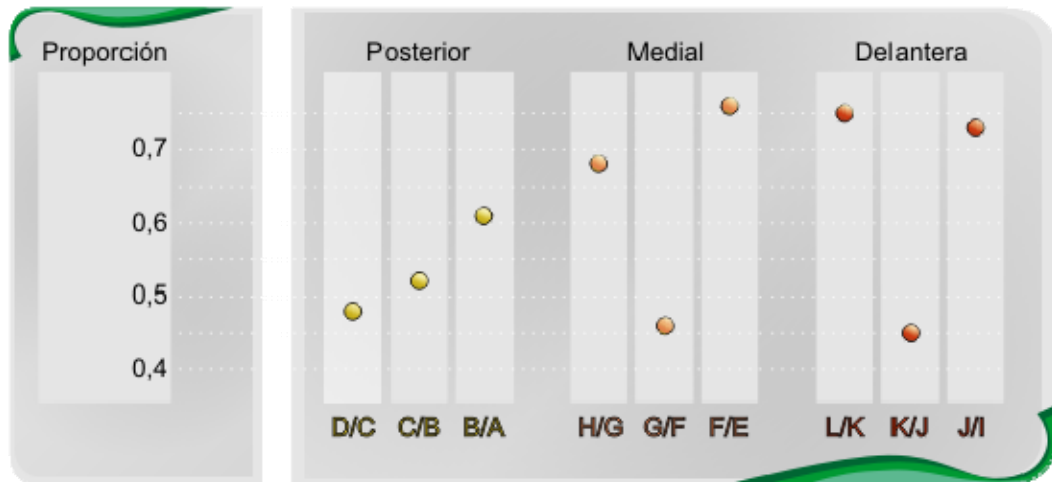
Proporciones existentes entre los segmentos de la pata delantera:

$L/K = 0,750$

$K/J = 0,454$

$J/I = 0,733$

Tabla 2. Proporción de las patas analizando sus segmentos.



Fuente: Autor.

Los puntos en la (tabla 2) muestran las proporciones, relacionando los segmentos de las patas desde el nivel distal hacia el proximal ordenadamente como en la (Fig.64). Agrupadas en pata posterior, medial y delantera cada grupo con un color propio. Se encuentran puntos dentro de un rango muy próximo a proporciones armónicas conocidas como: 0,75 ; 0,66 ; 0,618 y 0,5.

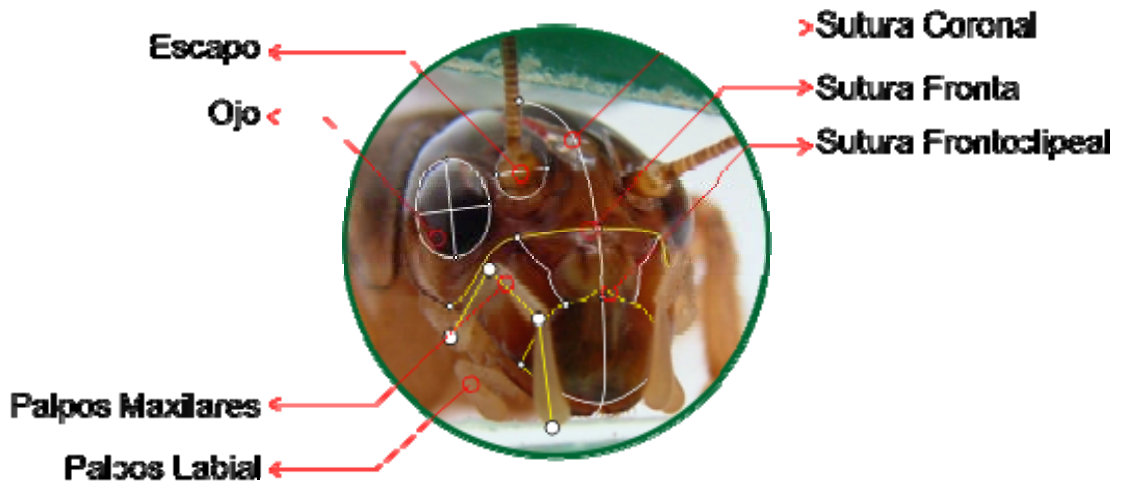
Las relaciones existentes entre los segmentos de las patas delanteras con las medias conservan un patrón similar de proporción como: (F/E), (L/K) y (J/I) son puntos muy próximos a 0,75 ; (H/G) próximo a 0,66 ; (G/F) y (K/J) próximos a 0,45.

La pata posterior conserva una relación constante en crecimiento a medida que se acerca al tórax y no muy brusca con relación a las otras patas. Los puntos relacionados en la tabla 2 y que muestran el conjunto de la pata posterior están próximos a proporciones armónicas que van desde la parte distal (punto D/C y C/B) con una aproximación muy fuerte a 0,5. Proximal esta el punto B/A con la exactitud de 0,61.

3.1.2.3 Proporciones en el tagma cefálico.

La cabeza como elemento polar contiene órganos importantes de orientación y dentro de su estructura se encuentran zonas representativas de la forma de este grillo.

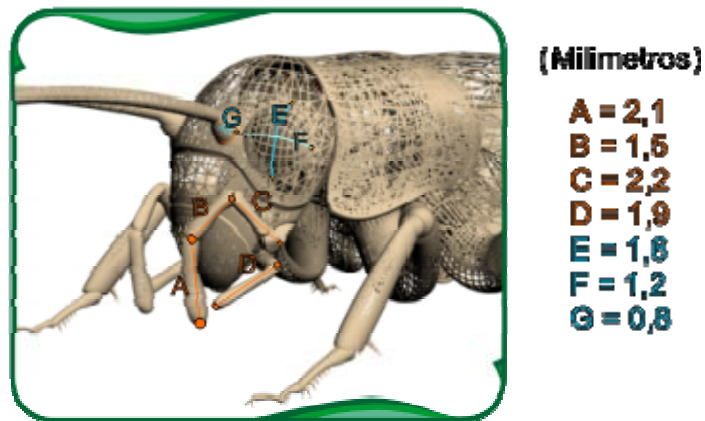
Figura 65. Principales estructuras externas y visibles de la cabeza.



Fuente: Autor.

En la figura 65 se exaltan las formas de la cabeza más visibles del grillo de campo (*Anurogryllus muticus*) de ellas se resaltan como las representativas en la anatomía de la cabeza las cuales le dan su identidad. Con su uso se basa el estudio proporcional de la cabeza dispuesta a continuación.

Figura 66. Proporciones del ojo, escapo y palpos maxilares.



Fuente: Autor.

Bajo los rigurosos parámetros morfológicos y geométricos se representa (figura 65) un modelo geométrico y proporcionado mostrando algunos detalles de los palpos maxilar, el ojo e el escapo.

Proporciones existentes entre los segmentos de los palpos maxilares:

$$B/C = 0,68$$

$$B/A = 0,71$$

$$B/D = 0,78$$

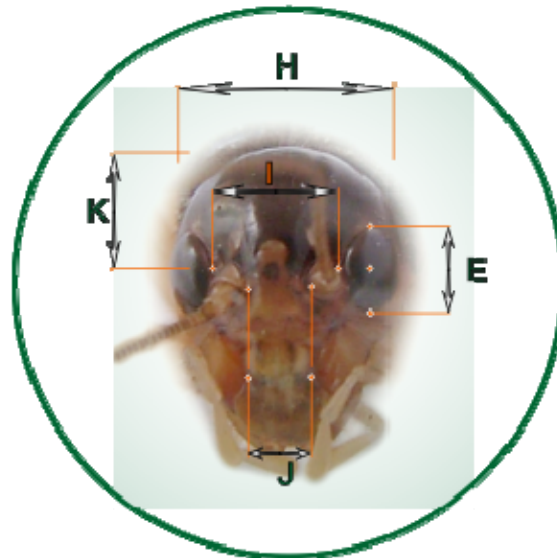
Proporciones existentes entre los ejes elípticos de los ojos y la base de la antena o Escapo:

$$G/F = 0,66$$

$$F/E = 0,75$$

En las anteriores relaciones métricas de proporción se distingue unas aproximaciones a medidas armónicas de 0,666 y 0,75.

Figura 67. Proporción general y distribución de formas en la cabeza.



Medidas en milímetros

H=5 I=2,7 J=1,4 K=3,0 E=1,6

Fuente: Autor.

En la Figura 66 se dispone de las medidas y proporciones a nivel general de la cabeza, distinguiendo la posición y distancia entre sus formas principales como los ojos el escapo y suturas.

Las relaciones de estas distancias (H, I, J, K, E) proporcionan y establecen la distribución de los elementos contenidos en la cara del grillo.

Relaciones de proporciones encontradas en la cara del grillo:

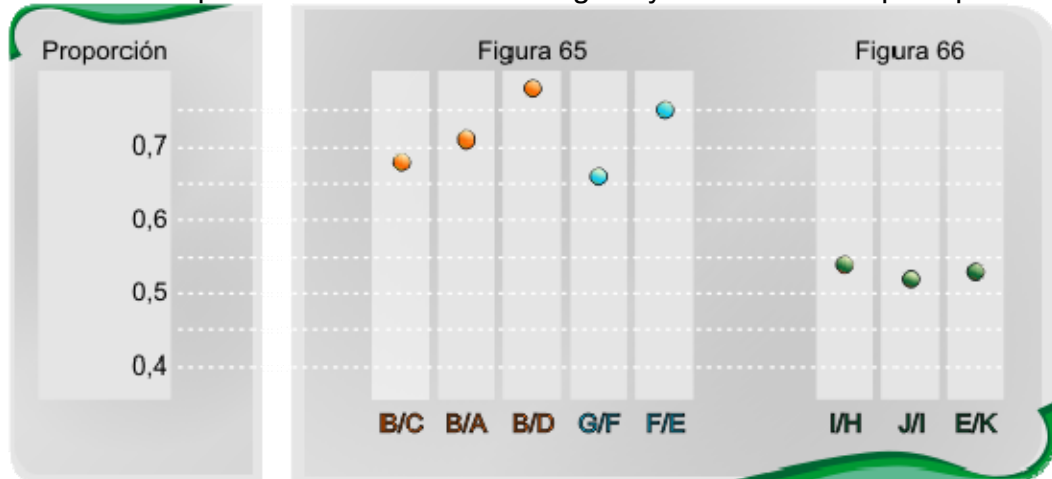
$$I/H = 0,54$$

$$J/I = 0,52$$

$$E/K = 0,53$$

Existe una relación de proporción muy evidente en aproximarse a 0,5 en todas las proporciones en este análisis de ubicación general de las partes hecho en la cara del grillo (Fig. 66.)

Tabla 3. Proporciones de la cara de un grillo y sus elementos principales.



Fuente: Autor.

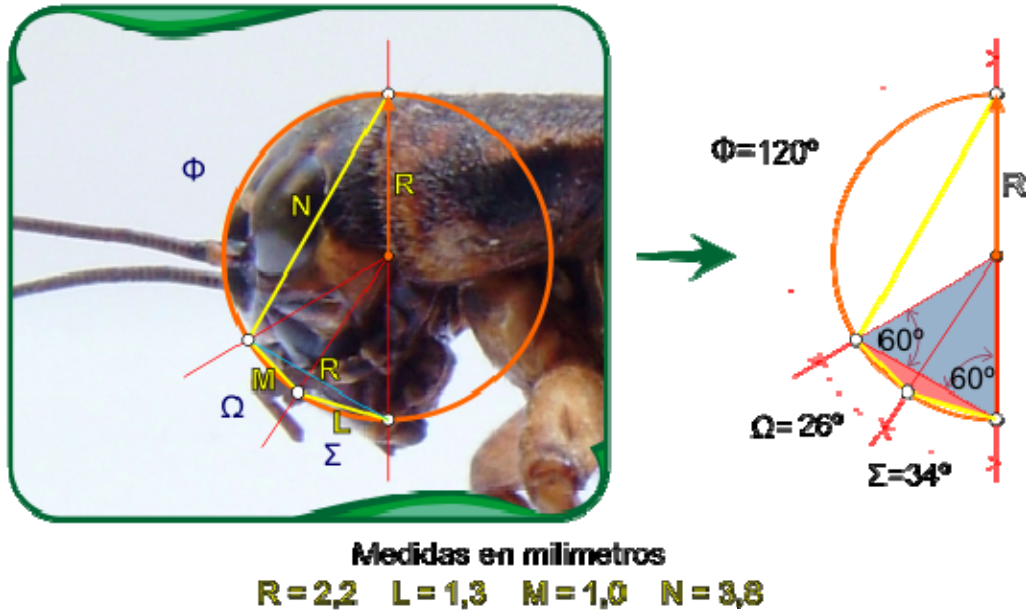
Recopilando los datos de las proporciones vistas en las Figuras 65 y 66 en una tabla comparativa. Se observa cada grupo analizado por colores, las regiones analizadas guardan un patrón y congruencia a unas proporciones armónicas.

Cada grupo contiene su propia tendencia y similitud interna, es decir, los puntos verdes correspondientes a la ubicación y distribución en general de las principales formas en la cara del grillo, se distancian con una relación de 0,5 aproximadamente, en términos cualitativos sería de mitades entre sí o dobles según el sentido de análisis de menor a mayor distancia.

Los puntos mostrados en la tabla 3 con color naranja están en un rango de 0,68 a 0,78 de proporción dando como resultado en términos de forma unos segmentos del palpo maxilar en crecimiento mayor a la mitad, a medida que se ubican distalmente de la cabeza. El rango de estos puntos se aproxima mucho a medidas de proporción muy armónicas conocidas de (0,66); (0,75).

Los puntos celestes reflejan la proporción de los ojos y el escapo de la antena. La relación F/E muestra la proporción armónica de 0,75 entre los ejes menor y mayor del contorno elíptico que forma el ojo del grillo. El punto representado con la relación de proporción de G/F = 0,66 y que dicho con otras palabras sería el equivalente a decir que la base de la antena (escapo) es 2/3 la distancia del eje menor de la elíptica del ojo, esta medida basada en tercios es muy representativa de la naturaleza en su conformación formal.

Figura 68. Proporciones del perfil de la cabeza del grillo.



Fuente: Autor.

El análisis hecho del perfil de la cabeza en la Figura 67. se basa de media circunferencia de radio=R, inscrita en el contorno de esta sin tomar en cuenta un pequeño extremo de la paraglosa. Sobre la circunferencia se toman puntos (blancos) importantes como son las suturas frontal y frontoclipeal, que dividen los 180 grados en tres ángulos (Φ , Ω , Σ) diferentes con sus respectivas cuerdas (N, M, L).

Relación de proporción existente entre las cuerdas de los respectivos arcos formados:

$$\begin{aligned} M/L &= 0,76 \\ L/R &= 0,60 \\ R/N &= 0,58 \end{aligned}$$

Relación de proporción existente entre los ángulos formados en la semicircunferencia:

$$\begin{aligned} \Omega/\Sigma &= 0,76 \\ (\Omega+\Sigma)/\Phi &= 0,5 \end{aligned}$$

Tabla 4. Proporciones de la cabeza de un grillo vista de perfil basado de la Figura 67.



Fuente: Autor

La disposición de las suturas frontal y frontoclipeal dividen los 180 grados en tres ángulos de (120, 26 y 34) grados, se relacionan su proporción en dos formas, cómo sección de arco y cómo la recta construida entre arcos, es decir, sus respectivas cuerdas de arco. Estas dos formas expresan proporciones diferentes entre arco y cuerda, pero en los dos casos sus proporciones son perfectamente medidas armónicas conocidas. Las cuerdas (en amarillo tabla 4 y Fig 67.) y el radio de la circunferencia forman proporciones y triángulos armónicos de (0,75=3/4); (0,618 y 0,58=aprox. Áurea). Cabe destacar la formación de un triángulo equilátero de lado R=radio, formado en la parte baja de la semicircunferencia como insinuando geoméricamente las áreas de la boca contenidas en el.

La proporción de los ángulos relacionados de menor a mayor es 0,5 y la suma de estos y relacionados con el más grande nos da 0,75 de proporción. Estas relaciones ratifican la constancia en las medidas armónicas ya nombradas y que funcionan como un patrón de crecimiento en la morfología del grillo.

3.1.3 Geometrización del grillo.

3.1.3.1 Estructuración de formas en 2 dimensiones.

Figura 69. Geometrización general vista de arriba.



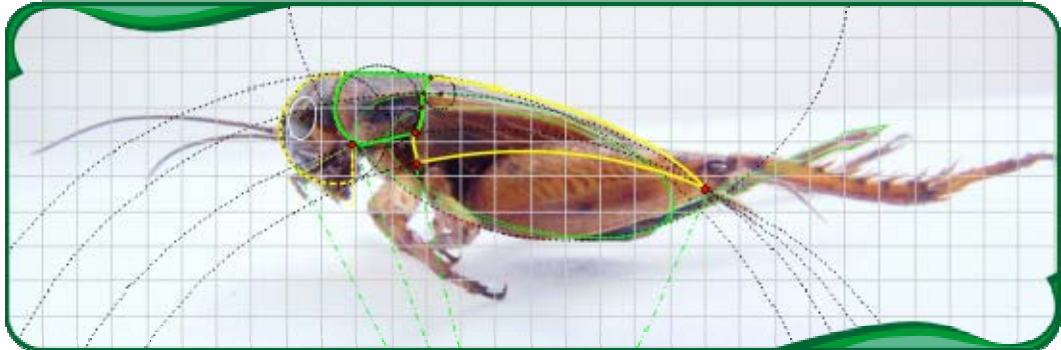
Fuente: Autor.

Figura 70. Geometrización general vista de abajo.



Fuente: Autor.

Figura 71. Geometrización lateral a nivel de los tagmas.

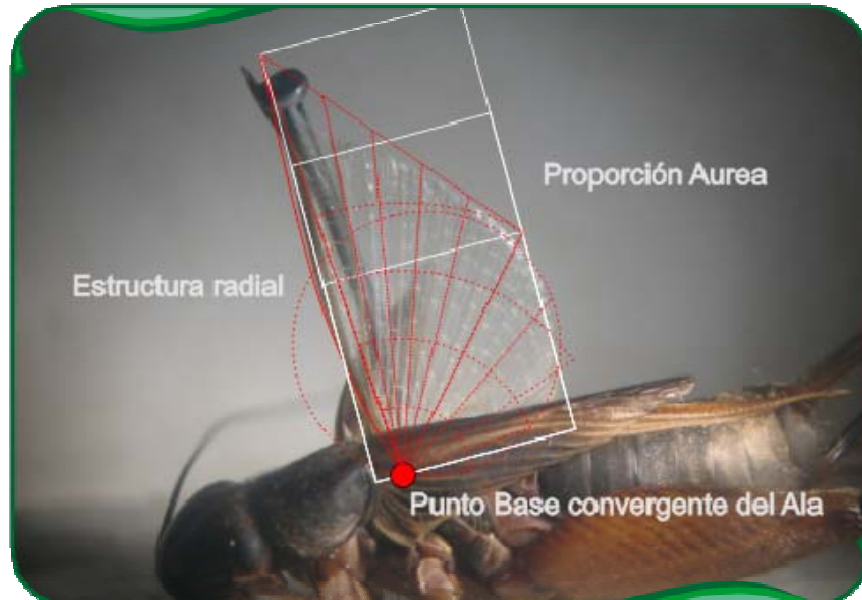


Fuente: Autor.

Las formas que componen la estructura del cuerpo del grillo desde el punto de vista lateral, nacen de la composición de círculos y elípticas proporcionalmente dispuestos, rotados y posicionados.

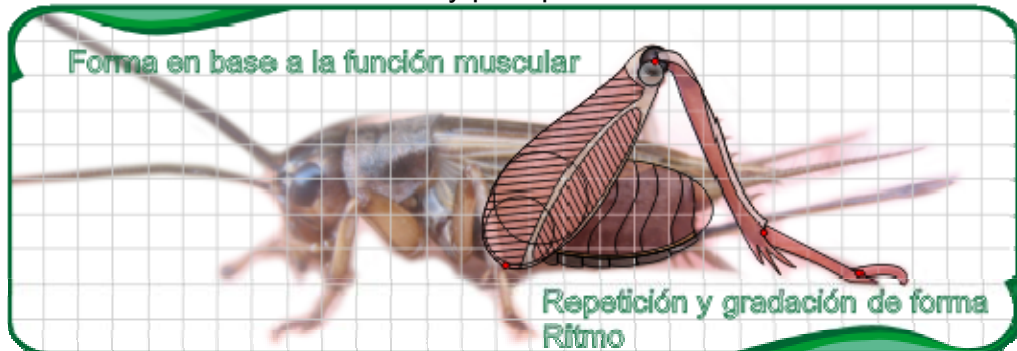
La geometría del ala del grillo varía según la especie y función, en este caso las alas no fueron suficientemente grandes y desarrolladas para el vuelo, característica de esta especie en estudio. La forma mostrada en la (Fig. 71) está enmarcada en un rectángulo áureo, generado del cambio de curvatura presente en el contorno del ala. Con un sistema de venas que se distribuyen radialmente y que convergen en su base, interconectadas transversalmente con unas venas más delgadas.

Figura 72. Geometría del ala.



Fuente: Autor.

Figura 73. Geometría del abdomen y pata posterior.

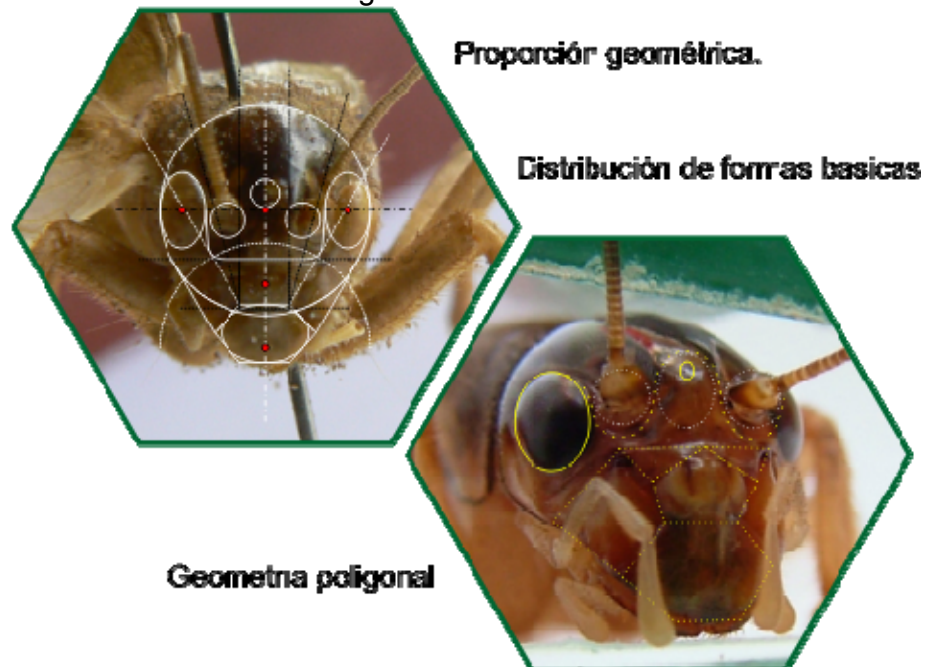


Fuente: Autor.

La figura 72 muestra las formas alargadas de las patas en especial la posterior junto con parte del abdomen, resaltando el fémur como segmento potencialmente característico de la pata y el grillo en sí. Formas elípticas que en marcan los volúmenes en una disposición cíclicas y en gradación las cuales resaltan la estructura del abdomen y que muestra ritmo en la parte superior y en la ventral.

Los rasgos geométricos que estructuran la parte frontal del tagma cefálico se en marcan en formas elípticas y poligonales como el hexágono y el pentágono (Fig. 73).

Figura 74. Geometrización del tagma cefálico vista frontal.



Fuente: Autor.

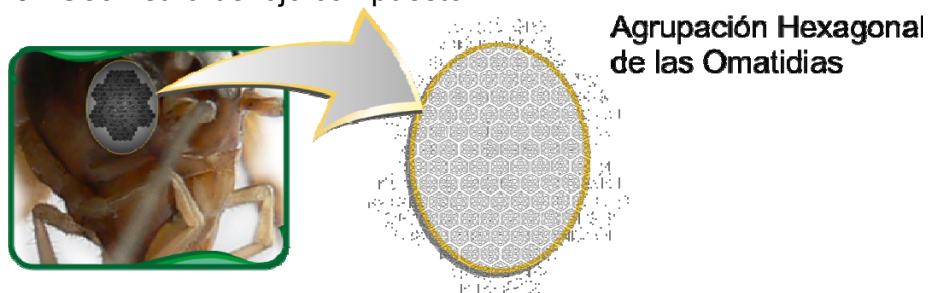
Figura 75. Geometría del tagma cefálico visto de abajo.



Fuente: Autor.

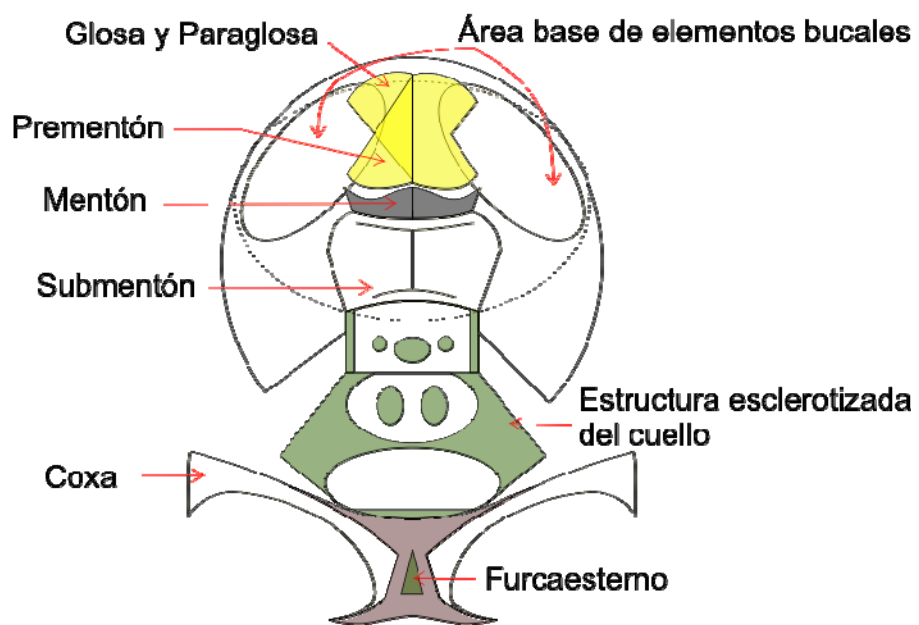
Dentro de las estructuras anatómicas del tagma cefálico se encuentran: los ojos compuestos, uno a cada lado de la cabeza y conformado por pequeñas unidades sensibles a la luz que están agrupadas entre sí de forma hexagonal (Fig. 75), cada ojo compuesto sobresale de la cabeza con una forma elipsoidal como la forma de un domo, permitiendo un gran rango de ángulos de visión en diferentes direcciones; El aparato bucal compuesto por diferentes palpos y pinzas como la mandíbula y la maxila, se conforman de módulos con forma alargada de cono truncado y algo redondeados e interconectados sobre un eje a lo largo de su forma en secuencias de gradación de tamaño y ritmo en su posición (Fig. 74).

Figura 76. Geometría del ojo compuesto.



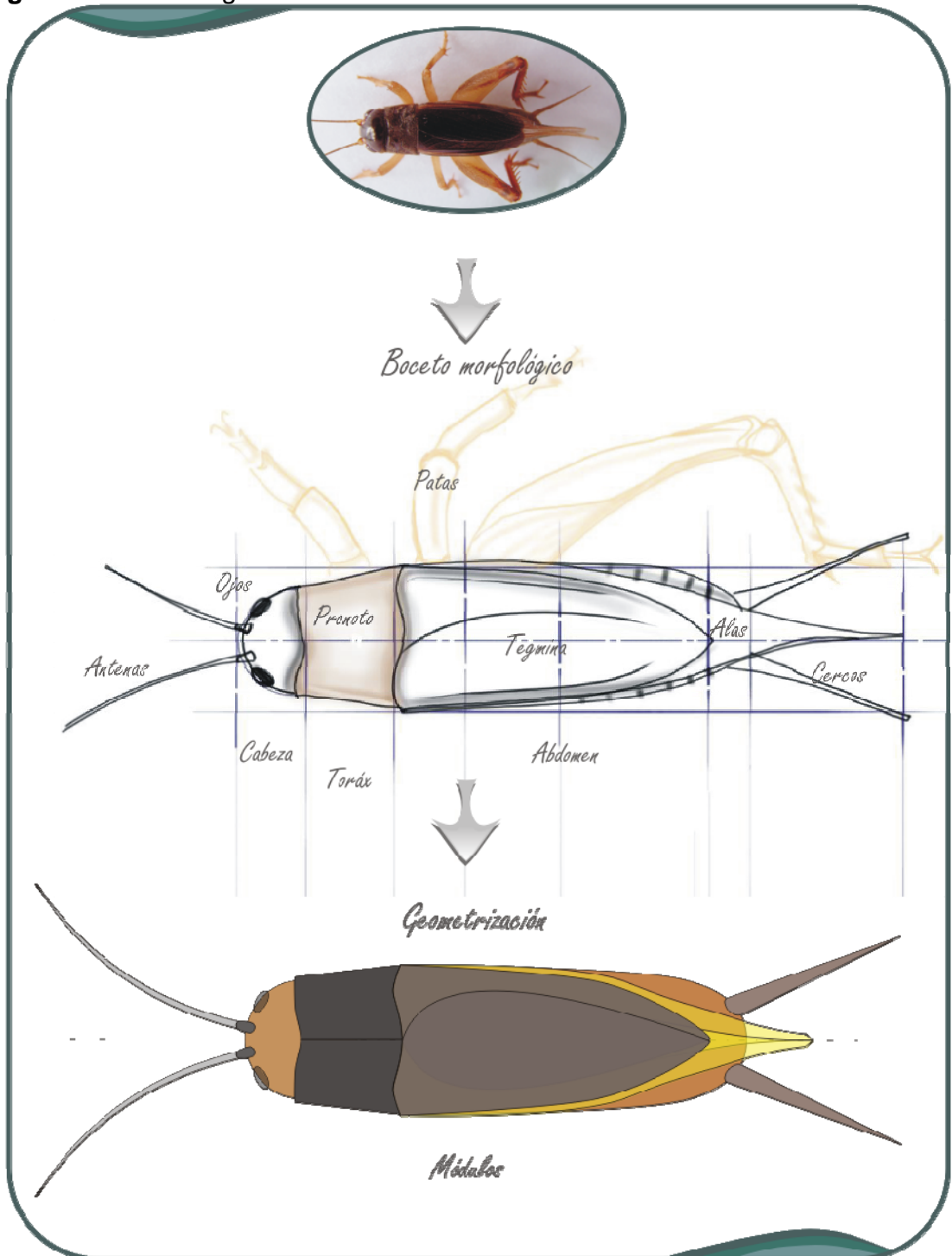
Fuente: Autor.

Figura 77. Geometría del esterno del cuello y la cabeza del grillo.



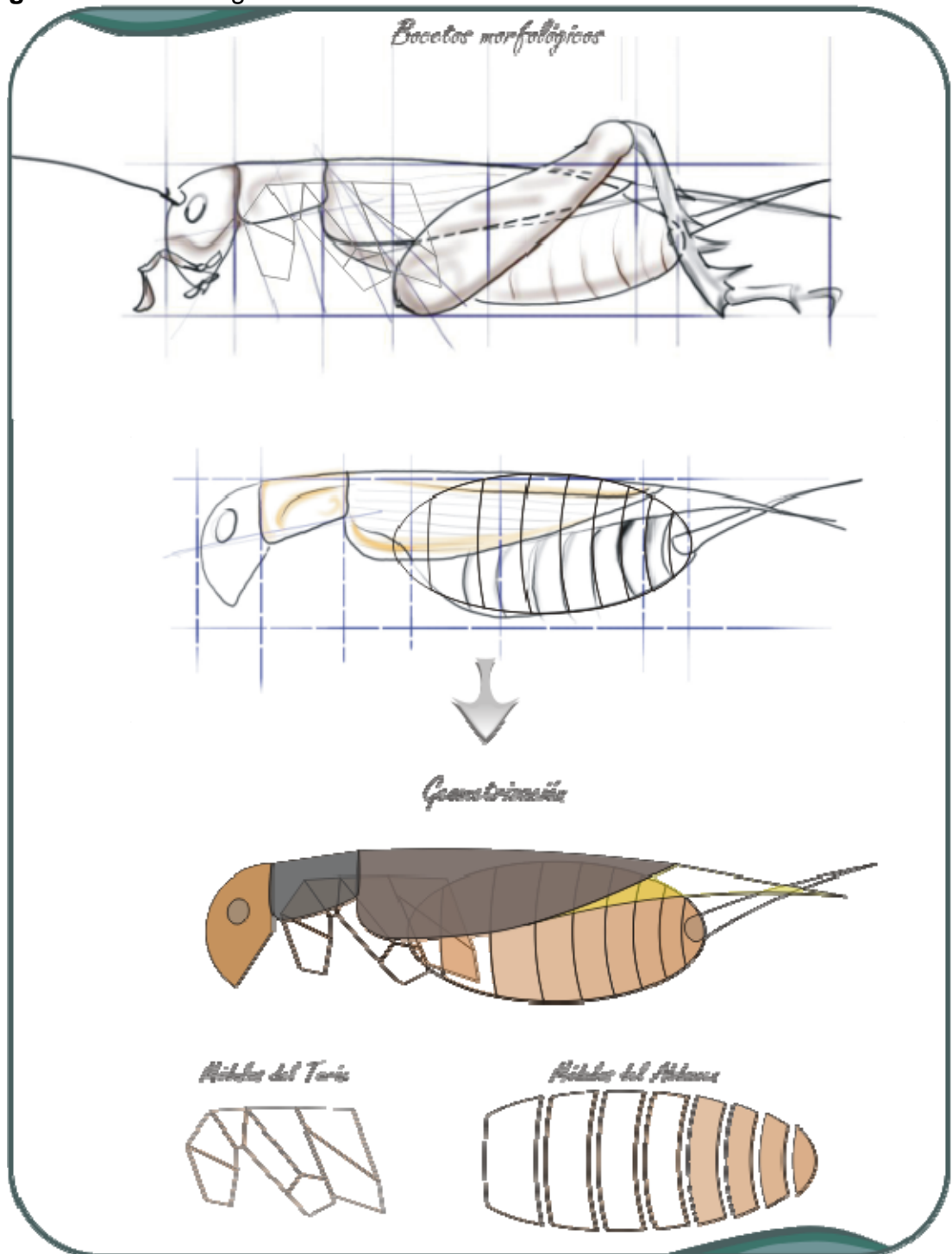
Fuente: Autor.

Figura 78. Bocetos geométricos vista de arriba.



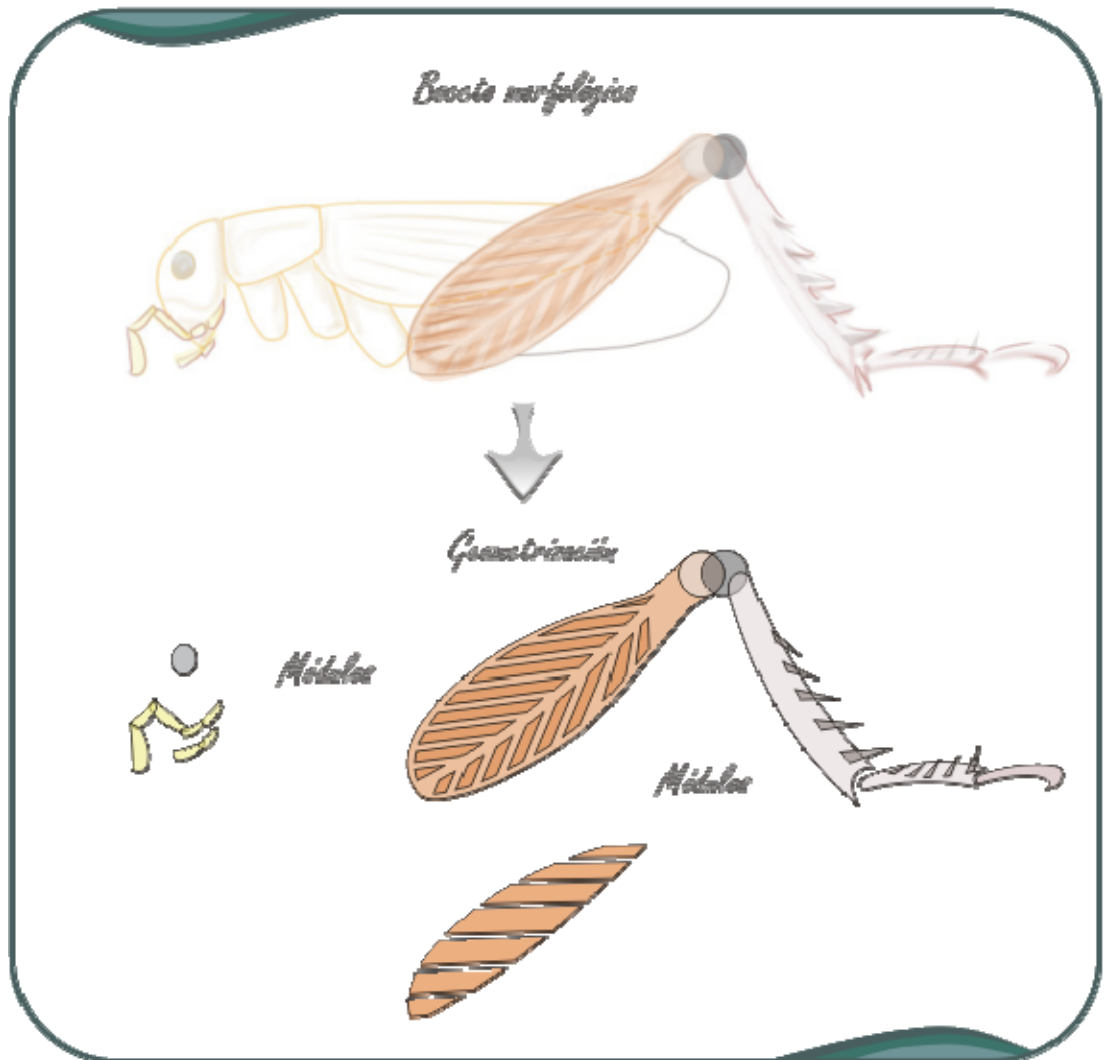
Fuente: Autor.

Figura 79. Bocetos geométricos vista lateral.



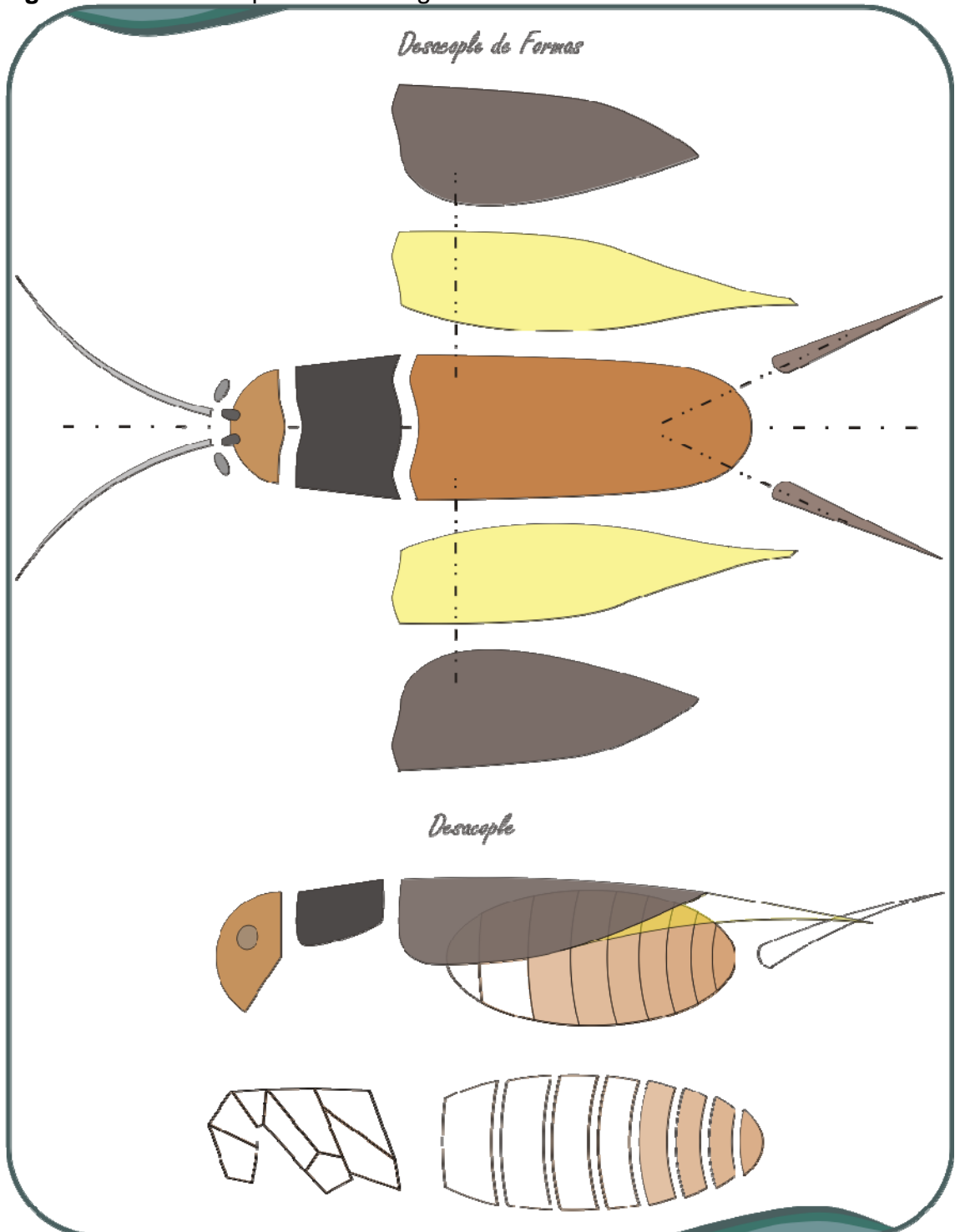
Fuente: Autor.

Figura 80. Boceto geométrico pata posterior y palpos.



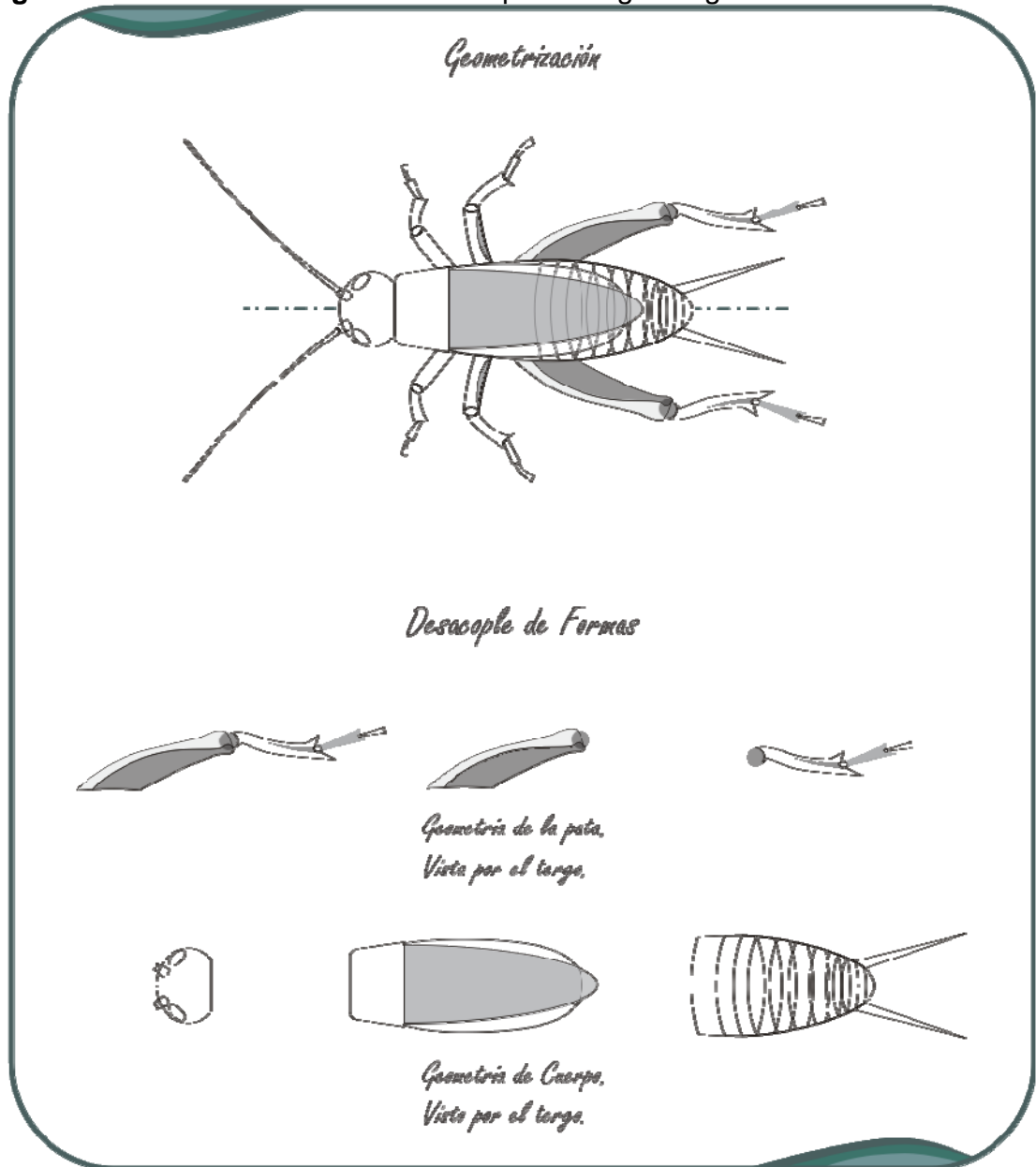
Fuente: Autor.

Figura 81. A Desacople de formas geométricas.



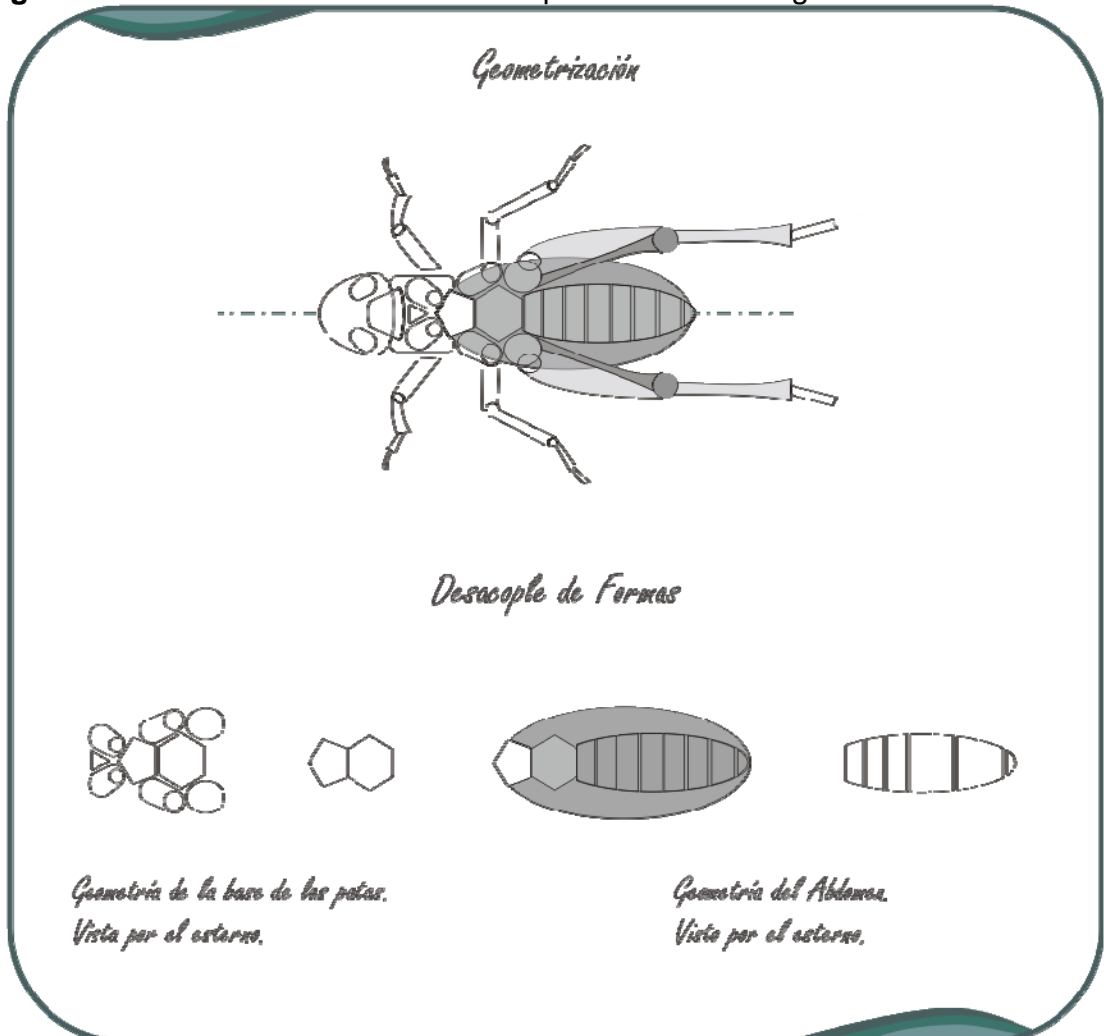
Fuente: Autor.

Figura 83. Formas Geométricas vistas por el tergo del grillo.



Fuente: Autor.

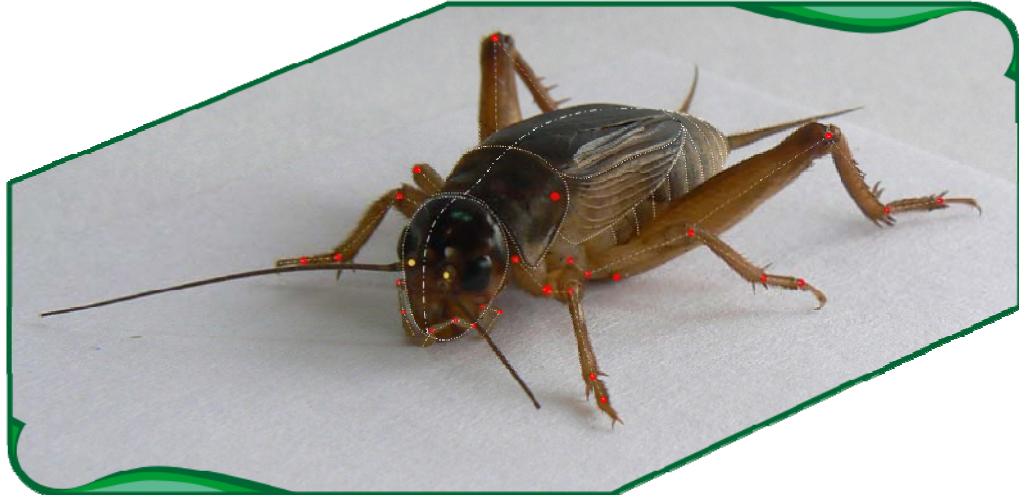
Figura 84. Formas Geométricas vistas por el esterno del grillo.



Fuente: Autor.

3.1.3.2 Estructuración de formas en 3 dimensiones.

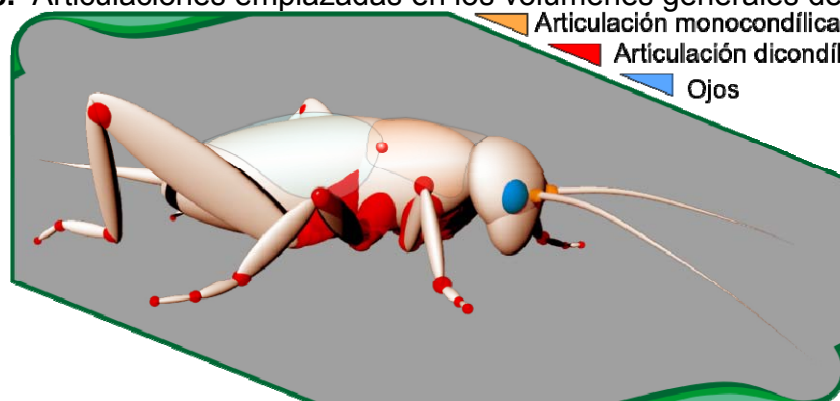
Figura 85. Fotografía del grillo con sus principales formas y puntos articulados.



Fuente: Autor.

Básicamente el grillo se compone de tres estructuras en el cuerpo que son: tagma cefálico, tagma torácico y tagma abdominal, las cuales son estructuras conformadas por los escleritos endurecido y unidos entre si con una característica semirígida al movimiento entre ellos. Anexo al cuerpo se estructuran las patas ubicadas en el tórax en tres grupos de pares que son articuladas por un sistema dicondílico, es decir, un eje de rotación creado por dos puntos de apoyo donde se encuentran y unen los segmentos que articulan, la combinación de varias de estas articulaciones generan mayor grado de libertad.

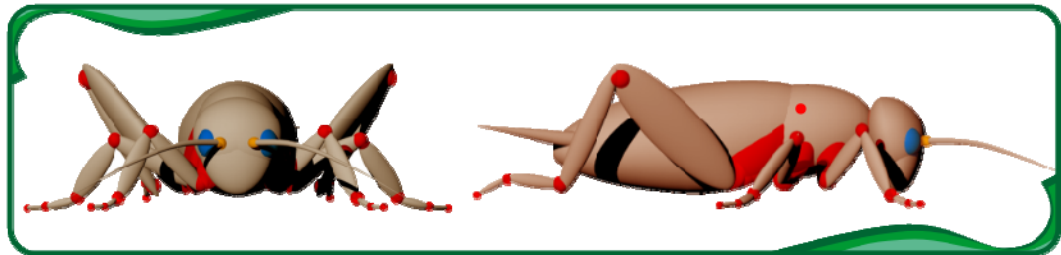
Figura 86. Articulaciones emplazadas en los volúmenes generales del grillo.



Fuente: Autor.

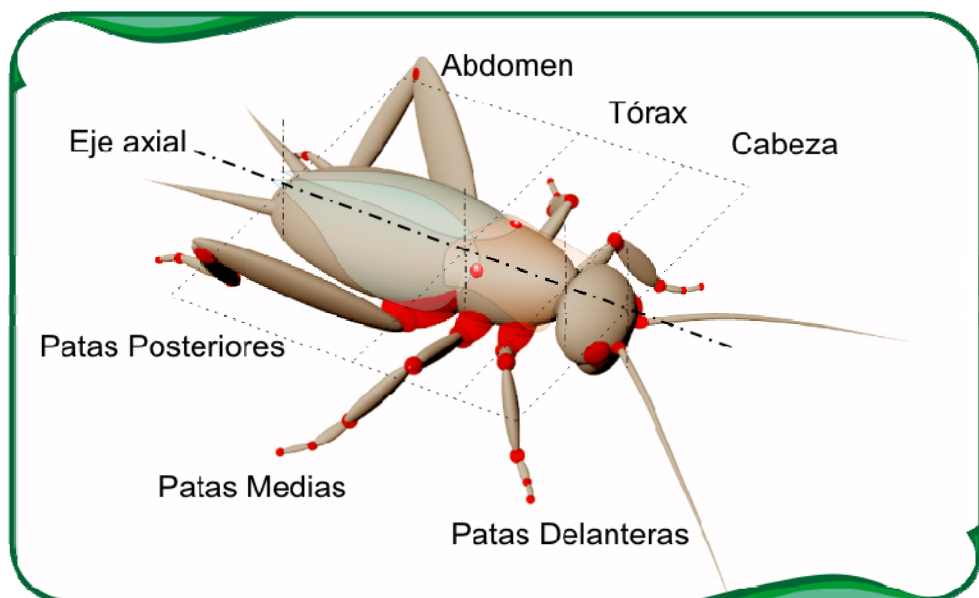
Los volúmenes formados a nivel general del grillo son construidos de formas geométricas básicas como esferas, semiesferas y elipsoides con el fin de simplificar y visualizar más fácil su forma estructural, proporcional, esquemática y espacial del conjunto. (Fig. 79; Fig.80)

Figura 87. Estructuración esquemática del grillo en vista frontal y lateral.



Fuente: Autor.

Figura 88. Estructuración esquemática del grillo en perspectiva.



Fuente: Autor.

A continuación se presenta una serie de imágenes desarrolladas a partir del grillo *Anurogryllus muticus* con una buena precisión en su proporción y geometría. Se reproducen las formas más representativas a nivel tridimensional en el campo virtual.

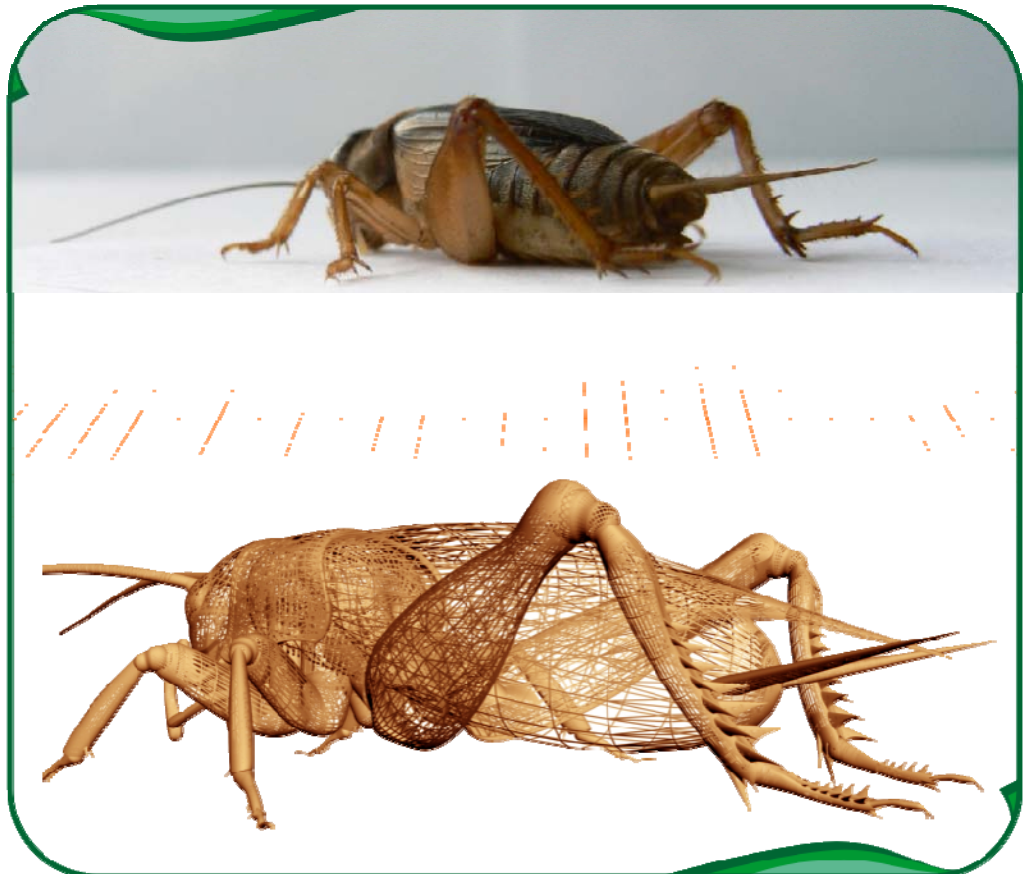


Figura 89. Geometrización 3D del grillo en perspectiva desde atrás.
Fuente: Autor.



Figura 90. Geometrización 3D del grillo en vista lateral.
Fuente: Autor.

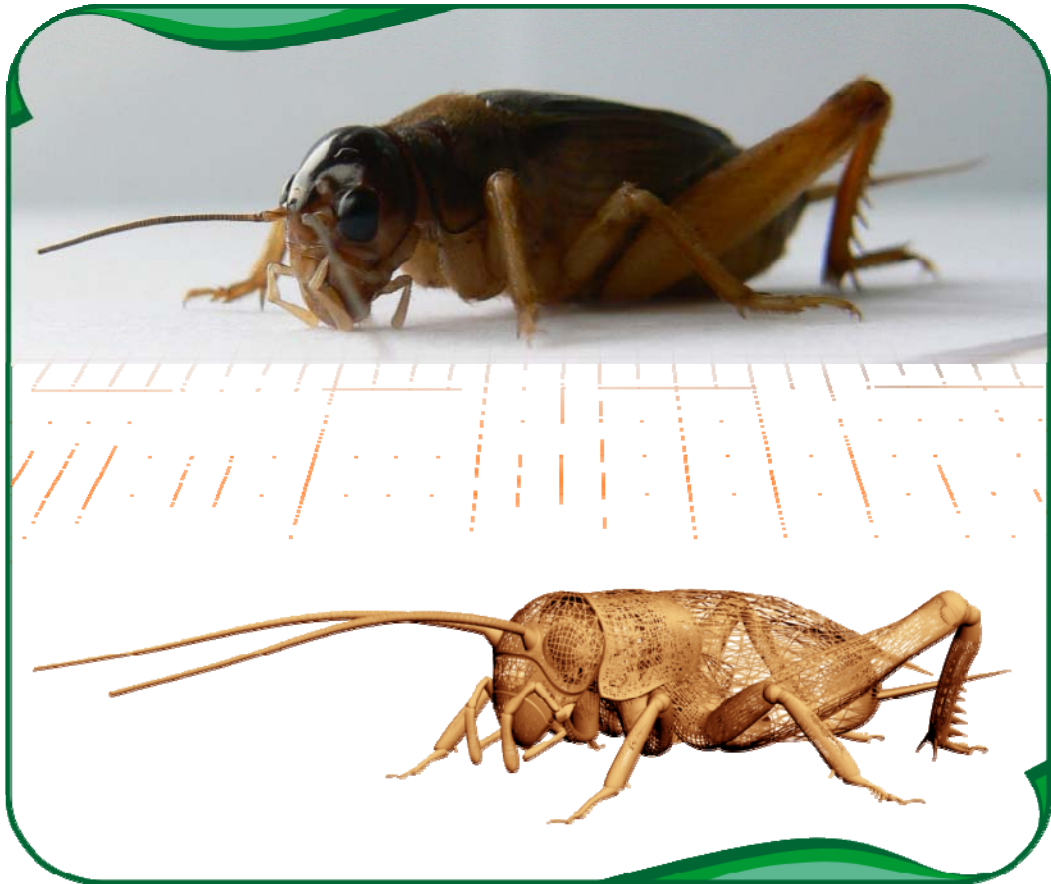


Figura 91. Geometrización 3D del grillo en perspectiva desde adelante.
Fuente: Autor.



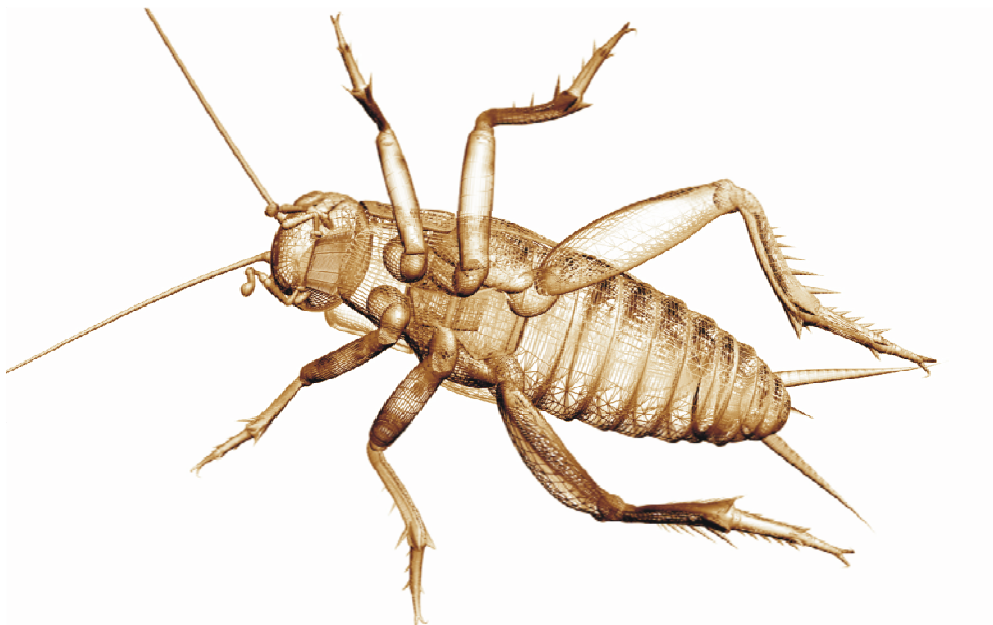
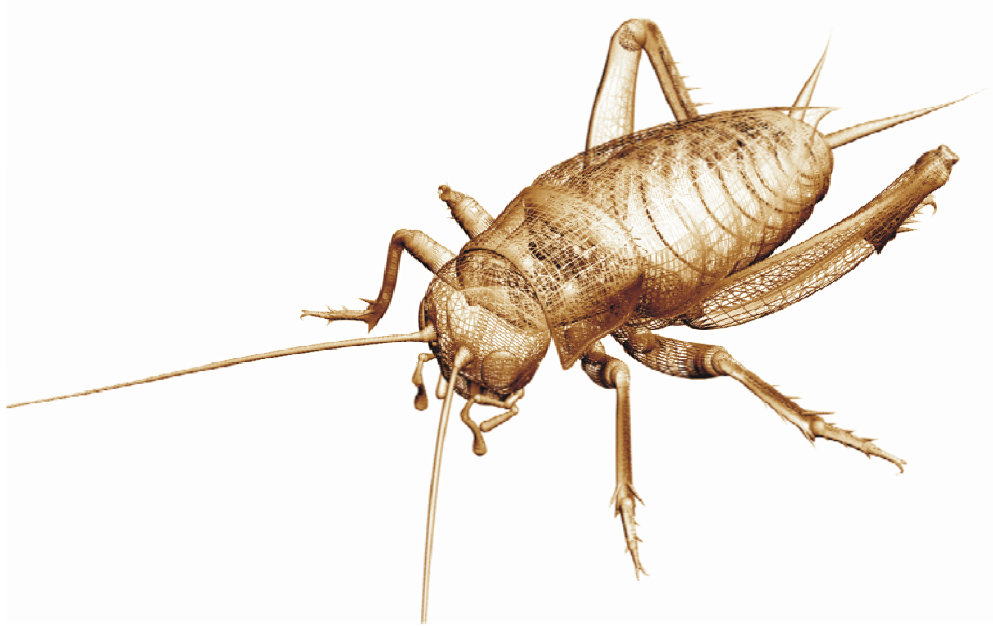
Figura 92. Geometrización 3D del grillo en vista frontal.
Fuente: Autor.

Figura 93. Geometrización 3D del grillo visto de arriba.

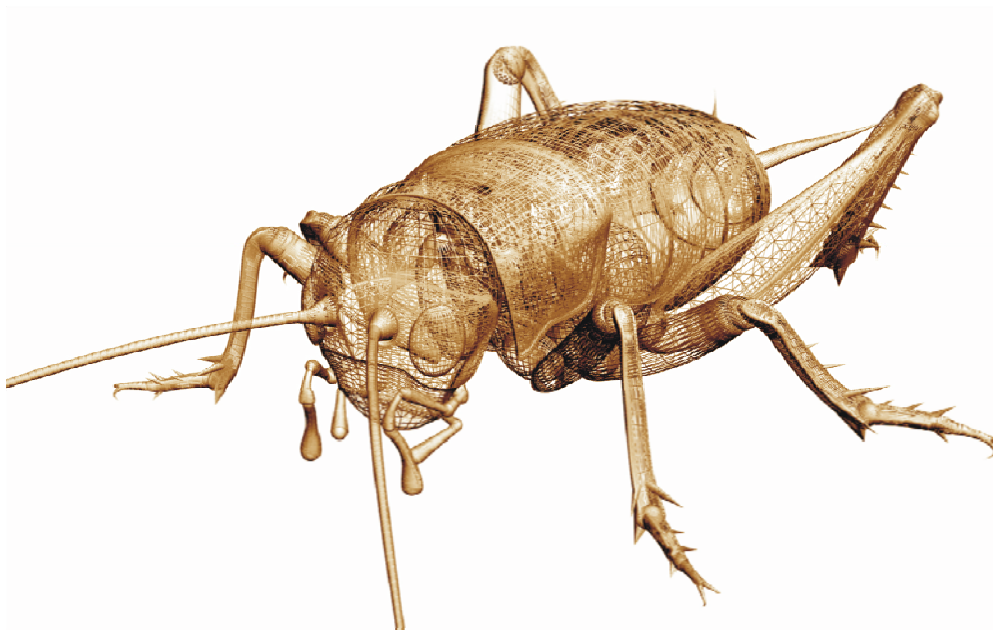


Fuente: Autor.

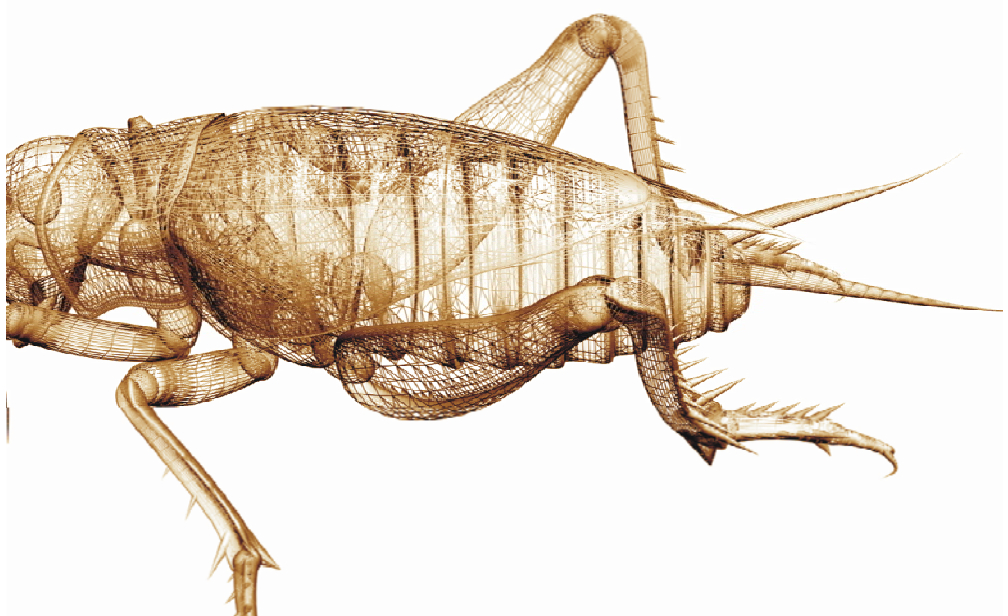
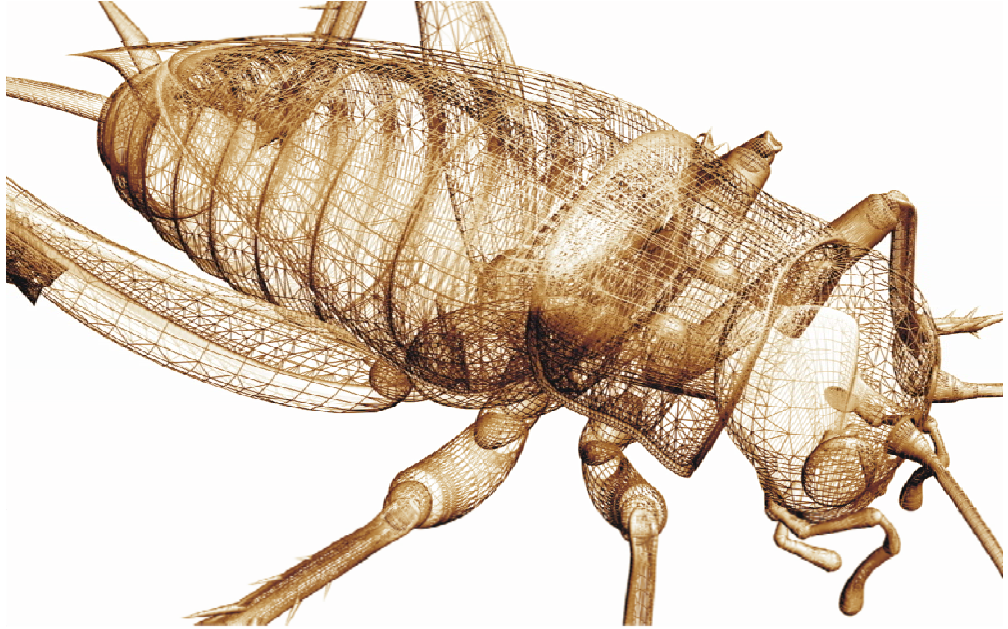
A continuación se presentan una serie de imágenes desarrolladas en base a la forma y la geometría del grillo macho, las cuales se realizaron por medio de software Rhinoceros y 3ds Max. El desarrollo de este modelo virtual se rige en sus proporciones y formas, a las del grillo real en estudio.



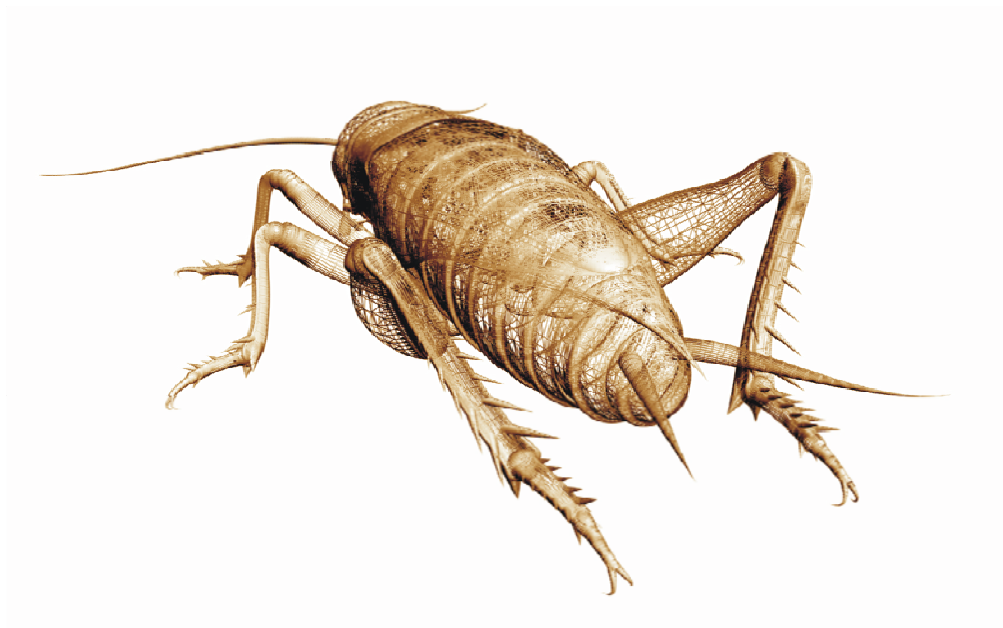
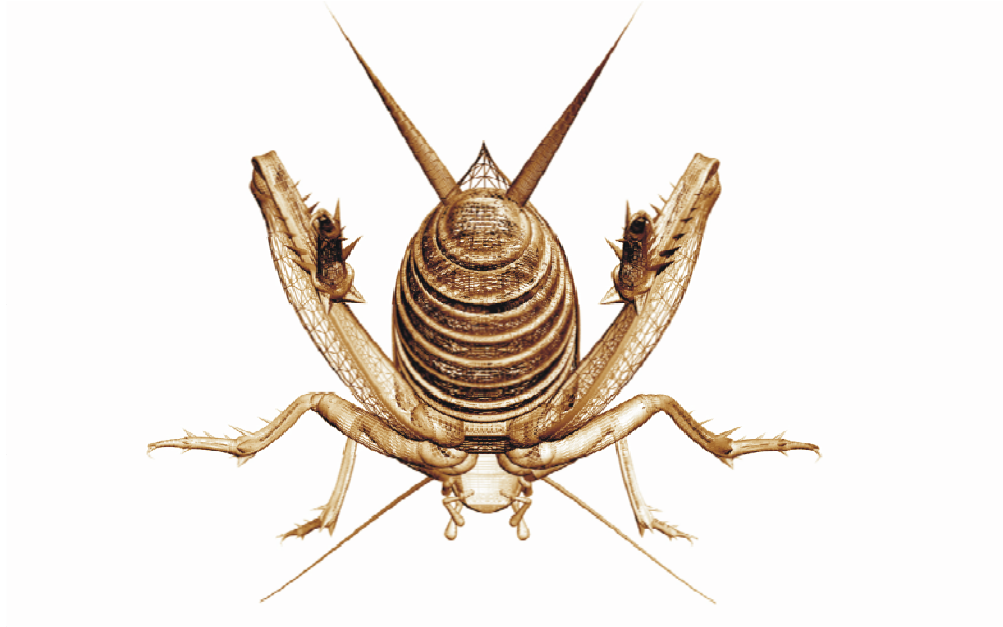
Fuente: Autor.



Fuente: Autor.



Fuente: Autor.



Fuente: Autor.

3.1.4 Texturas visual y táctil.

Figura 94. Texturas del abdomen y la tegmina .



Fuente: Autor.

Figura 95. Texturas de la abdomen y la tegmina del grillo.



Fuente: Autor.

Las venas de la tegmina en grillos adultos estructuran una retícula con algunos patrones romboédricos generado por el cruce de venas radiales y transversales. Con un color café rojizo brillante la tegmina contrasta con el mate claro del abdomen y algunas otras partes adyacentes.

Por otra parte el abdomen modulado por anillos sobre puestos uno tras otro, concéntricos y en gradación de tamaño forman una estructura ovoide.

El polo del cuerpo del grillo es la cabeza, que por sus características de color y textura resalta por ser la parte del cuerpo más brillante y lisa, donde se alojan complejos elementos bucales, sensores, ojos, las antenas y algunas vellosidades que ayudan a la orientación del grillo. El pronoto protege el cuello y parte del tórax dorsal, confiere una elegante armadura que delinea la cabeza y la tegmina diferenciado de ellas por el mate de su color, con pequeña textura producida por las vellosidades en él. Lateralmente el pronoto configura en su contorno unos patrones de color más claros, creando una sensación visual de integración con las partes continuas hacia las coxas y los trocantes las cuales son de un color más claro.

Figura 96. Textura de la cabeza y parte del pronoto de un grillo.



Fuente: Autor.

Figura 97. Texturas del Tórax y parte del abdomen visto por debajo del grillo.



Fuente: Autor.

En las Figuras 90 y 91 se observa el vientre del grillo con tonos más claros que en el dorso del mismo, el color varía de forma suave y degradada. También se generan texturas más complejas formadas por las bases de las articulaciones que dan el movimiento en las patas, con formas geométricas poligonales que estructuran con precisión el sistema dinámico del grillo.

Figura 98. Texturas del Tórax y parte del abdomen del grillo.



Fuente: Autor.

Figura 99. Textura lateral de la tegmina y el fémur posterior del grillo.



Fuente: Autor.

Figura 100. Textura del fémur y la tibia posterior del grillo.



Fuente: Autor.

Figura 101. Texturas de la pata posterior del grillo.



Fuente: Autor.

La textura de las patas del grillo está determinada por las vellosidades y los pequeños surcos acanalados que varían según su ubicación en la pata.

Algunos elementos sobresalientes en formas de lanzas o espinas que crecen y se alinean para generar sensaciones agresivas ante su observación. Las texturas en las patas difieren en tamaño a igual que su forma en una relación directamente proporcional al grado de importancia de la función de cada pata, es decir, las formas y texturas son más resaltantes en las patas posteriores por que la función de este miembro de movimiento es representativa en el mecanismo del salto y necesarias para cumplir con parámetros de su eficaz uso.

Figura 102. Textura del ala de un grillo.



Fuente: Autor.

Las alas en el grillo son muy pequeñas en relación con el cuerpo para que él pueda volar, por lo tanto su función es mínima. La Geometría estructural del ala le confiere una textura ramificada de venas de color café claro con la característica de ser translúcidas.

A diferencia del ala la tegmina cumple con una función instrumental con la cual hace el ruido característico para el cortejo y al mismo tiempo su textura membranosa capta las vibraciones de sonidos en el ambiente.

Figura 103. Textura de la tegmina del ala de un grillo.



Fuente: Autor.

Figura 104. Textura y color de un grillo juvenil después de mudar.



Fuente: Autor.

El grillo cambia tanto en tamaño, forma, textura y color desde que es un pequeño huevo luego un juvenil hasta convertirse en un adulto. En la figura 97 se observa un grillo juvenil con unos cuantos minutos de haber mudado en su proceso de crecimiento. Sus colores son más claros pero poco a poco el se va tornando mas oscuro y menos translucido.

En la figura 98 se aprecia en el instante justo cuando un grillo adulto muda, su tono casi totalmente blanco refleja lo nuevo de su estado actual.

Figura 105. Textura y color de un grillo adulto mudando.



Fuente: Autor.

4 PROCESO CREATIVO

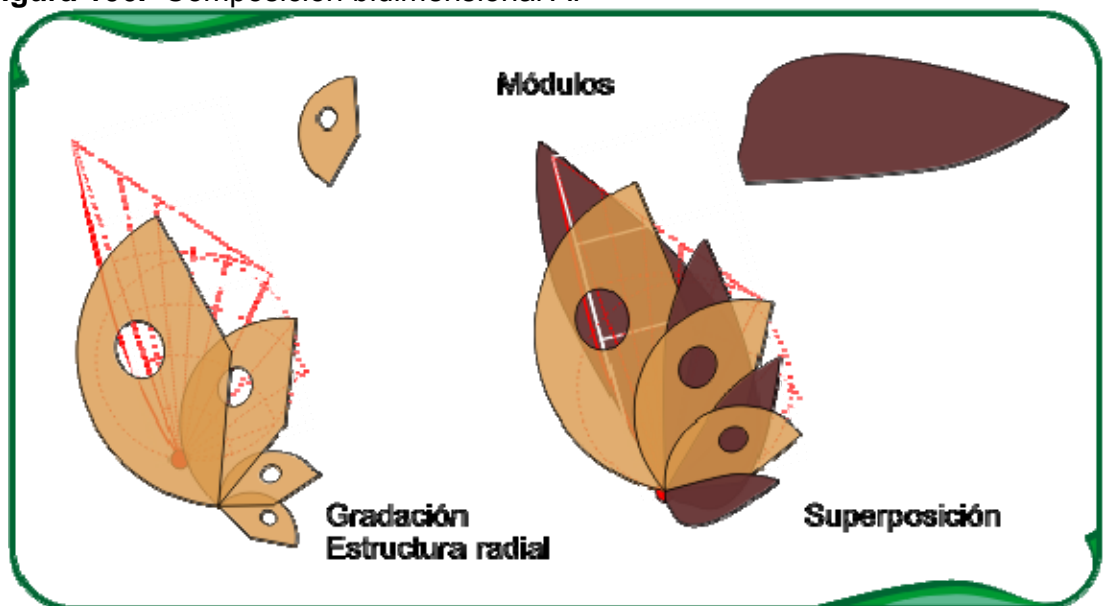
4.1 BIOCONFIGURACIÓN

Manejo de las formas extraídas del análisis, observación del grillo e integración geométrica de la correspondiente morfología natural, con el fin de reorganizar en un nuevo lenguaje grafico de conceptos aplicados al diseño en dos y tres dimensiones.

4.1.1 Bidimensionales.

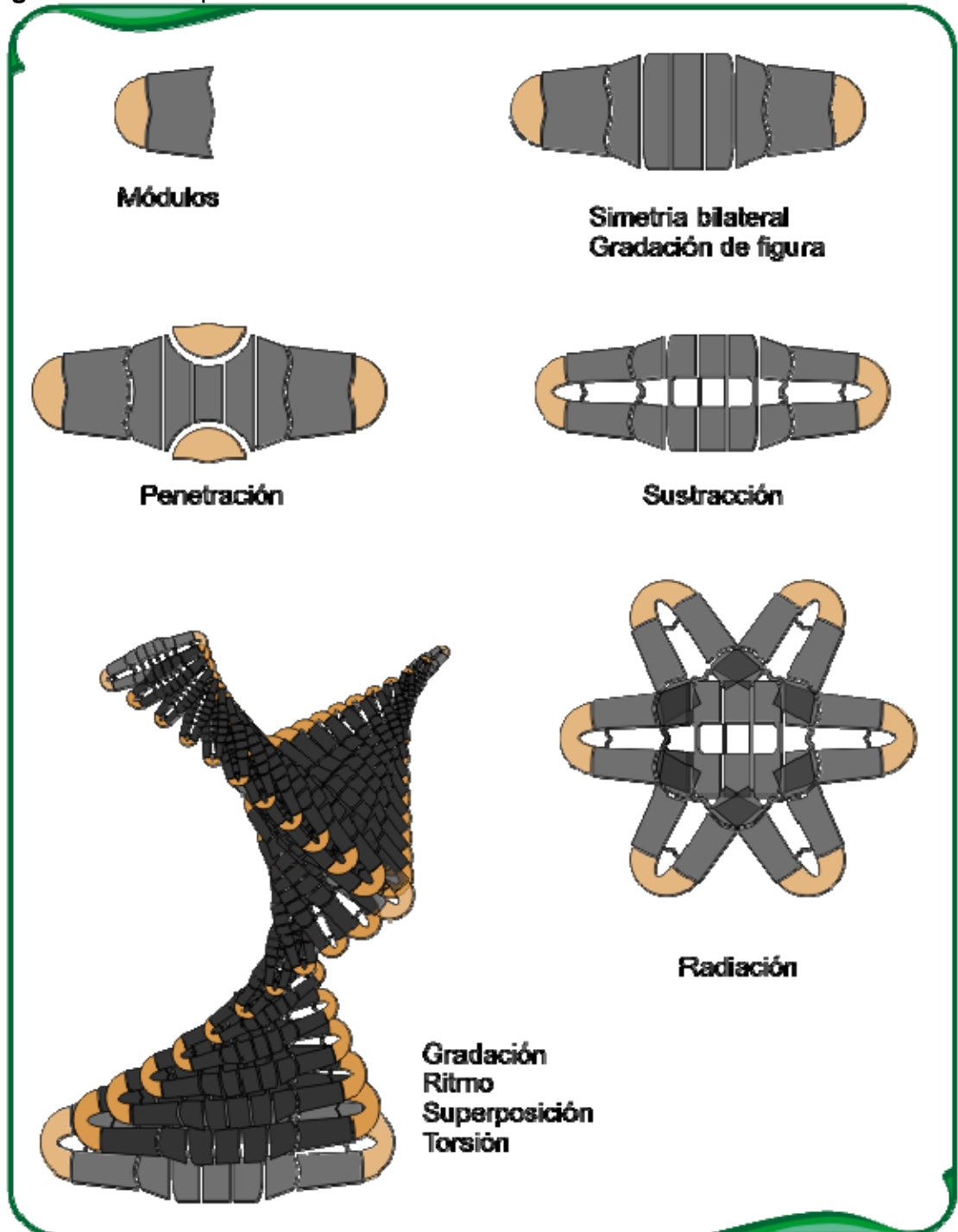
A continuación se desarrolla una serie de composiciones modulares a nivel grafico y bidimensional con algunos conceptos de diseño.

Figura 106. Composición bidimensional A.



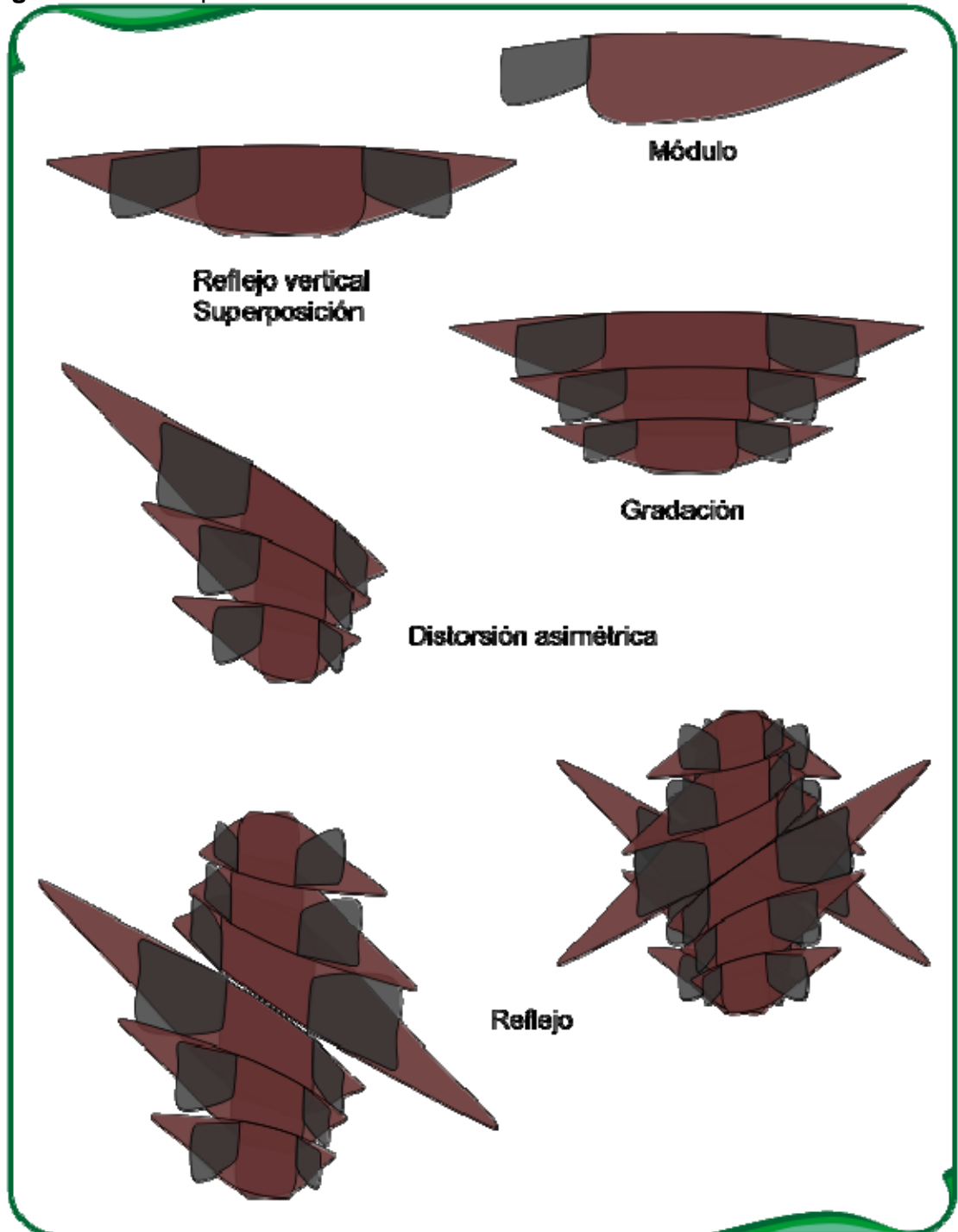
Fuente: Autor.

Figura 107. Composición bidimensional B.



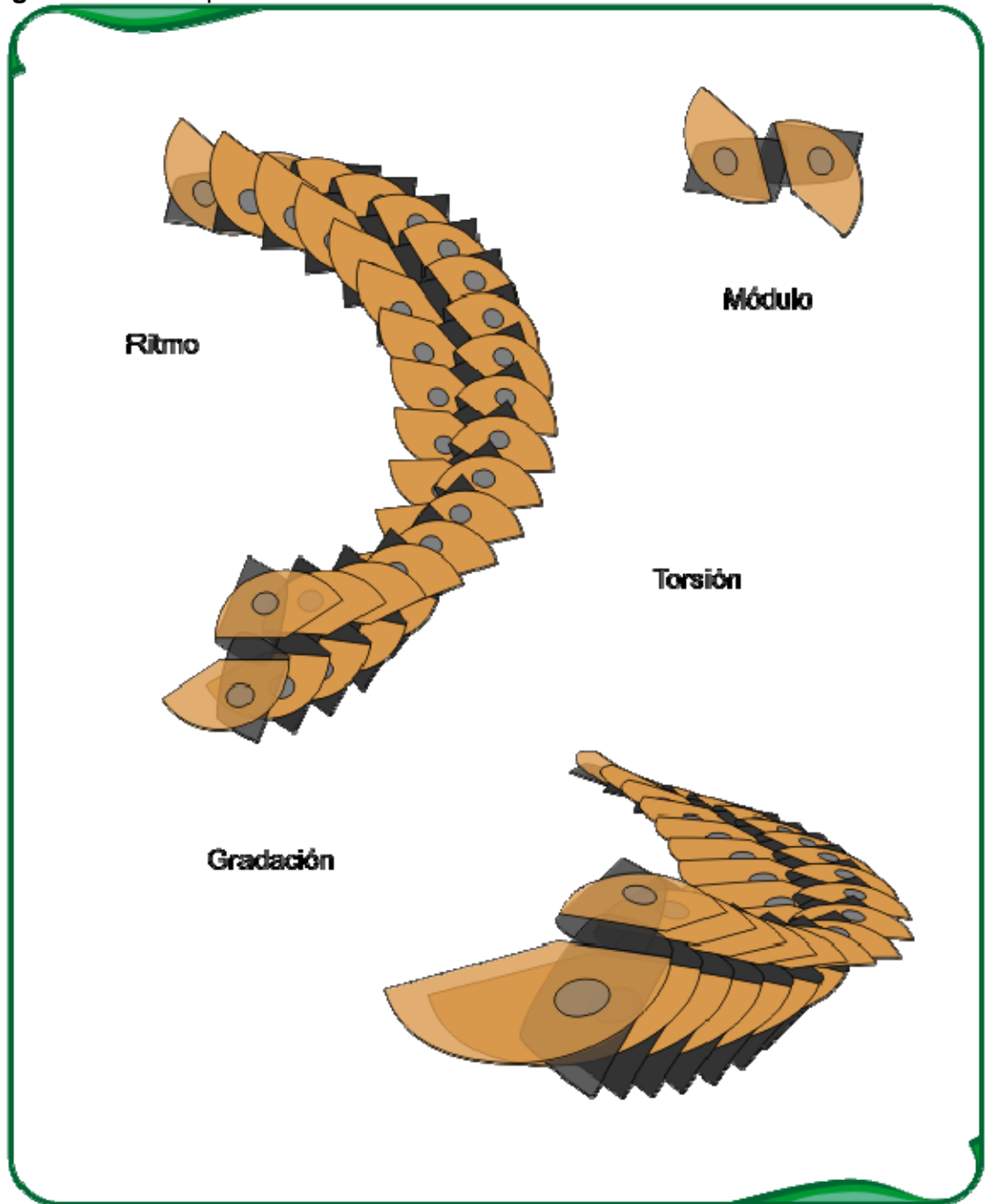
Fuente: Autor.

Figura 108. Composición bidimensional C.



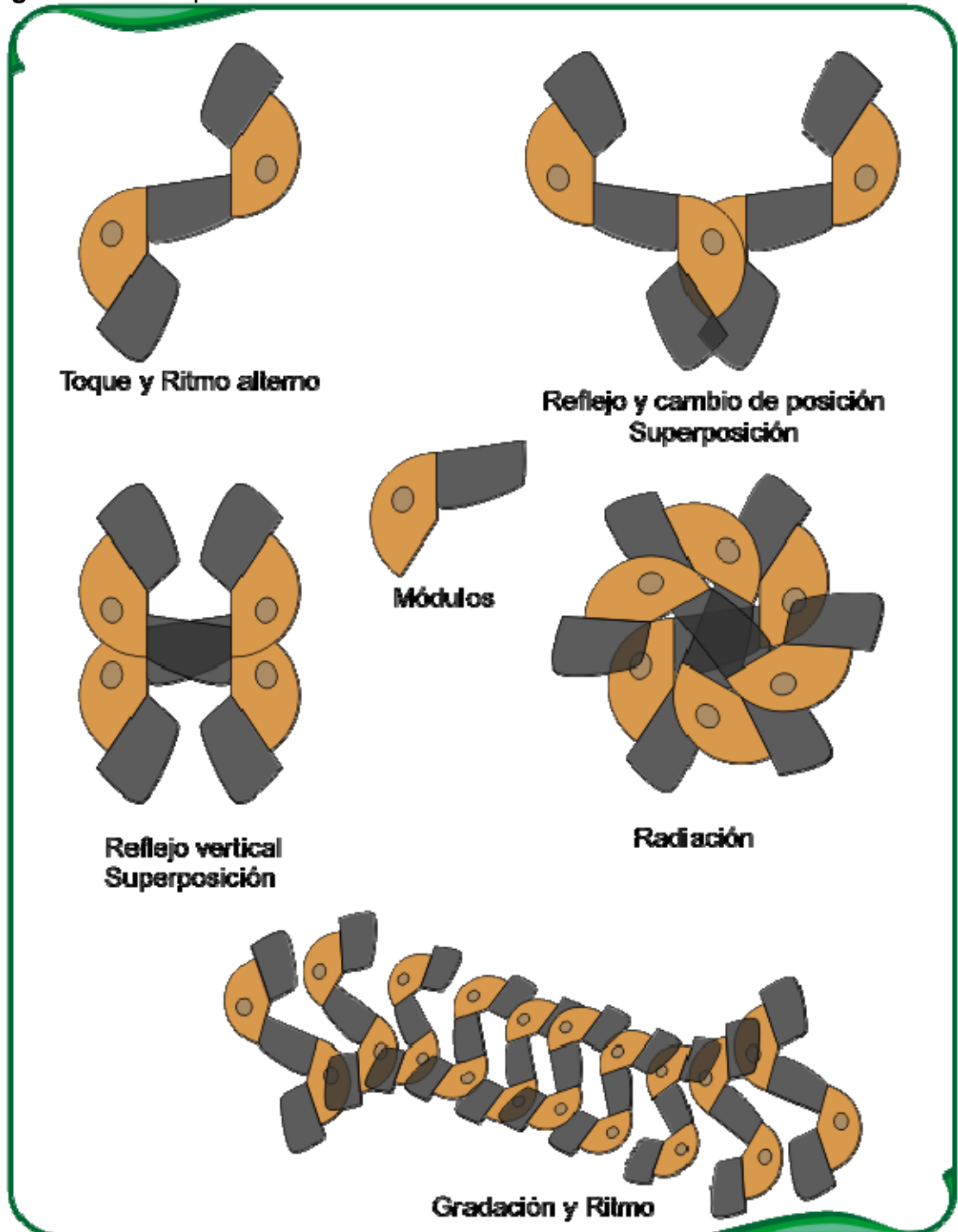
Fuente: Autor.

Figura 109. Composición bidimensional D.



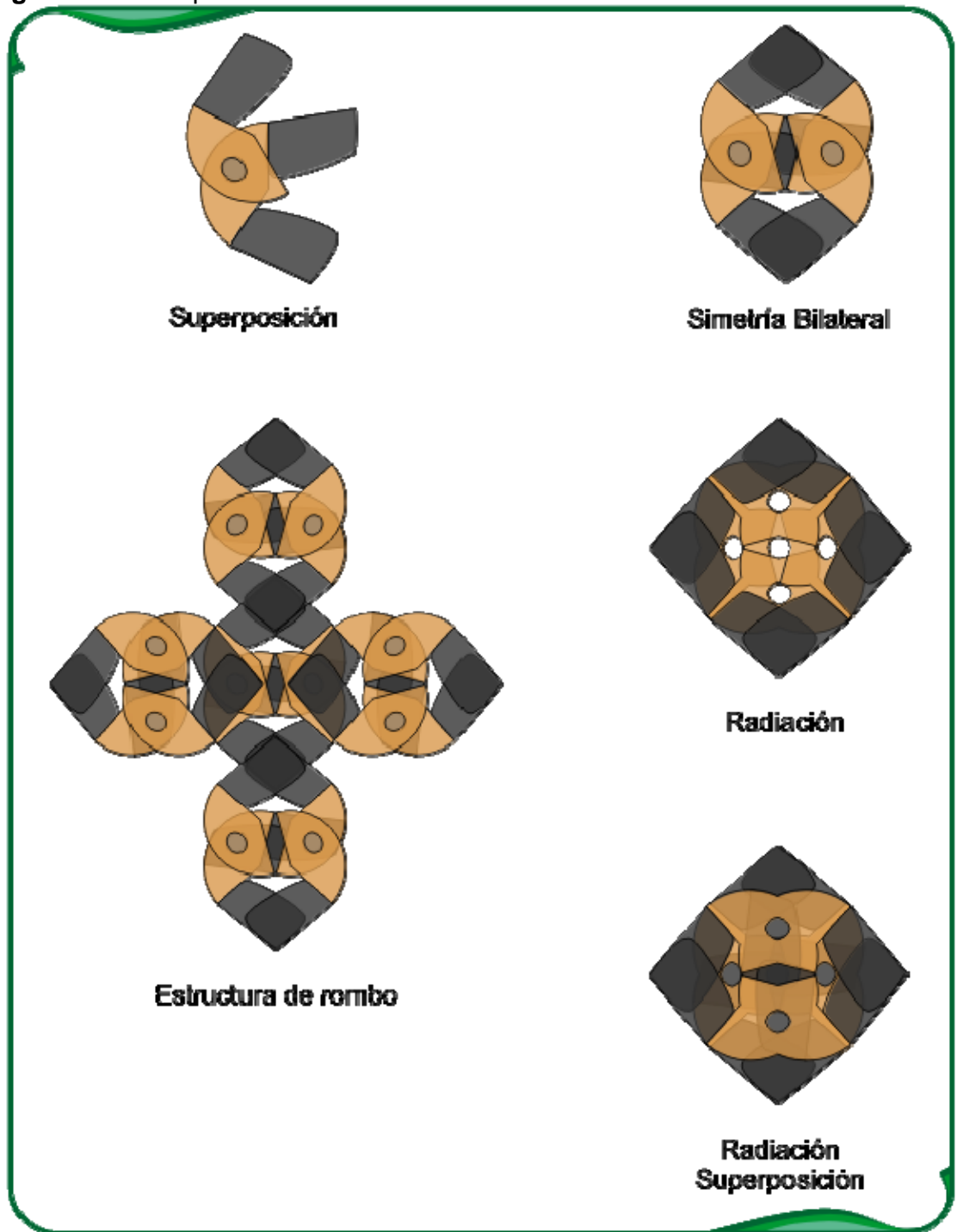
Fuente: Autor.

Figura 110. Composición bidimensional E1.



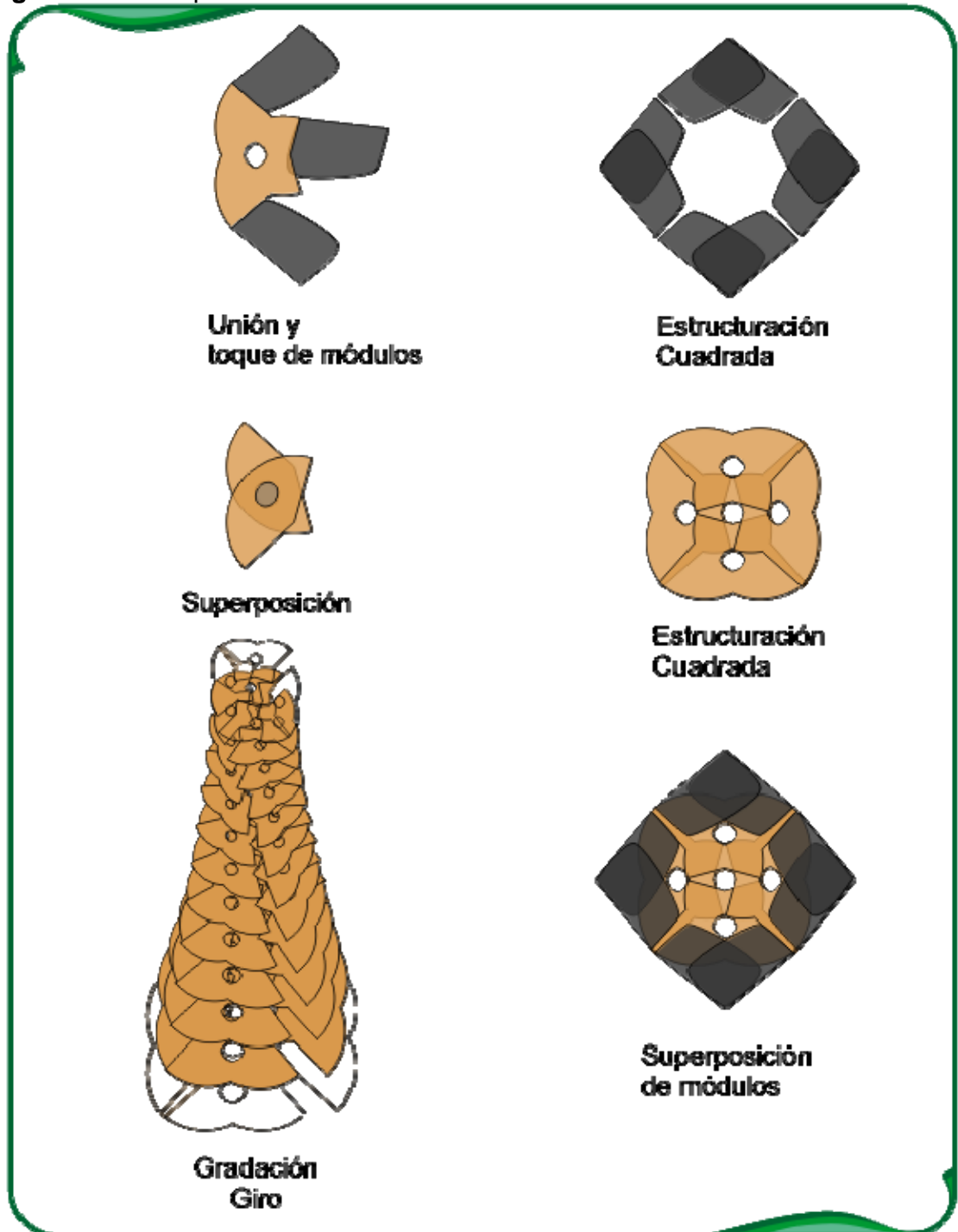
Fuente: Autor.

Figura 111. Composición bidimensional E2.



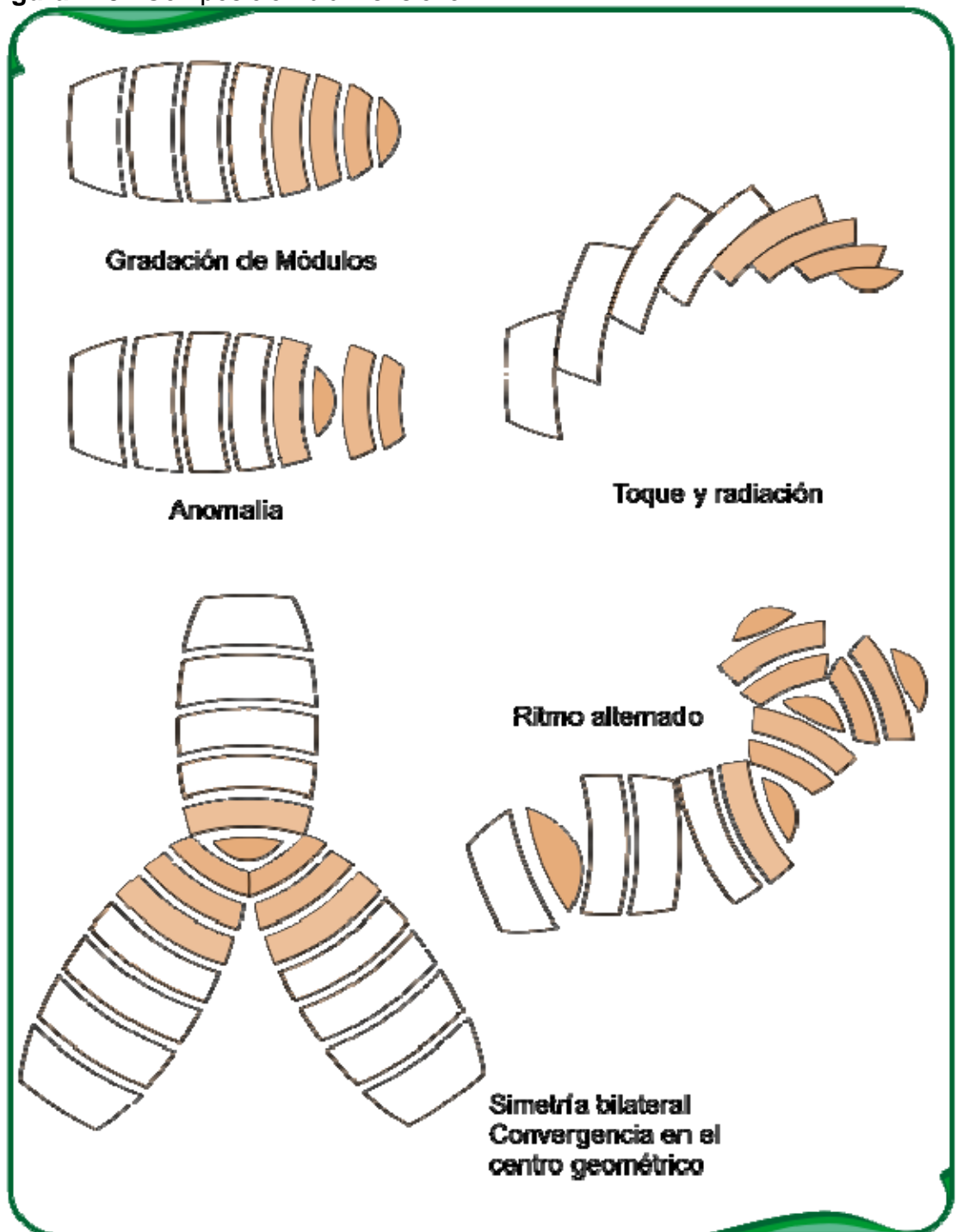
Fuente: Autor.

Figura 112. Composición bidimensional E3.



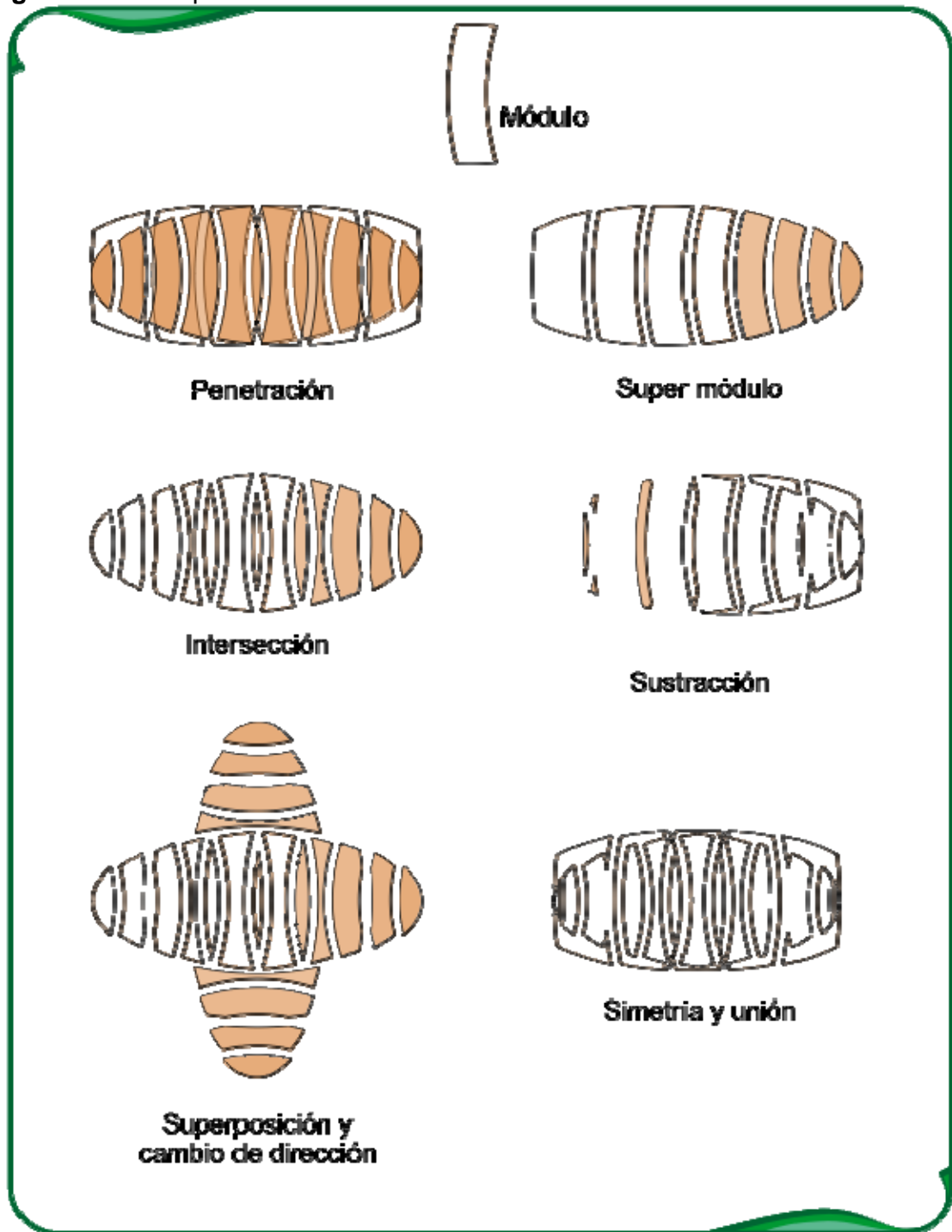
Fuente: Autor.

Figura 113. Composición bidimensional F1.



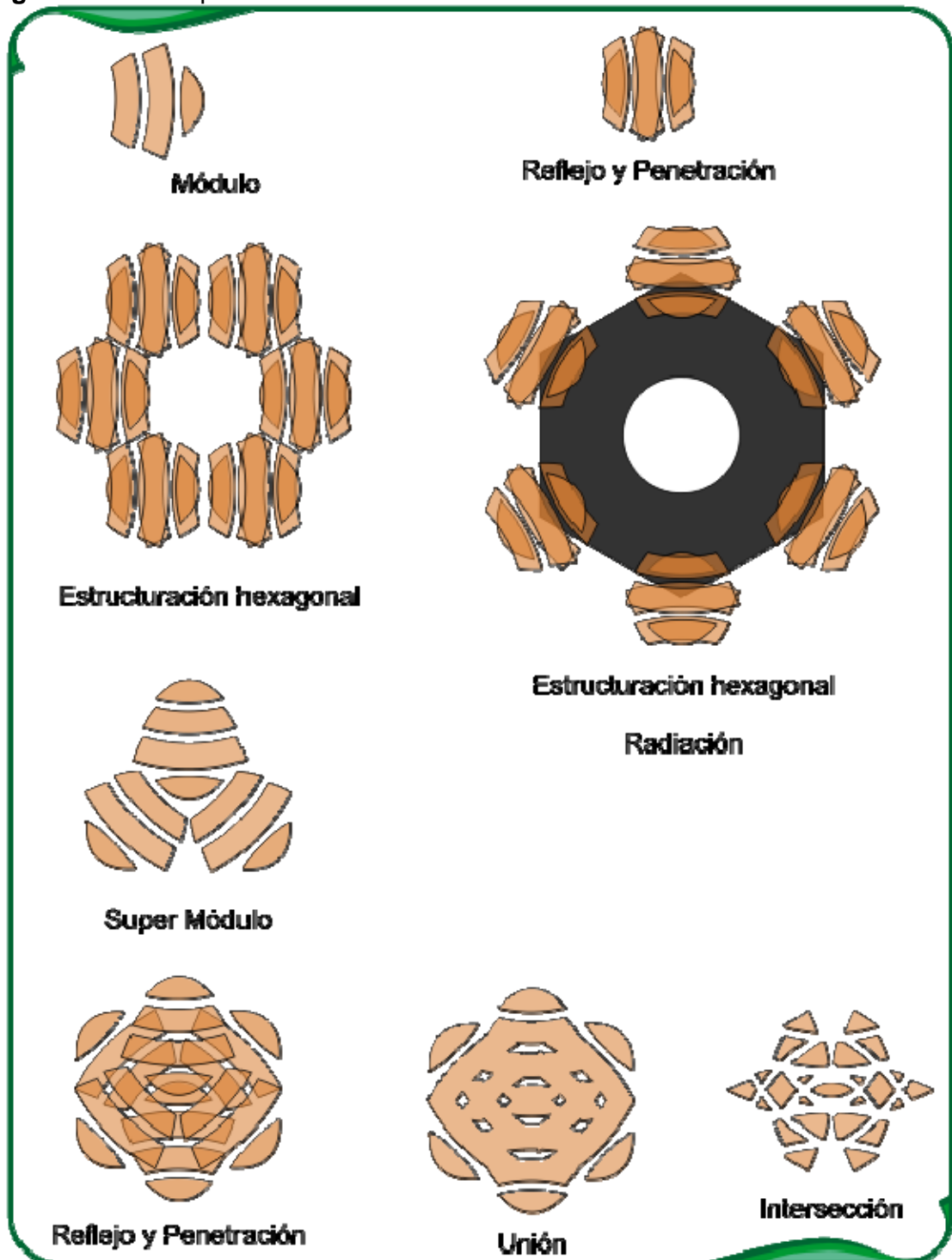
Fuente: Autor.

Figura 114. Composición bidimensional F2.



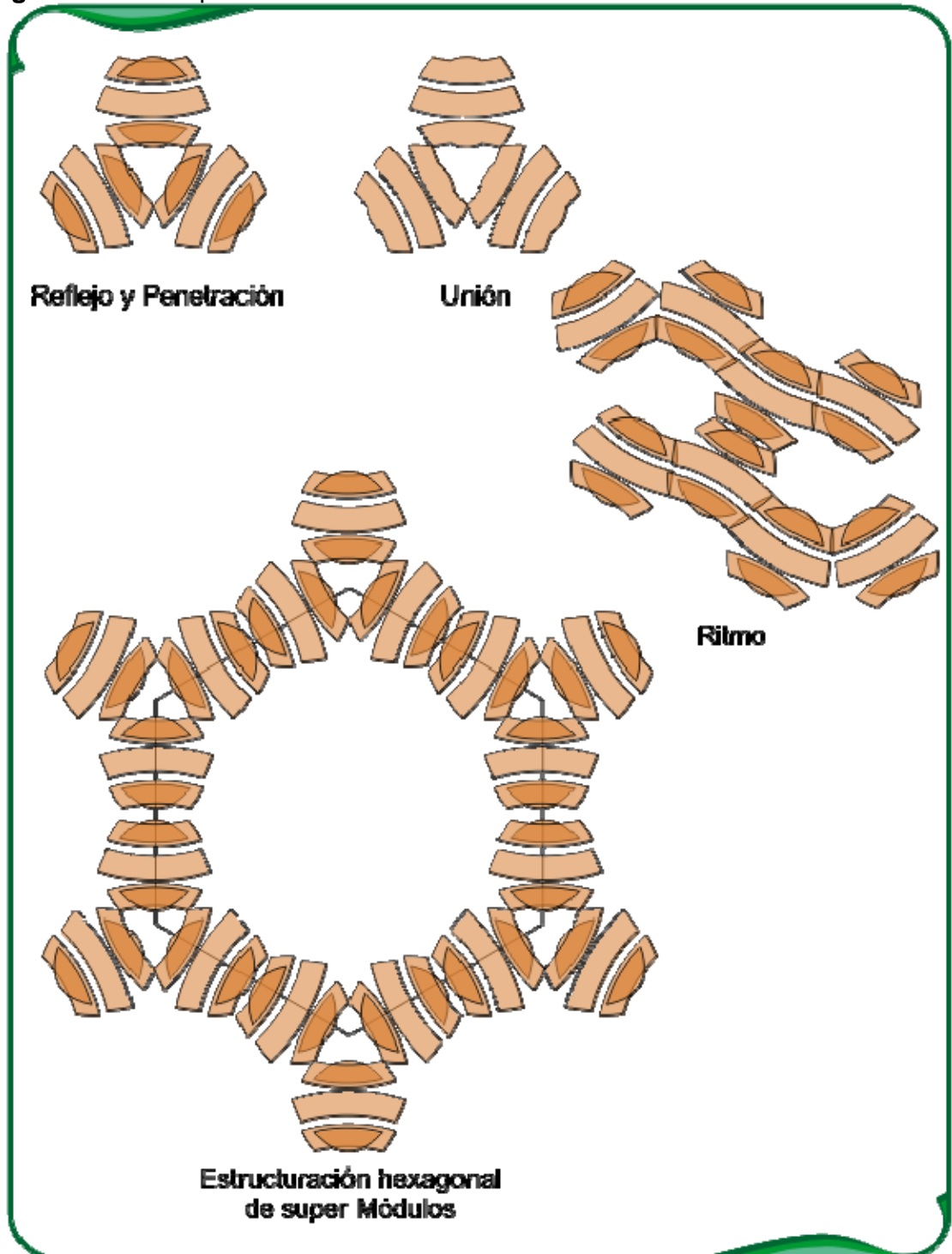
Fuente: Autor.

Figura 115. Composición bidimensional G1.



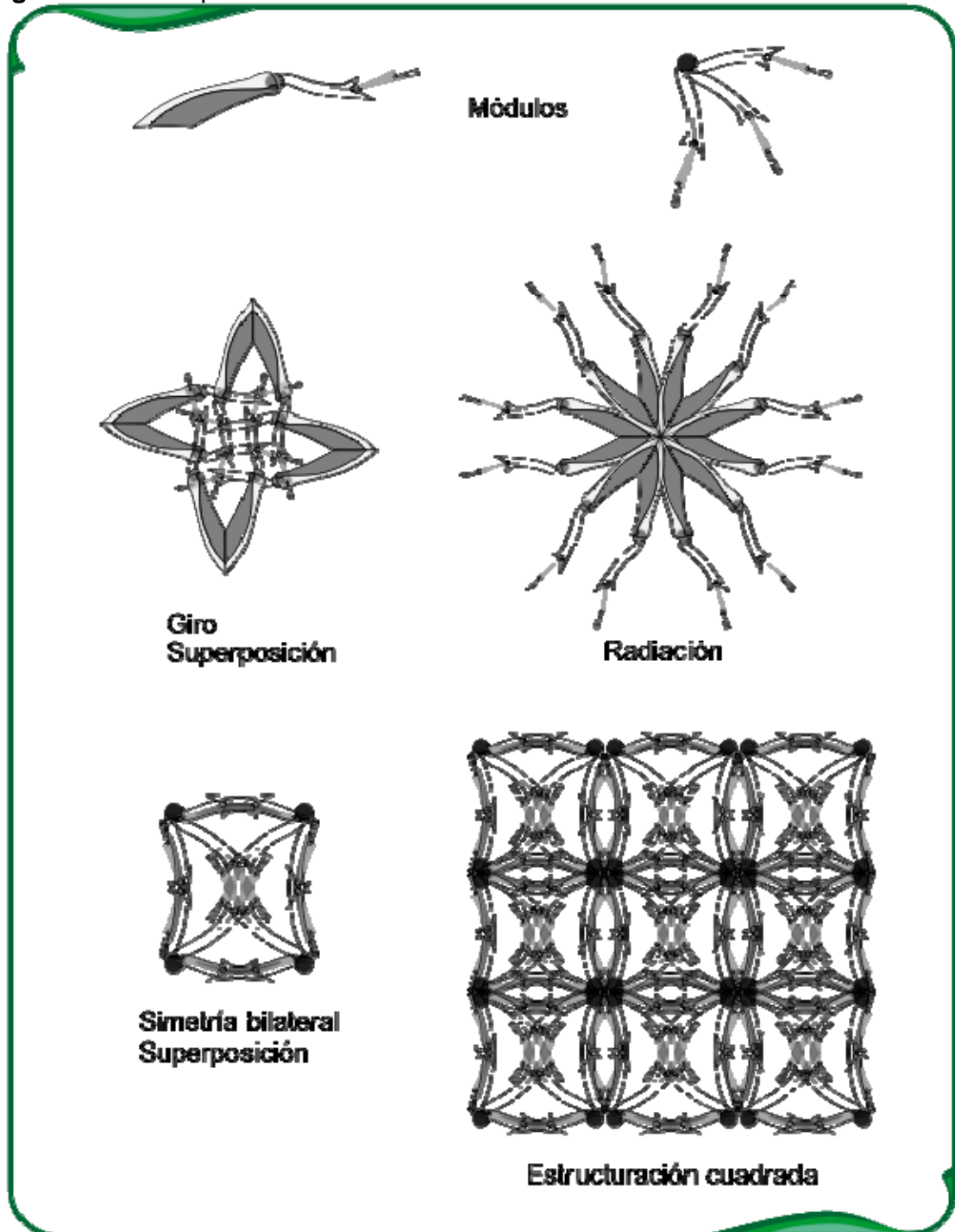
Fuente: Autor.

Figura 116. Composición bidimensional G2.



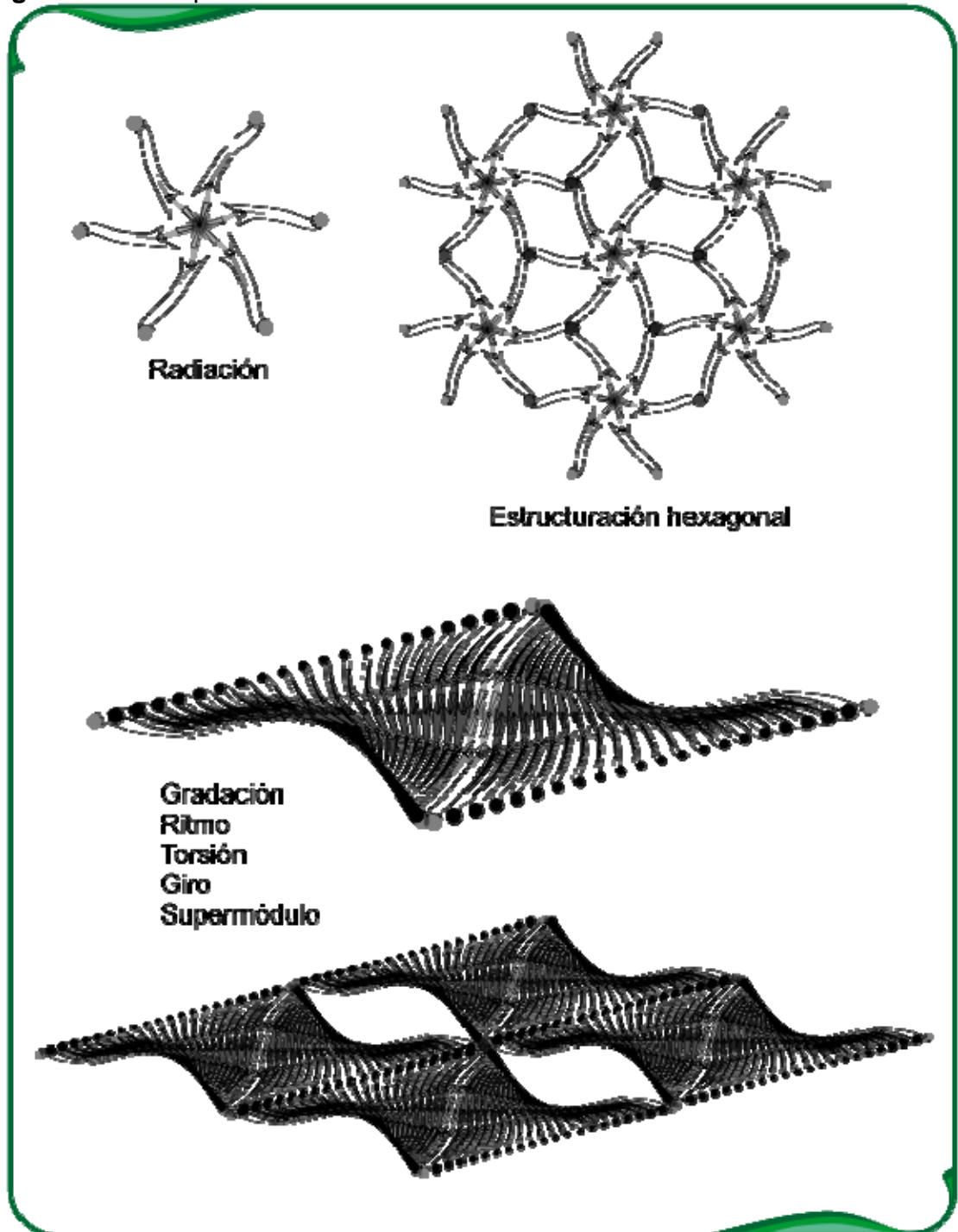
Fuente: Autor.

Figura 117. Composición bidimensional H1.



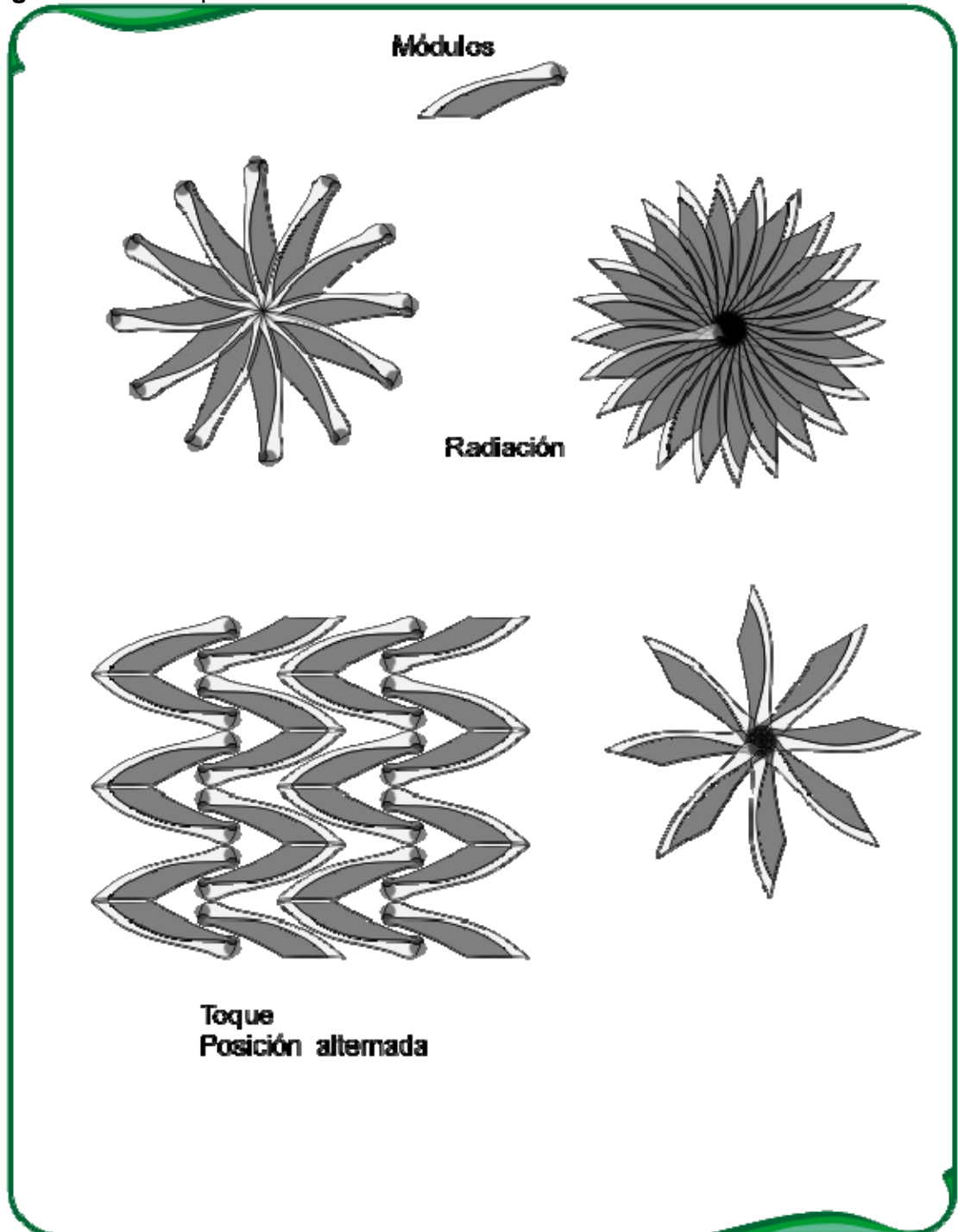
Fuente: Autor.

Figura 118. Composición bidimensional H2.



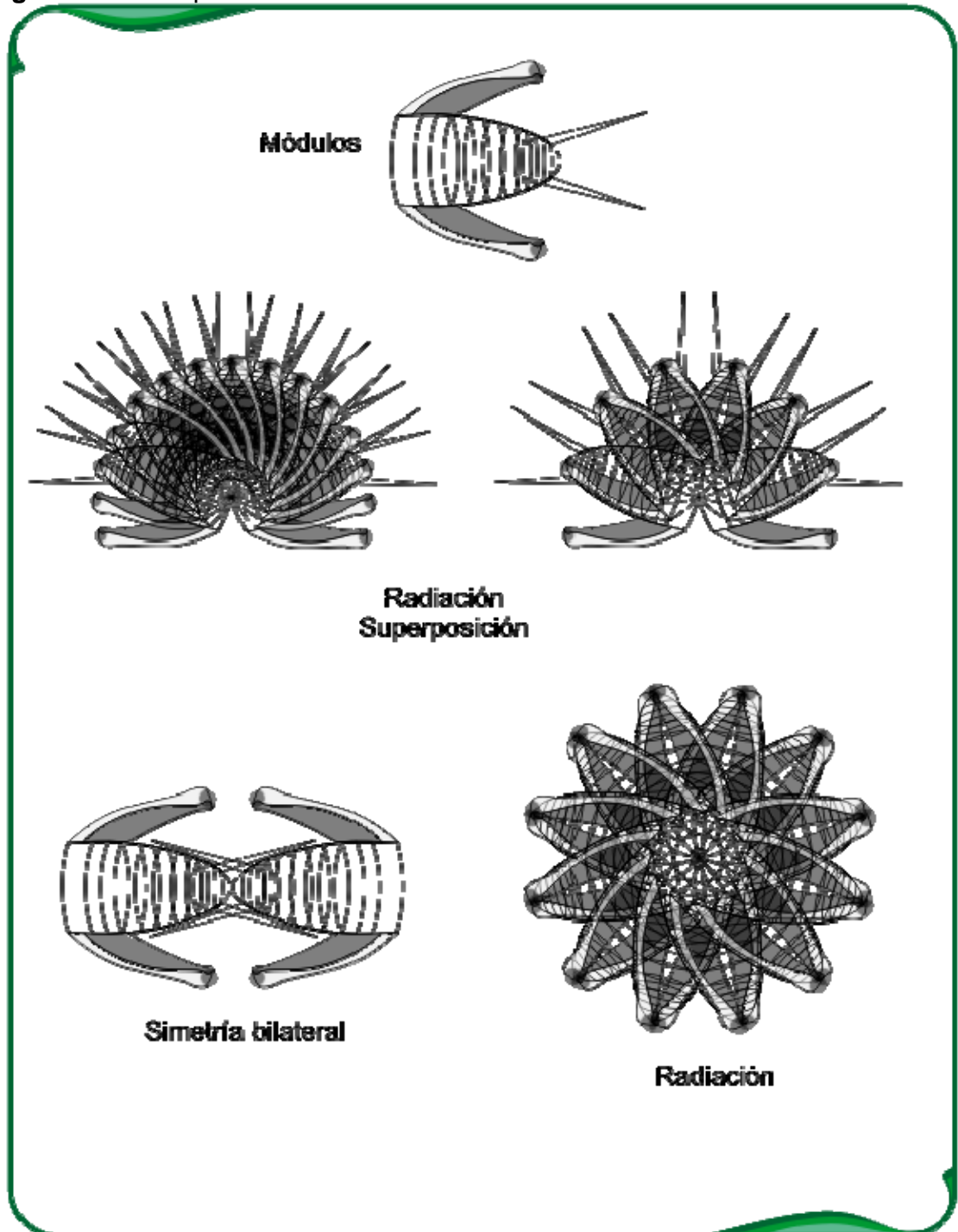
Fuente: Autor.

Figura 119. Composición bidimensional H3.



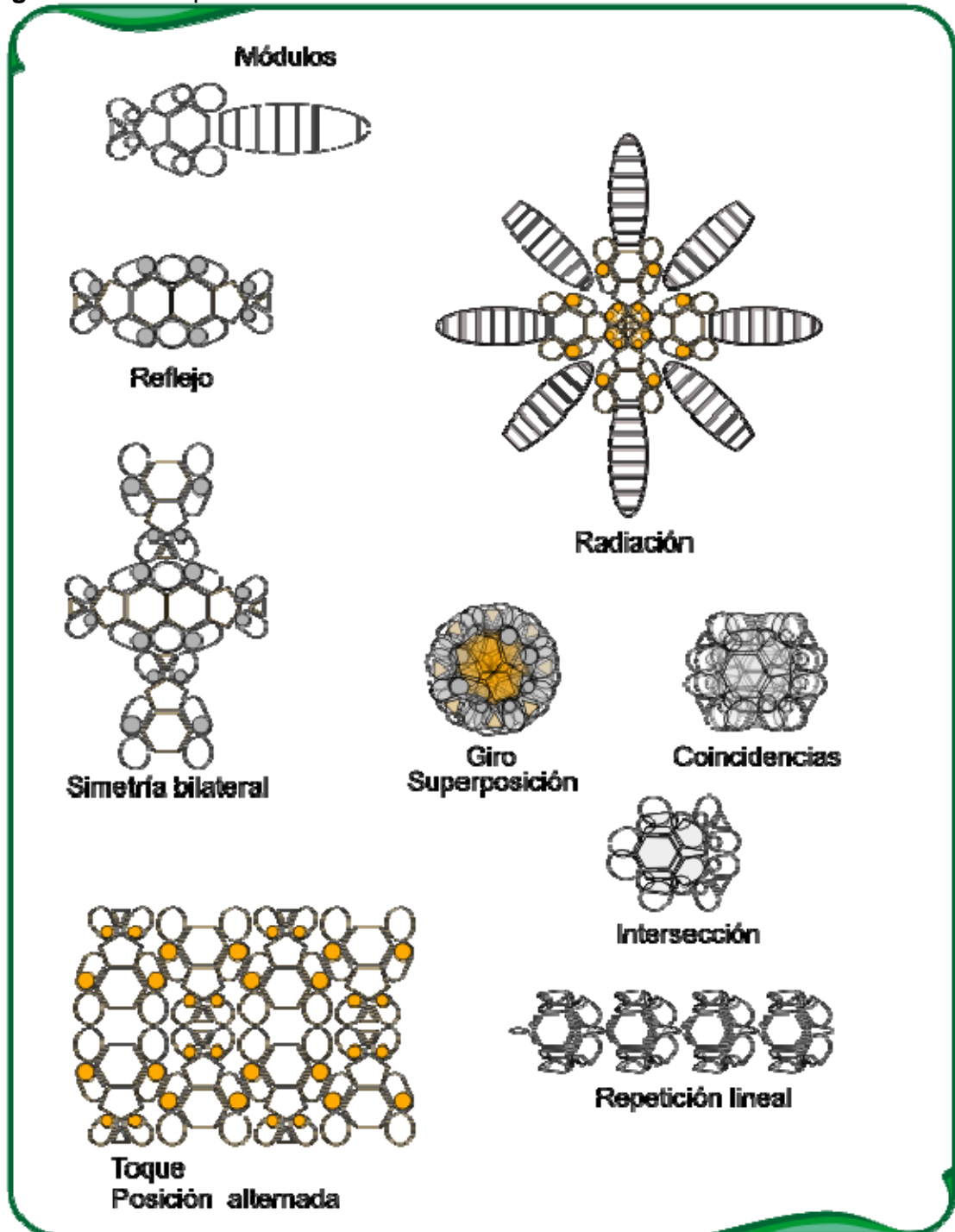
Fuente: Autor.

Figura 120. Composición bidimensional I.



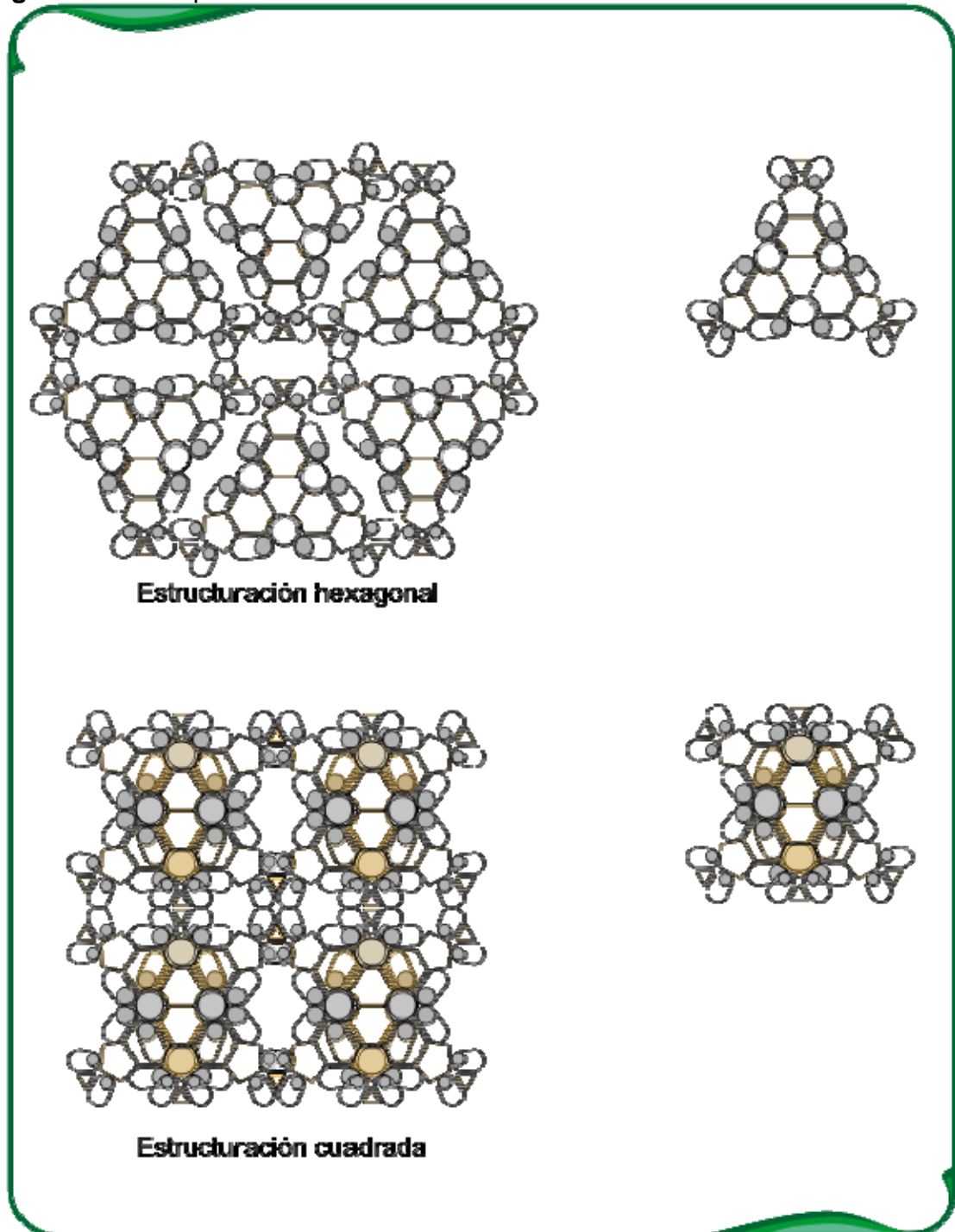
Fuente: Autor.

Figura 121. Composición bidimensional J1.



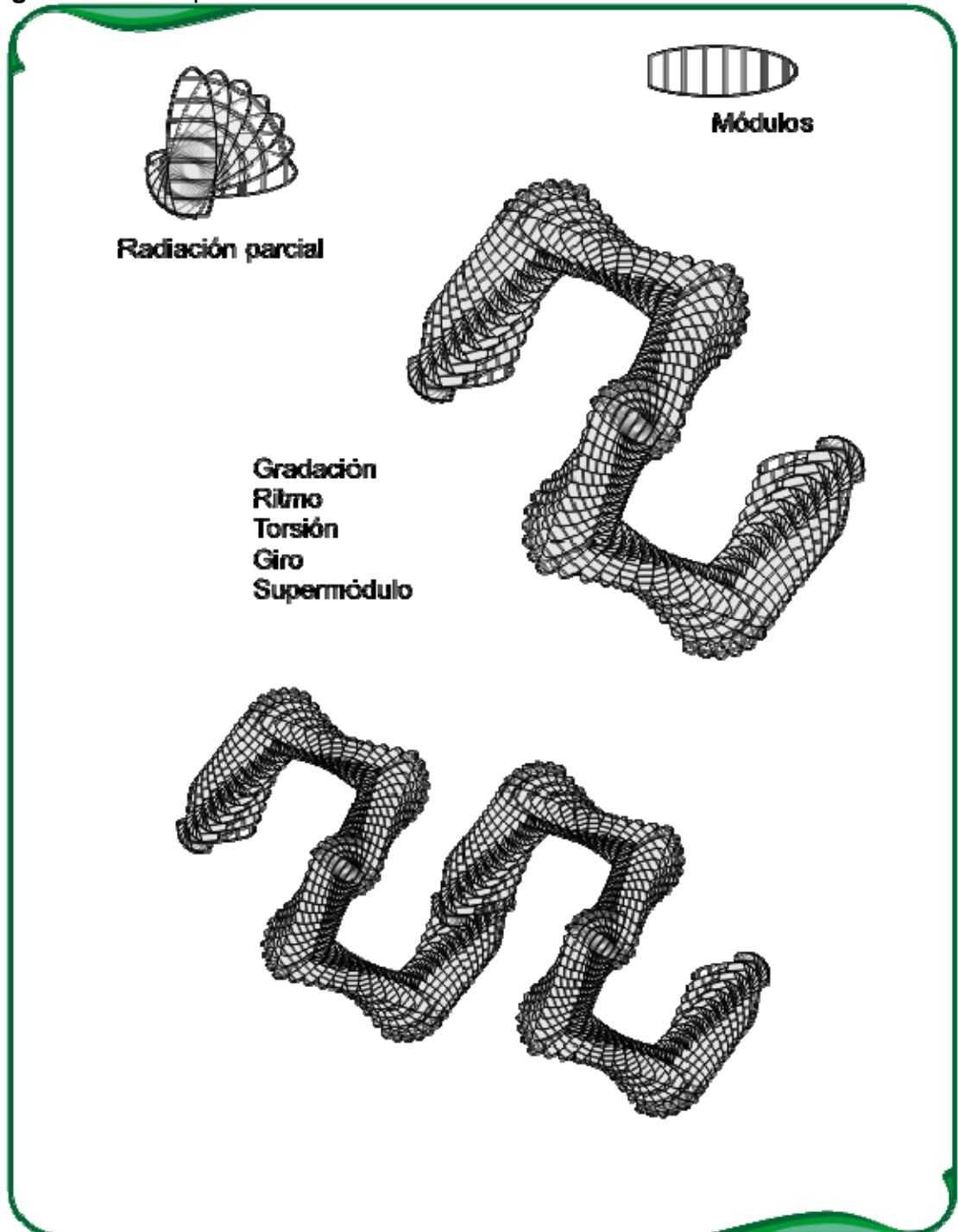
Fuente: Autor.

Figura 122. Composición bidimensional J2.



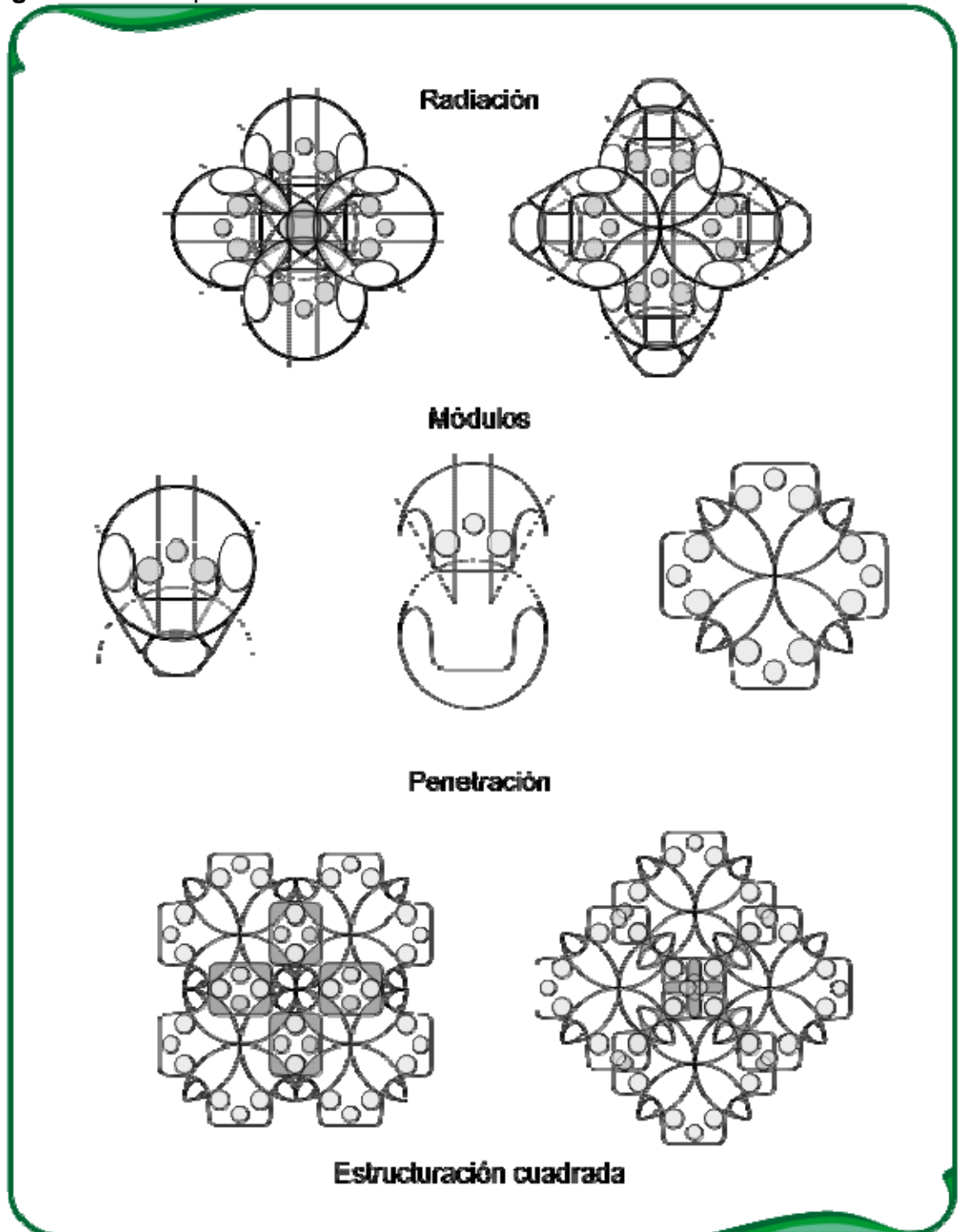
Fuente: Autor.

Figura 123. Composición bidimensional K.



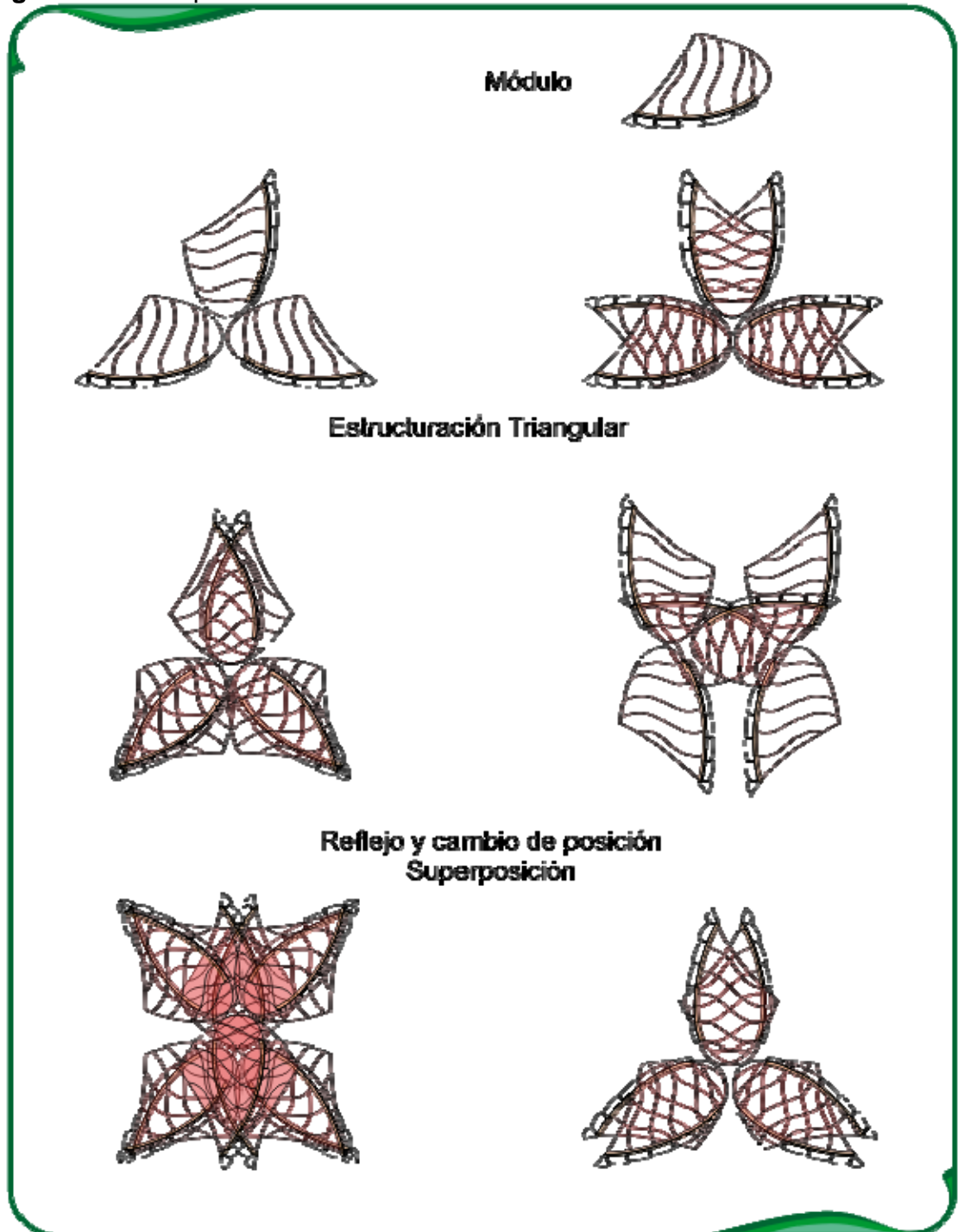
Fuente: Autor.

Figura 124. Composición bidimensional L.



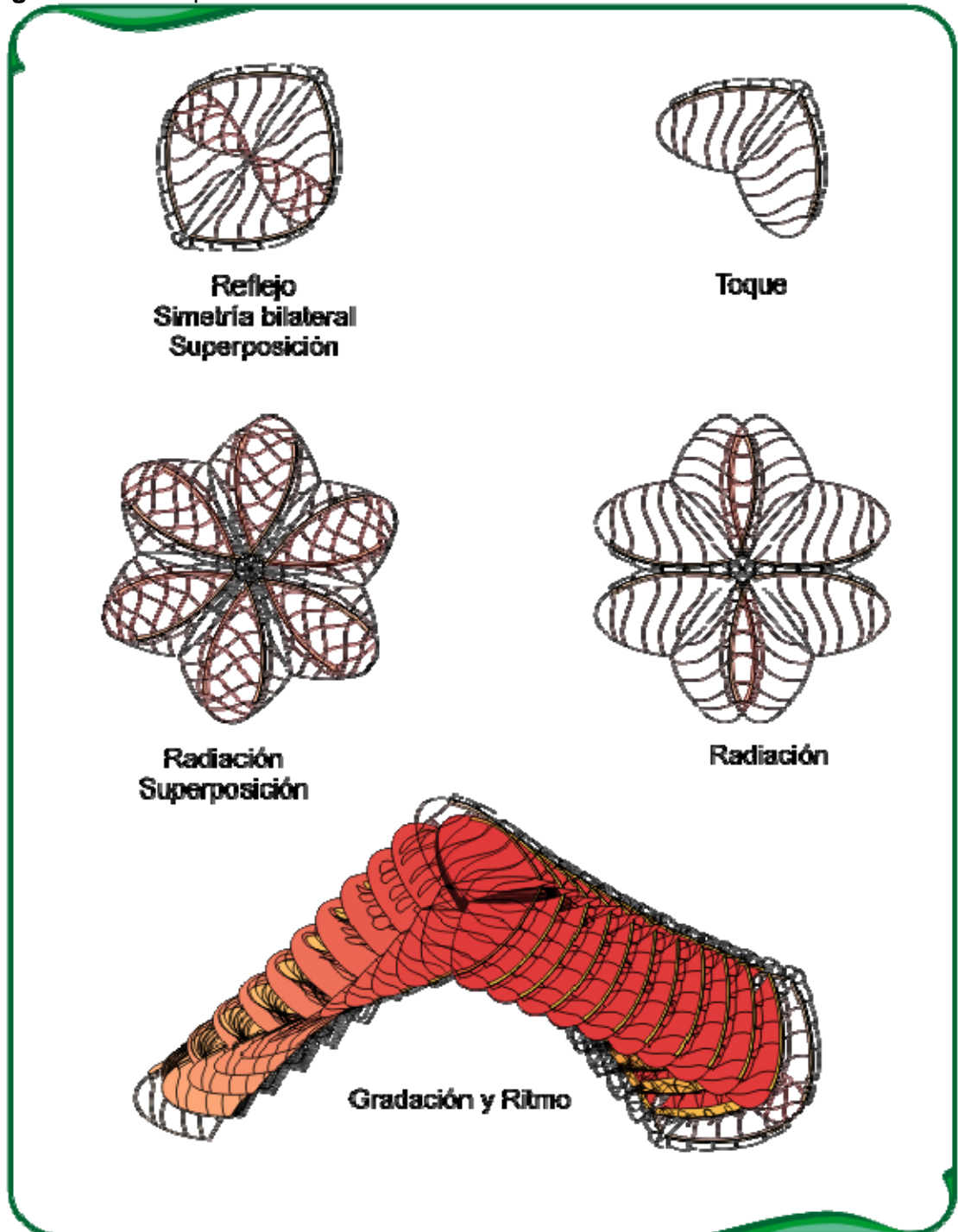
Fuente: Autor.

Figura 125. Composición bidimensional M1.



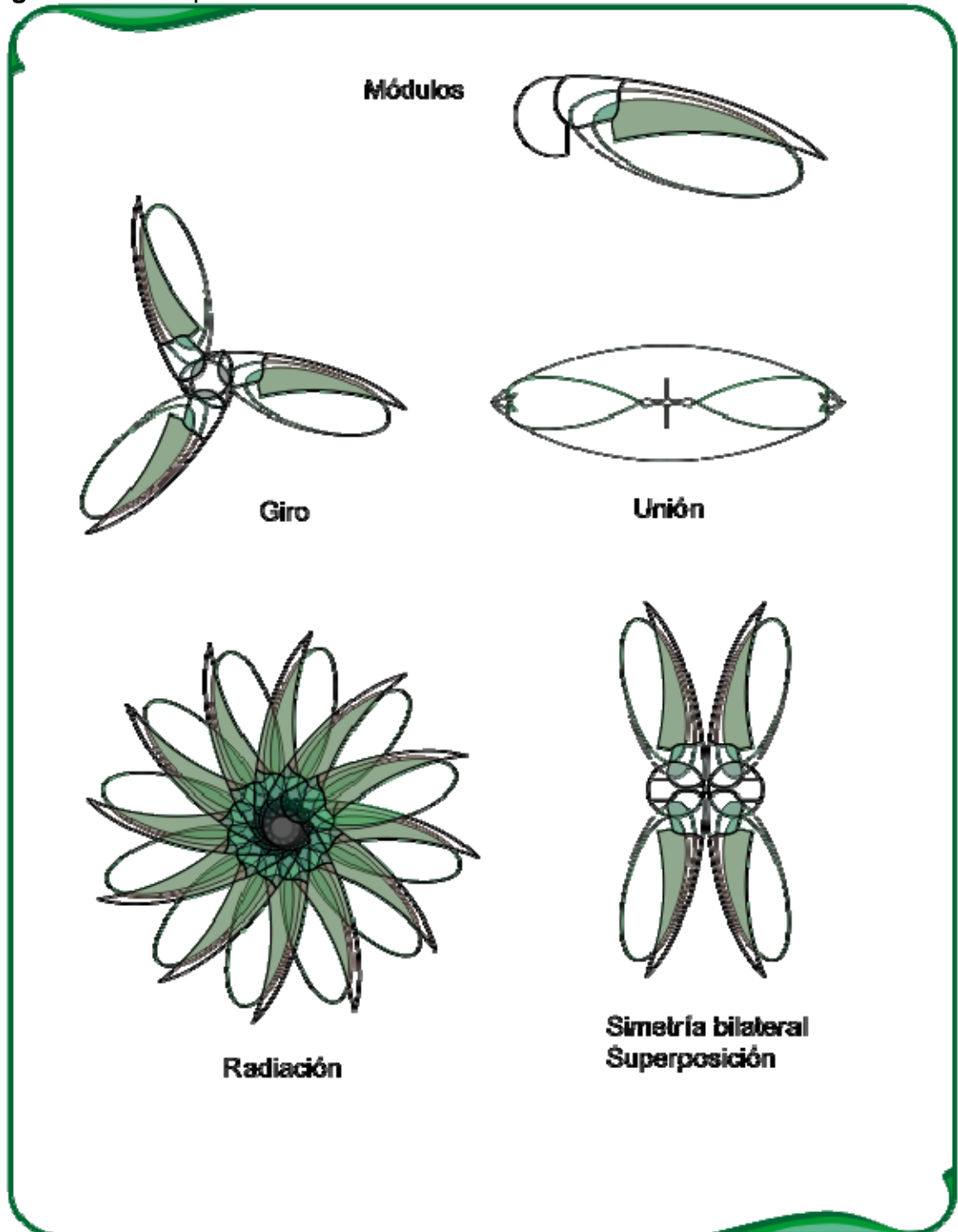
Fuente: Autor.

Figura 126. Composición bidimensional M2.



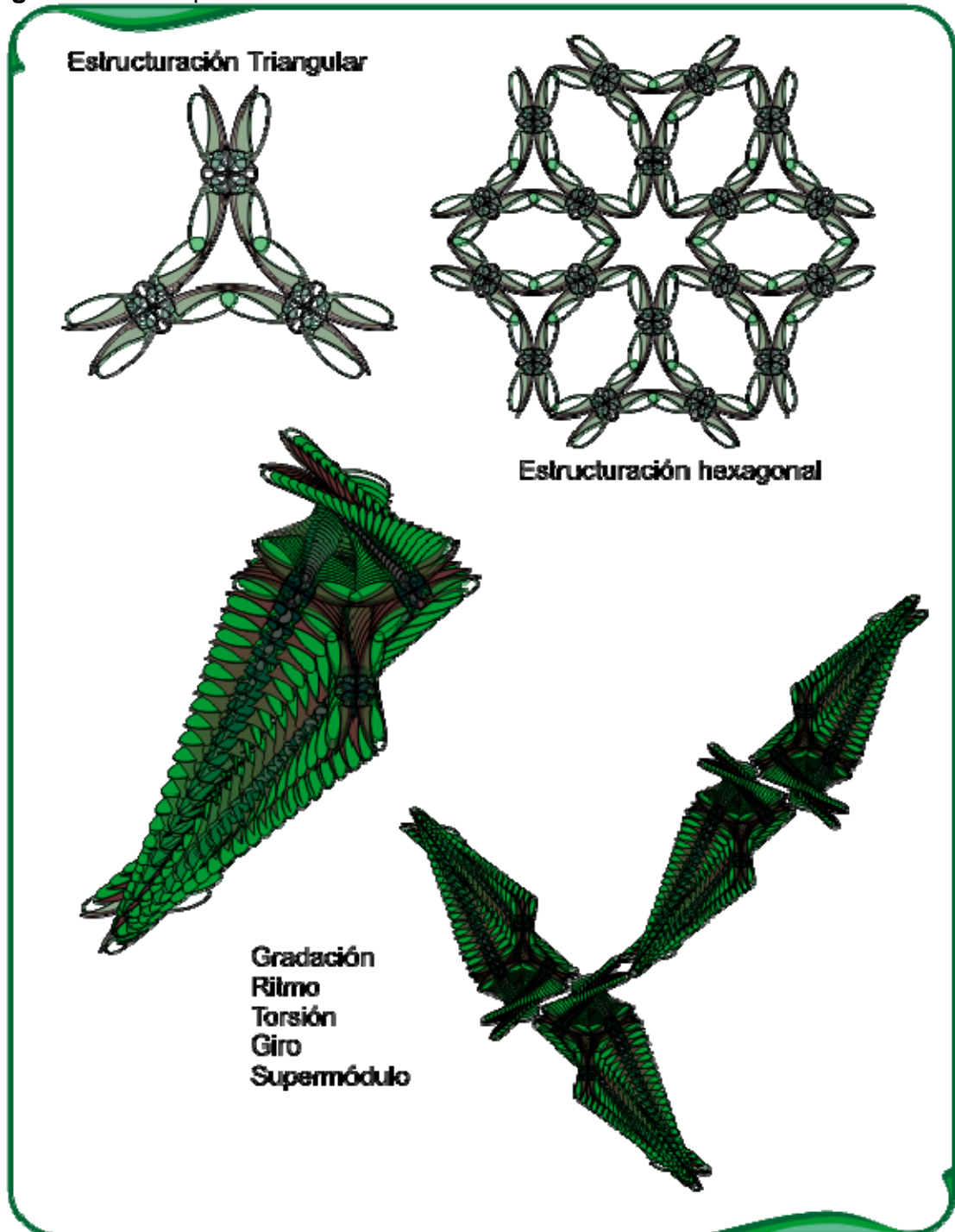
Fuente: Autor.

Figura 127. Composición bidimensional N1.



Fuente: Autor.

Figura 128. Composición bidimensional N2.



Fuente: Autor.

Las diferentes propuestas bidimensionales vistas anteriormente, recrean una parte de los posible universos de configuraciones que solo es limitado por la imaginación y que se sugieren como alternativas graficas derivadas de las geometrías del grillo y su observación. Cada alternativa actúa en medio de un lenguaje de diseño como una propuesta conceptual, la cual puede ser mirada como la abstracción del grillo, la interrelación de formas, las líneas y texturas del grillo, dispuestas en el orden determinado por la naturaleza.

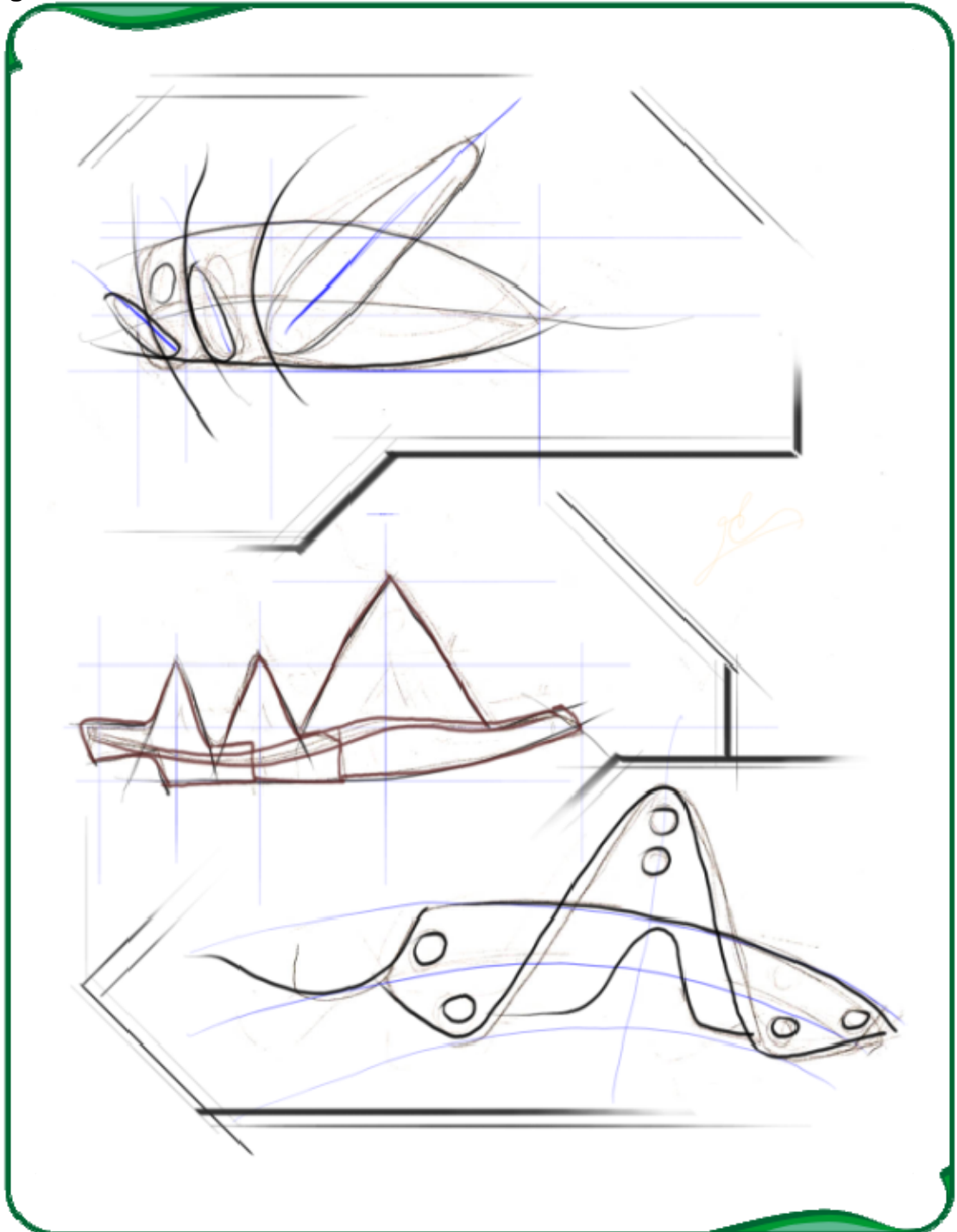
4.1.2 Tridimensionales.

Con el carácter espacial adicionado a esta etapa, se enriquece las alternativas posibles con un término volumétrico y de variables nuevas generadas por una composición de crecimiento tridimensional. Se desarrolla un juego de elementos de diseño y en conjunto con la geometría que se deriva de las formas del grillo en estudio, para encontrar la repetición modular optima basada en la biónica del grillo.

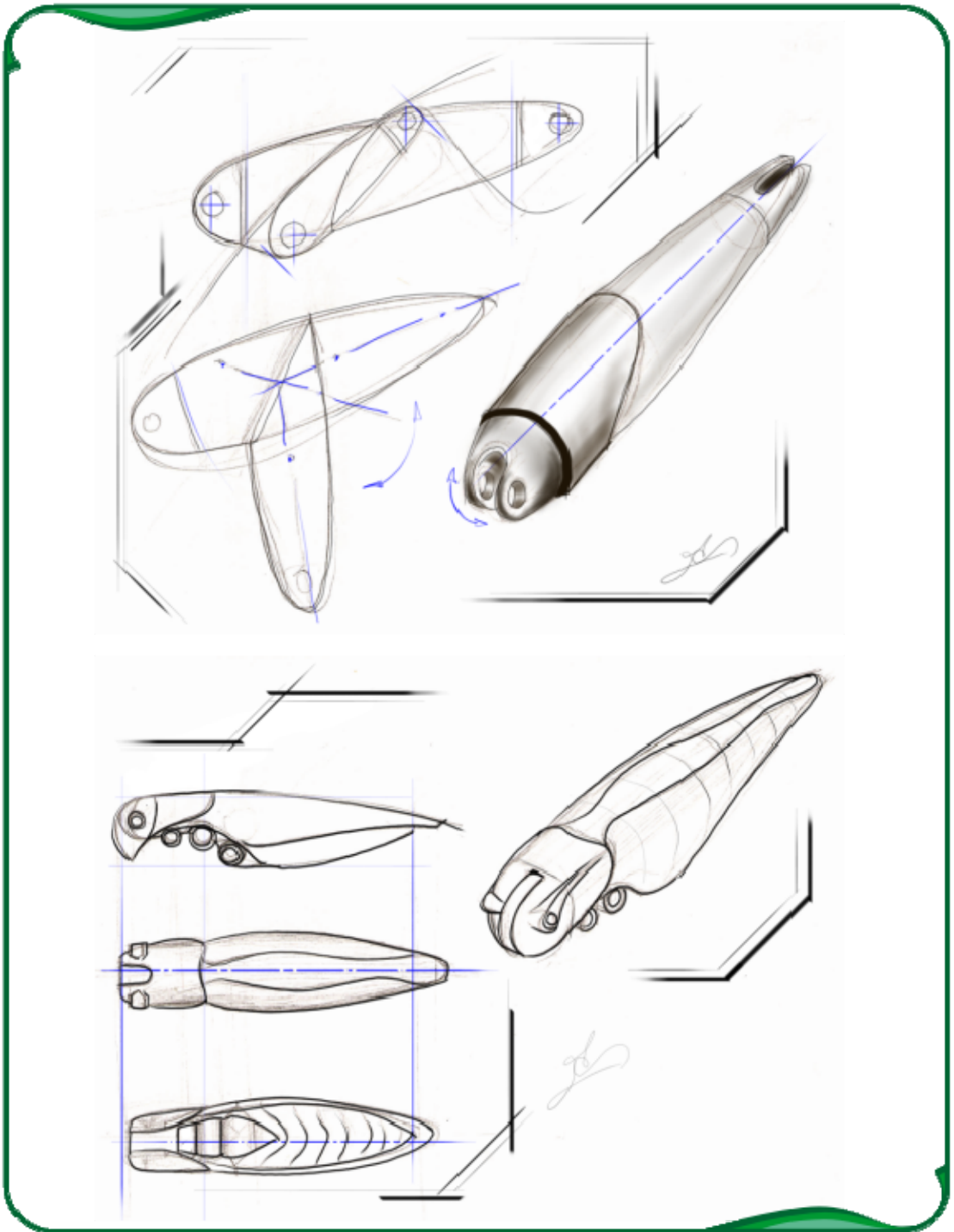
Elementos característicos del grillo que le dan la identidad como tal y ser reconocido como único en una representación formal, son las premisas aplicadas en las propuestas modulares desarrolladas a continuación en una lluvia de ideas. Ya sea su configuración desde un punto global de la forma o la puntual en algunas de sus partes que lo conforman.

Las siguientes imágenes son el conjunto de alternativas modulares desarrolladas por medio de lluvia de ideas (Brainstorming) que muestran de forma preliminar soluciones a los objetivos propuestos.

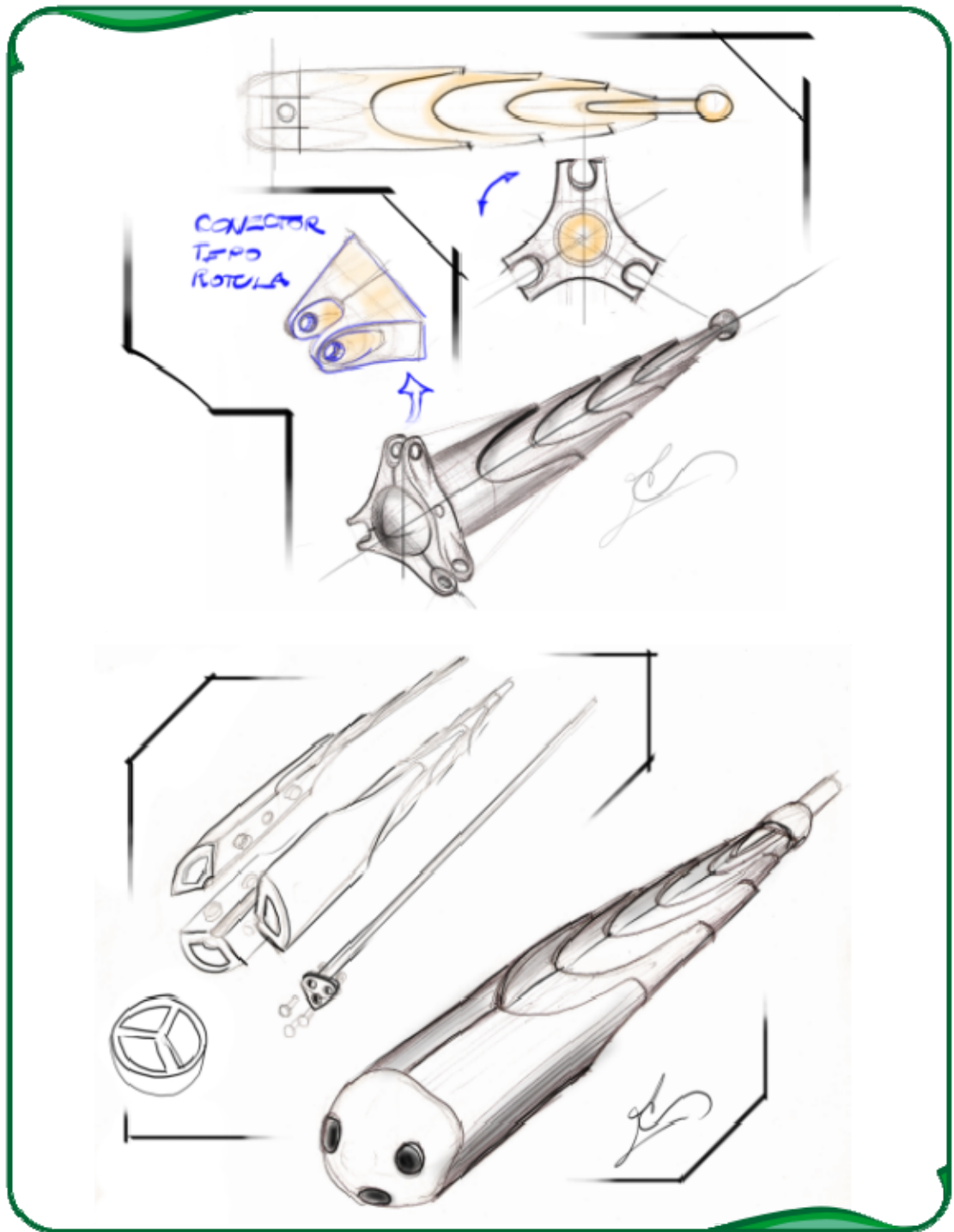
Figura 129. Lluvia de ideas tridimensional.



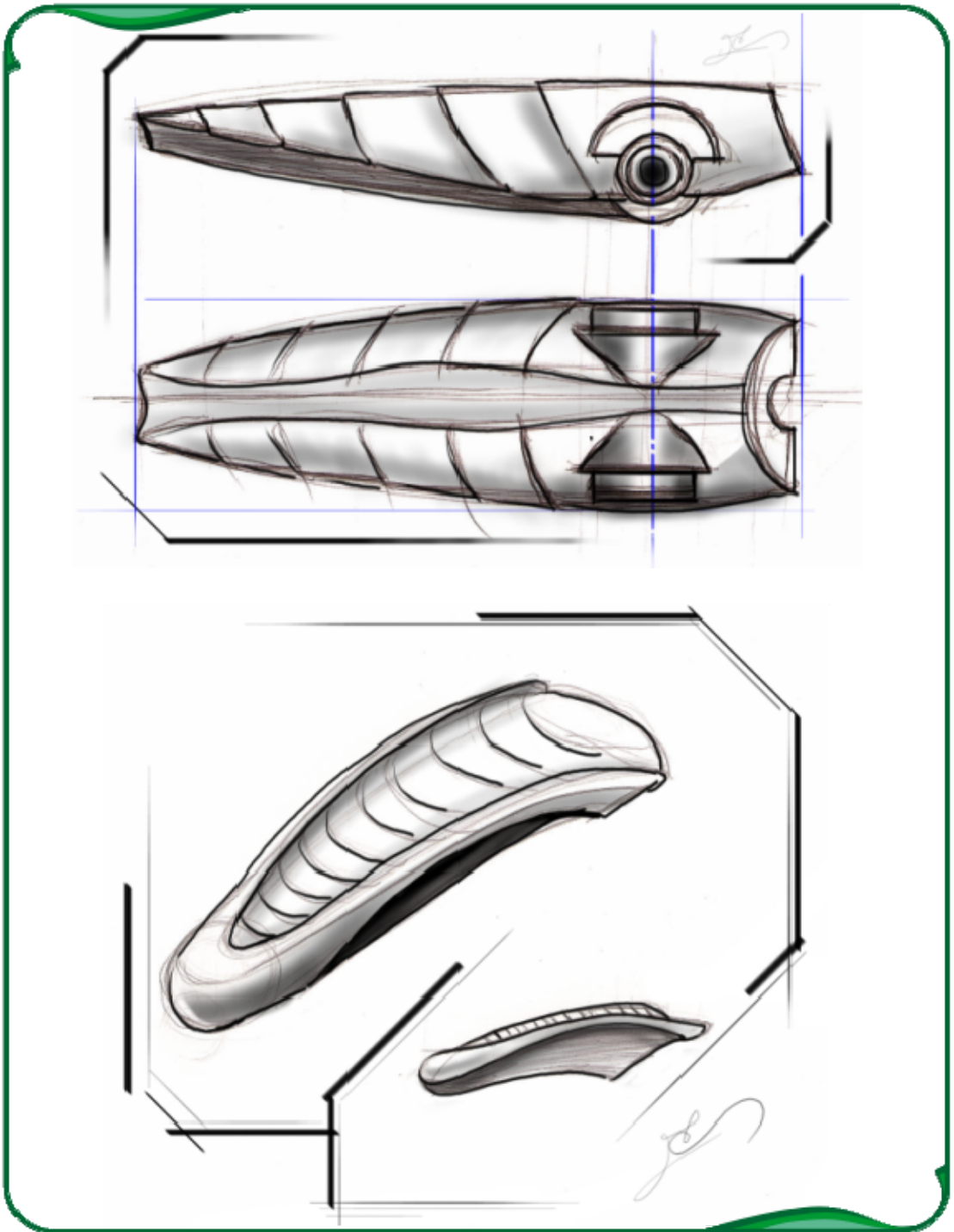
Fuente: Autor.



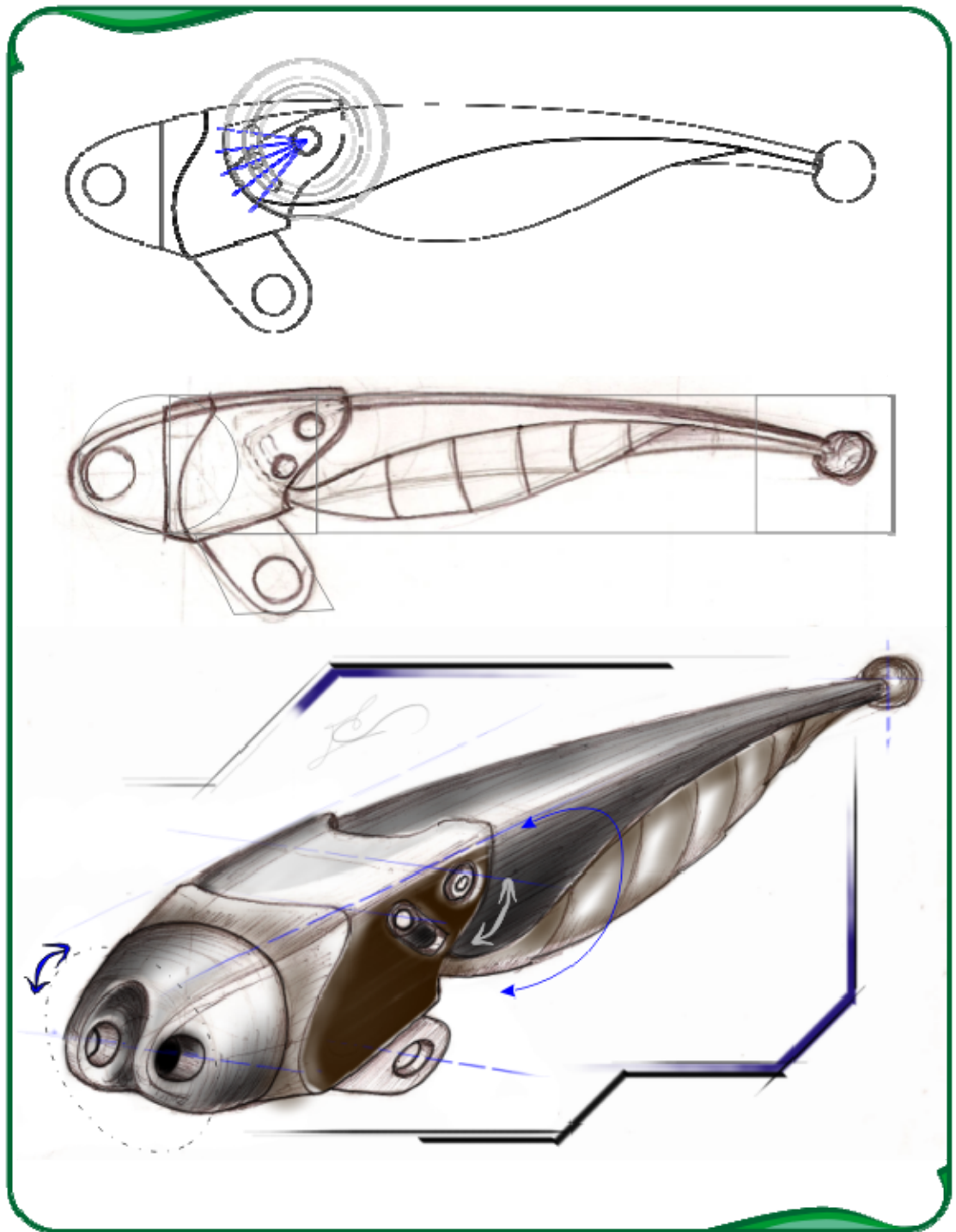
Fuente: Autor.



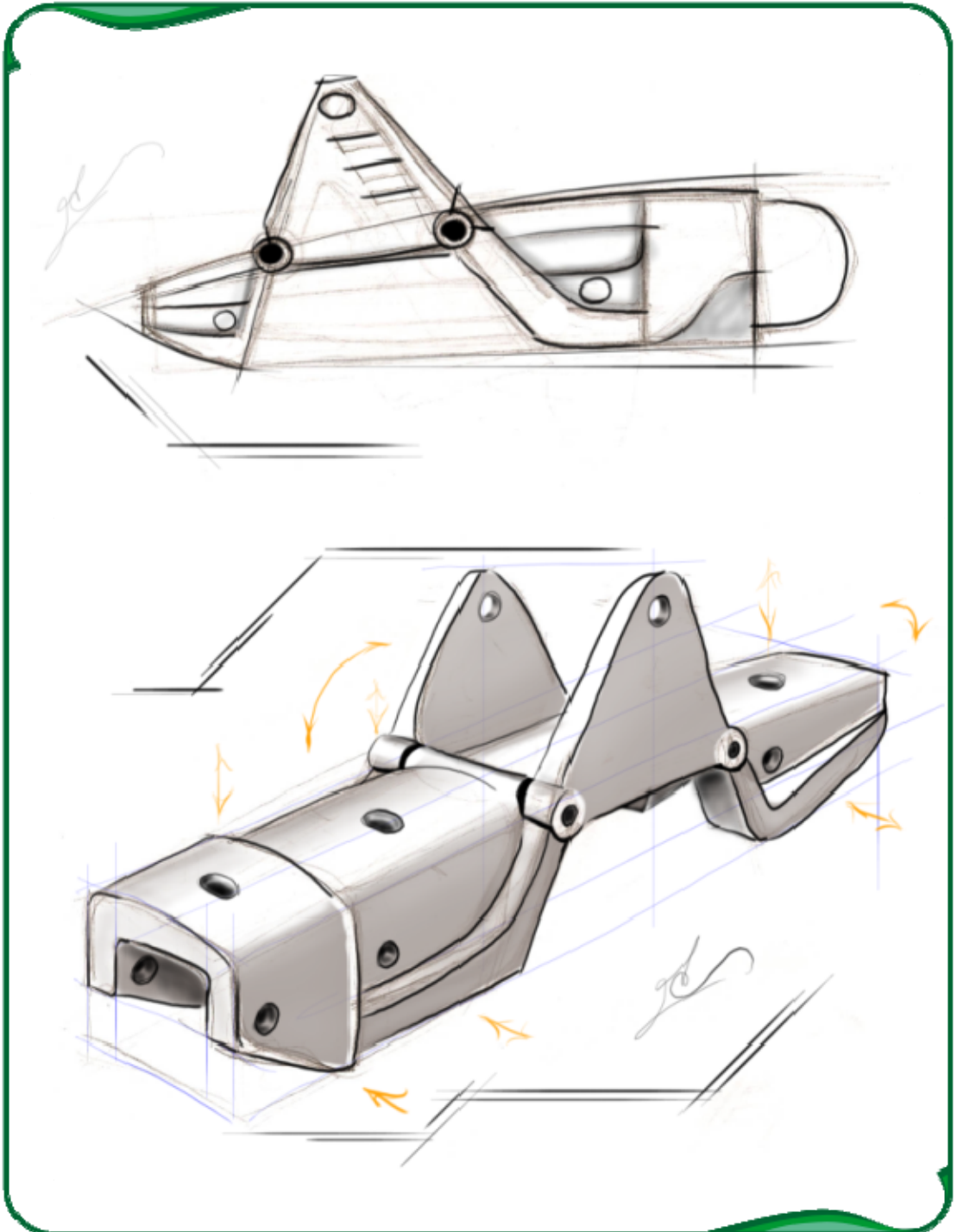
Fuente: Autor.



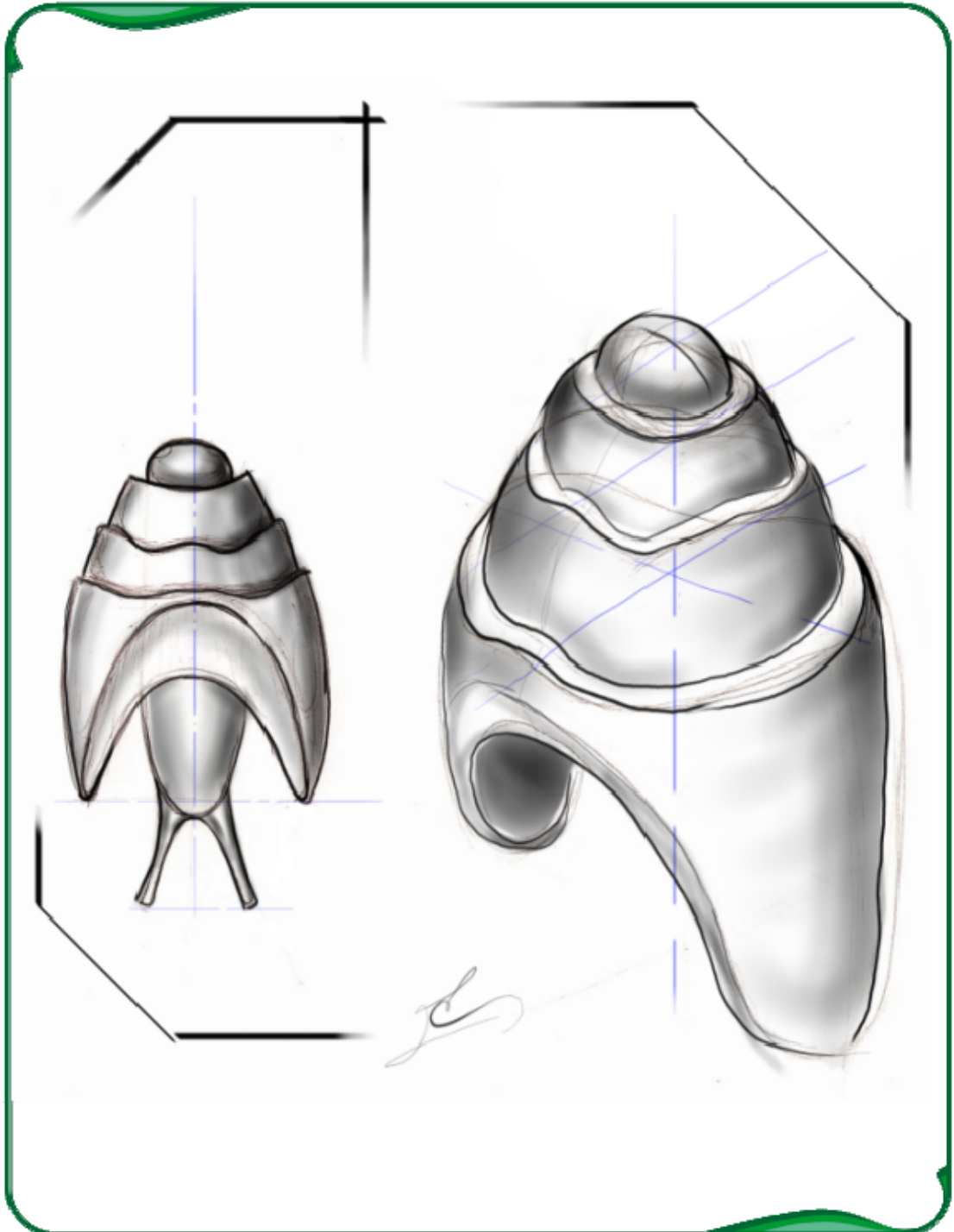
Fuente: Autor.



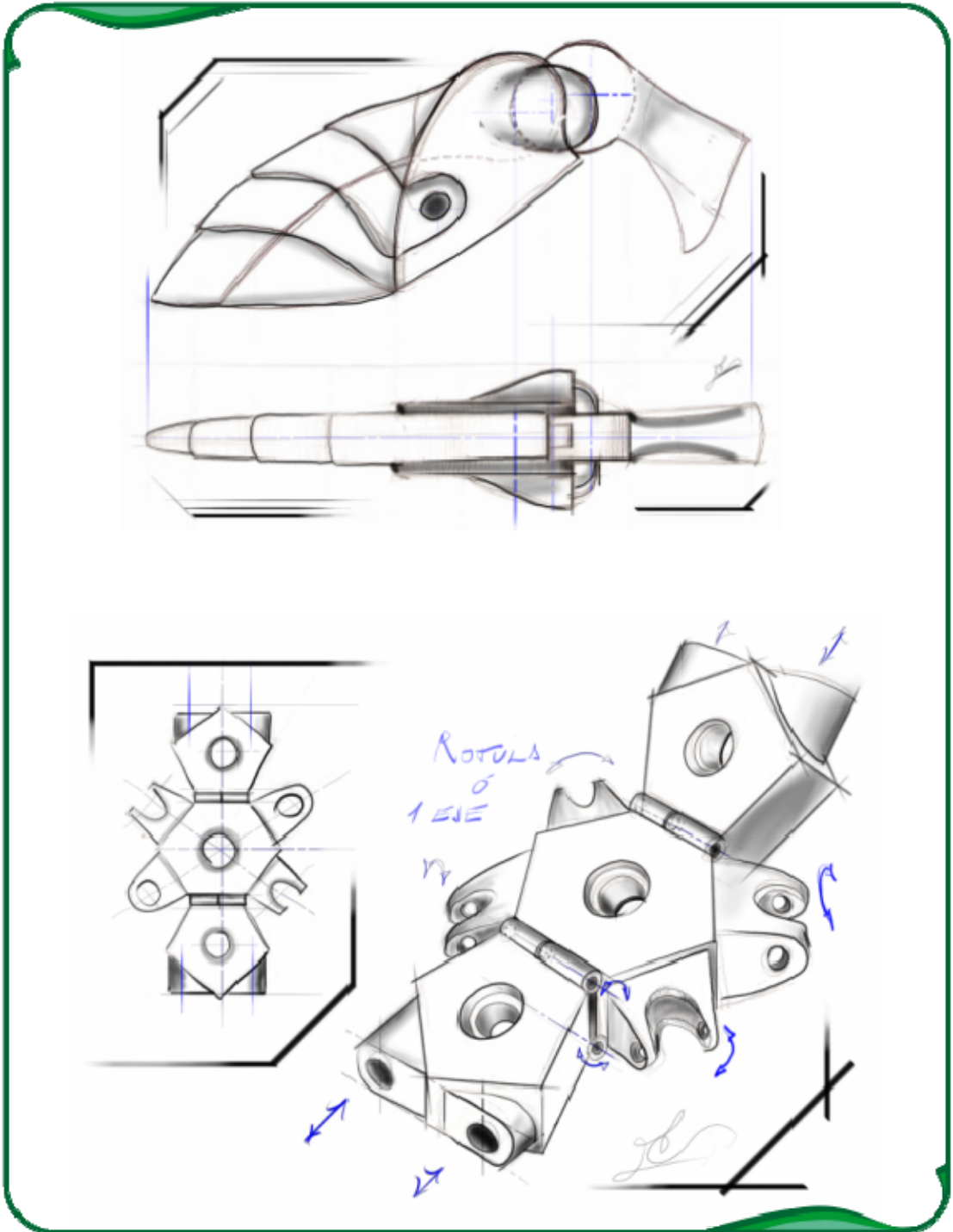
Fuente: Autor.



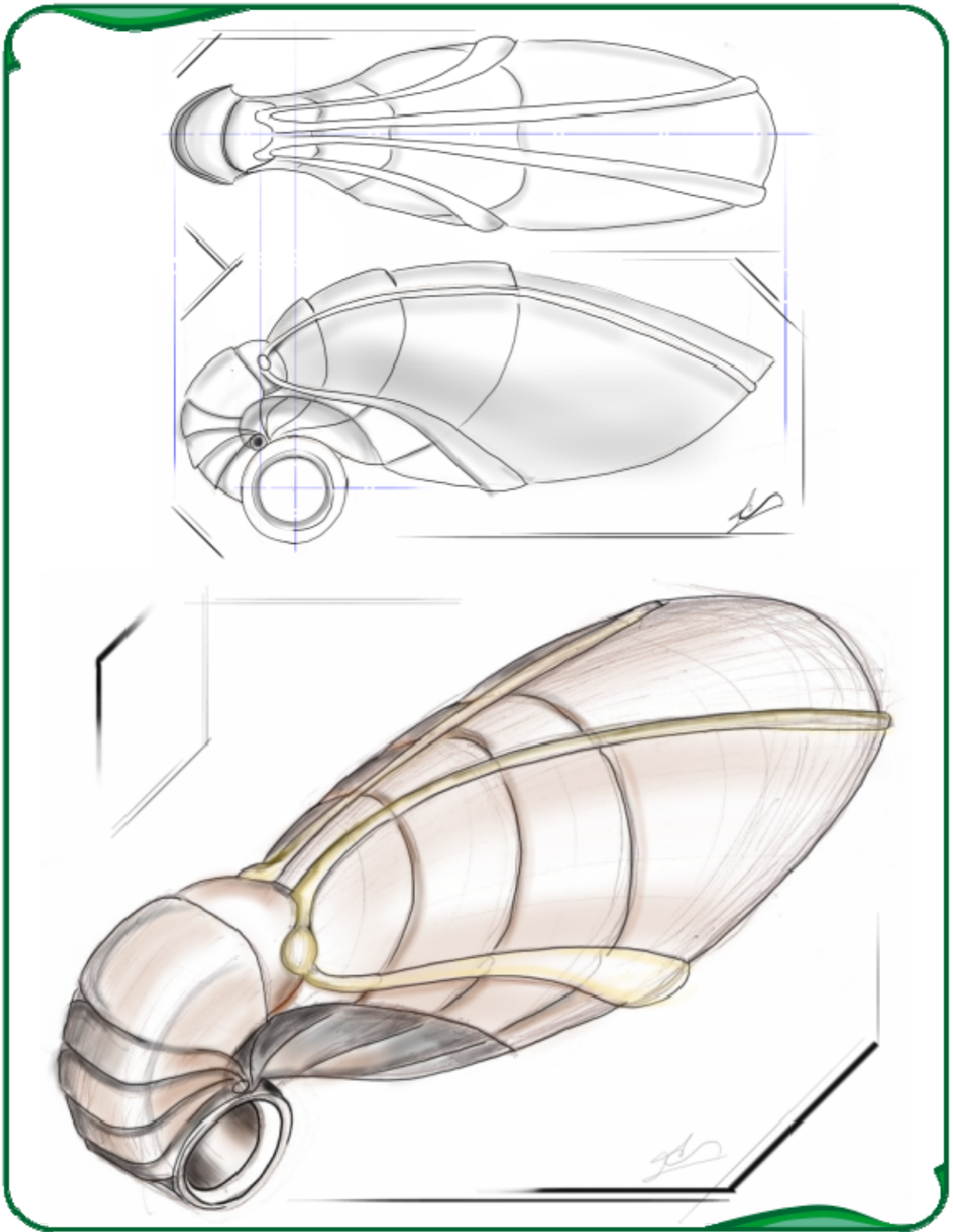
Fuente: Autor.



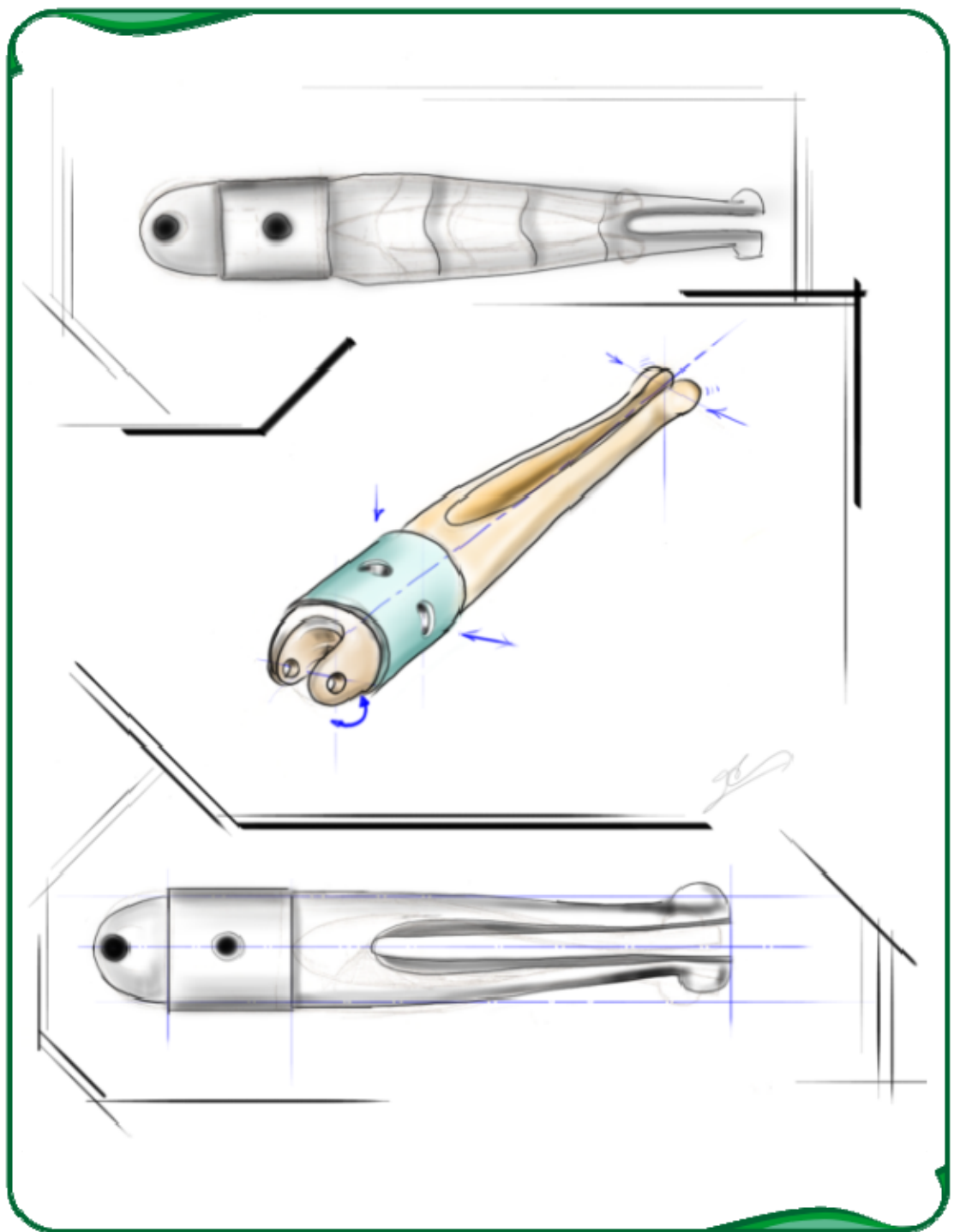
Fuente: Autor.



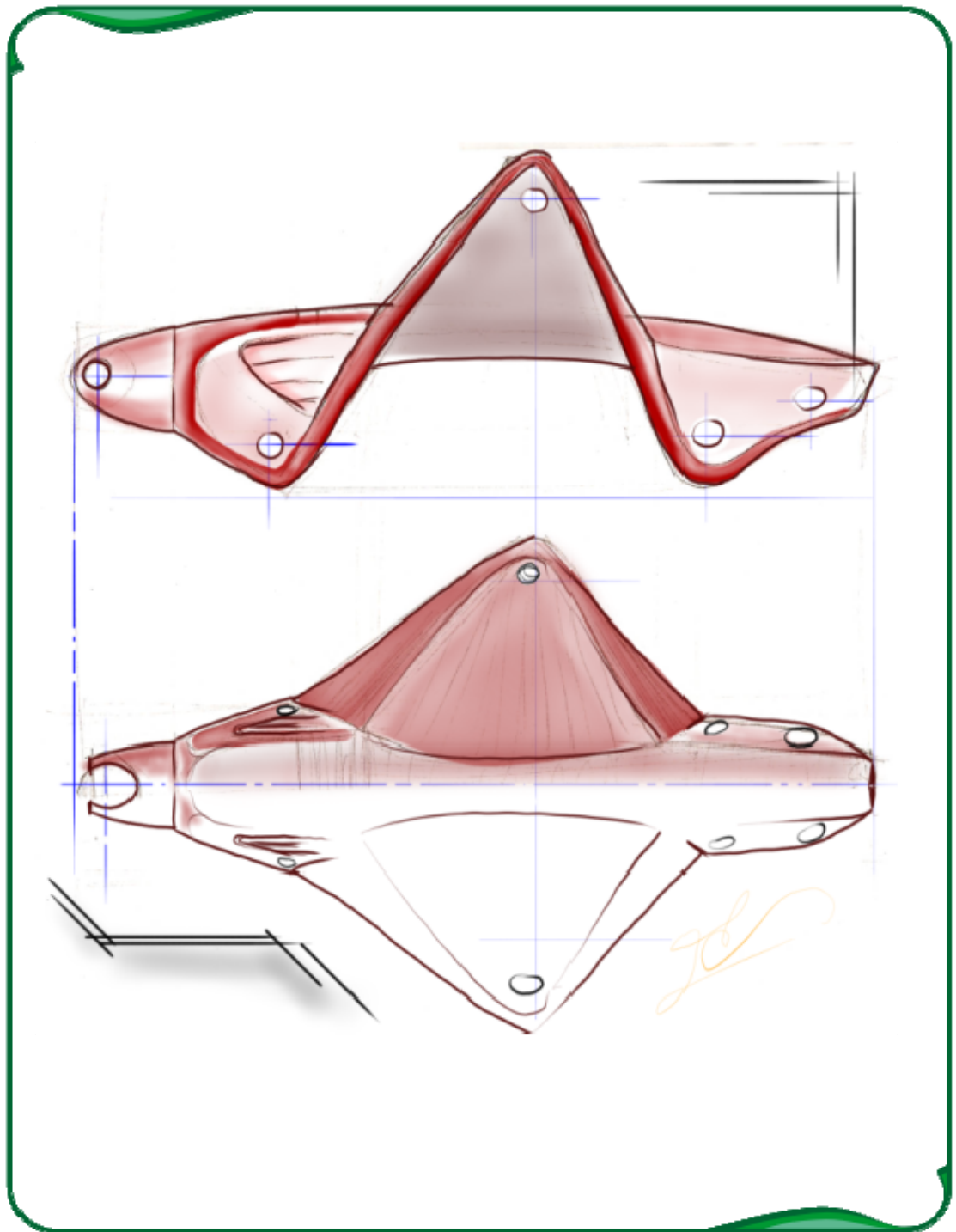
Fuente: Autor.



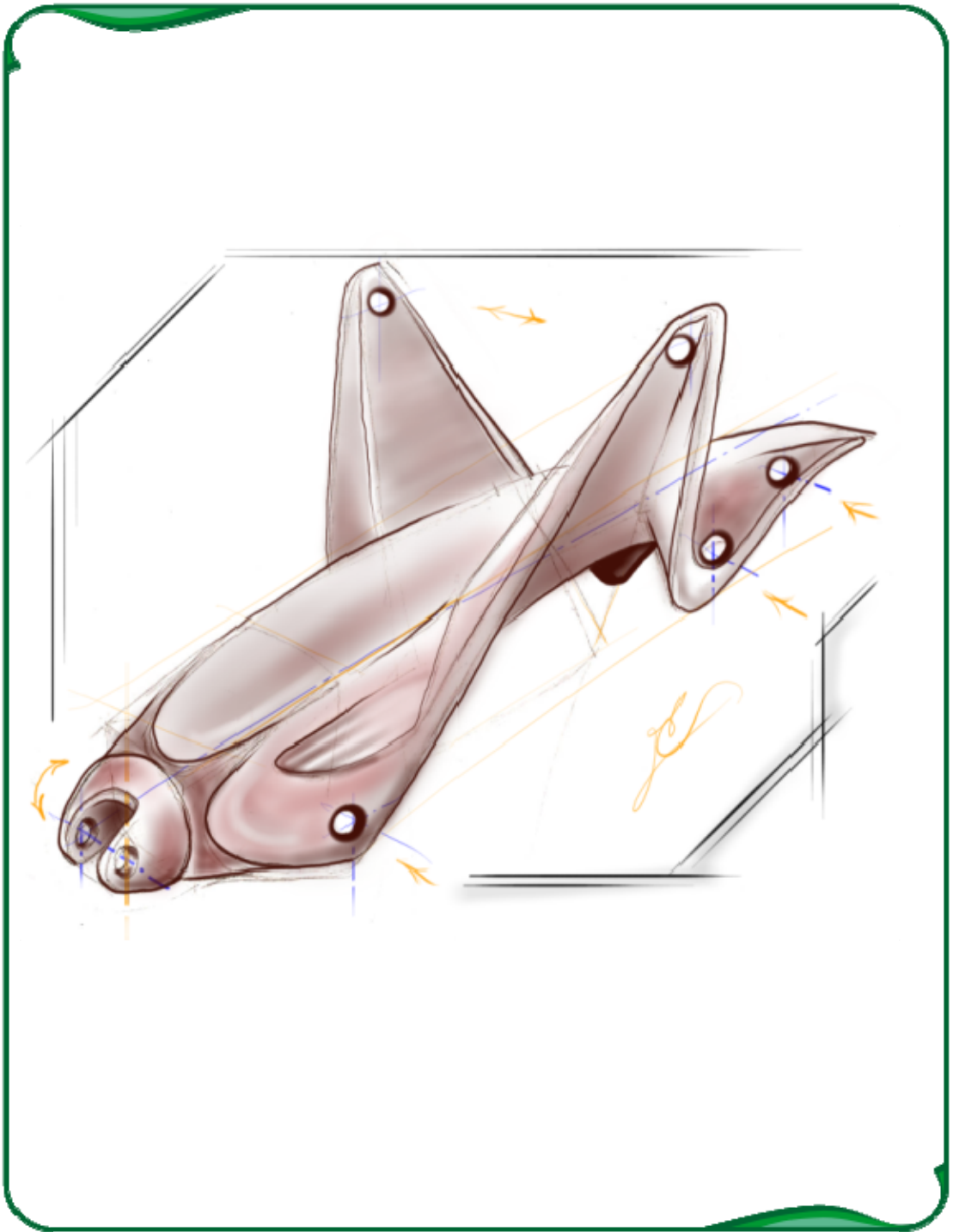
Fuente: Autor.



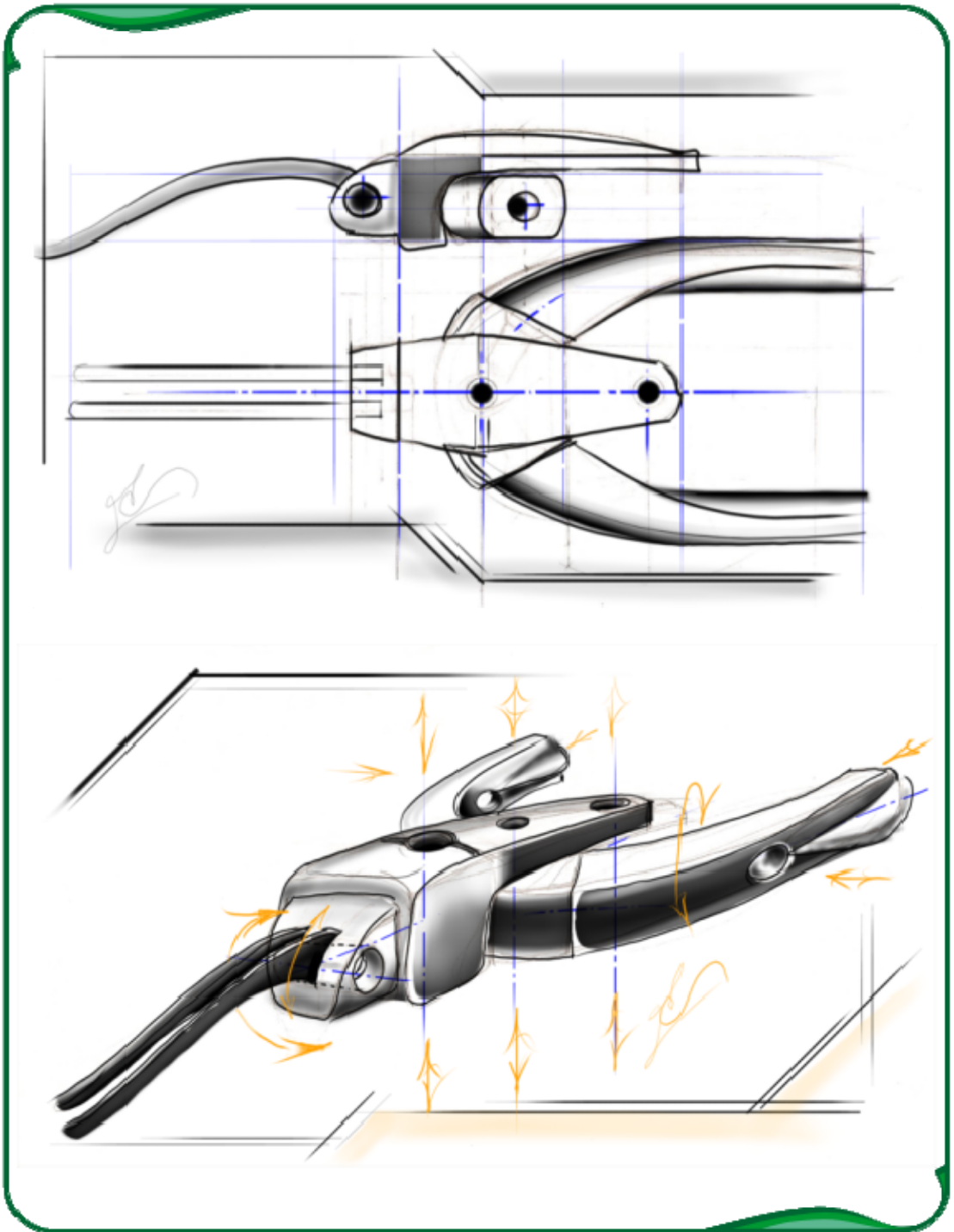
Fuente: Autor.



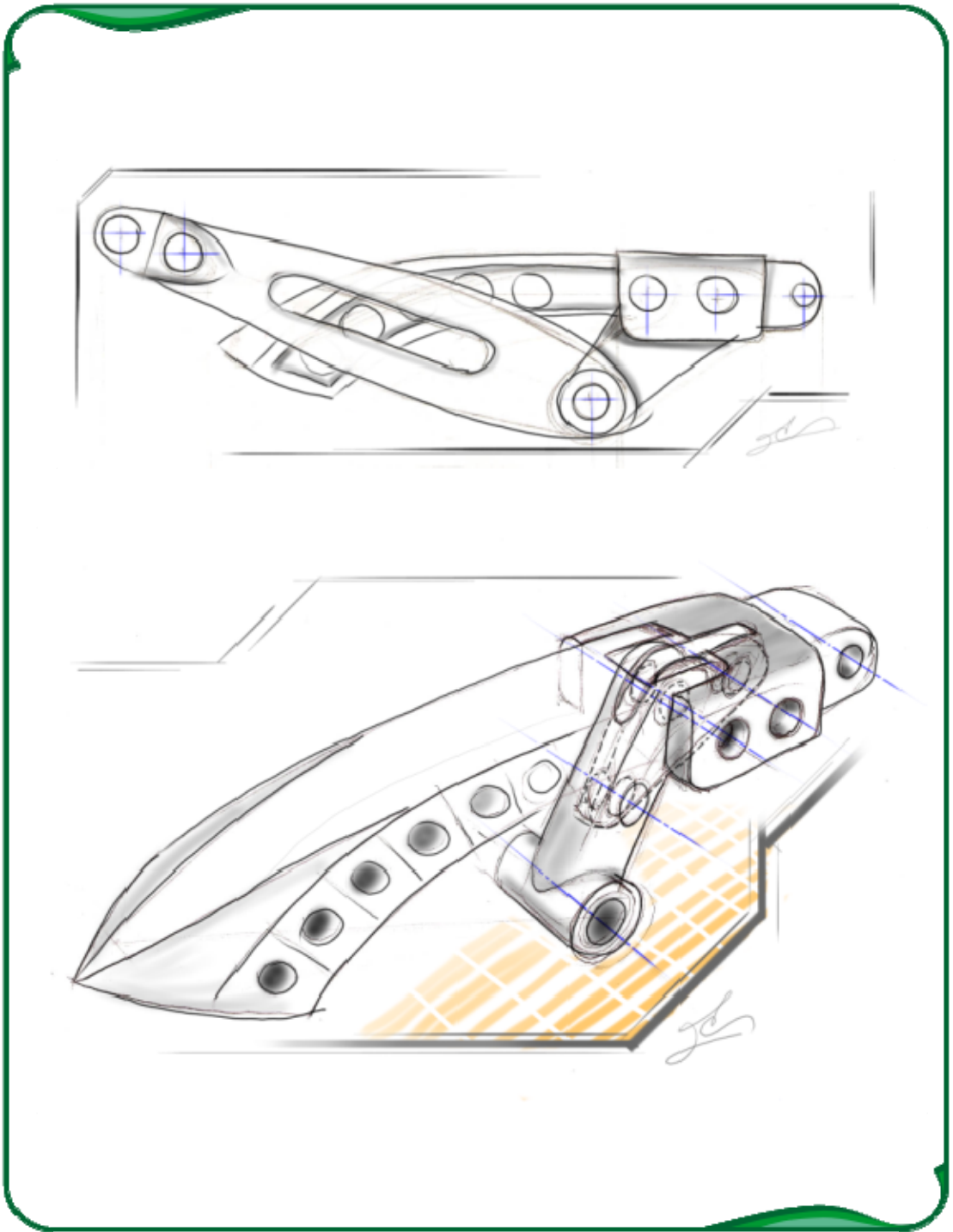
Fuente: Autor.



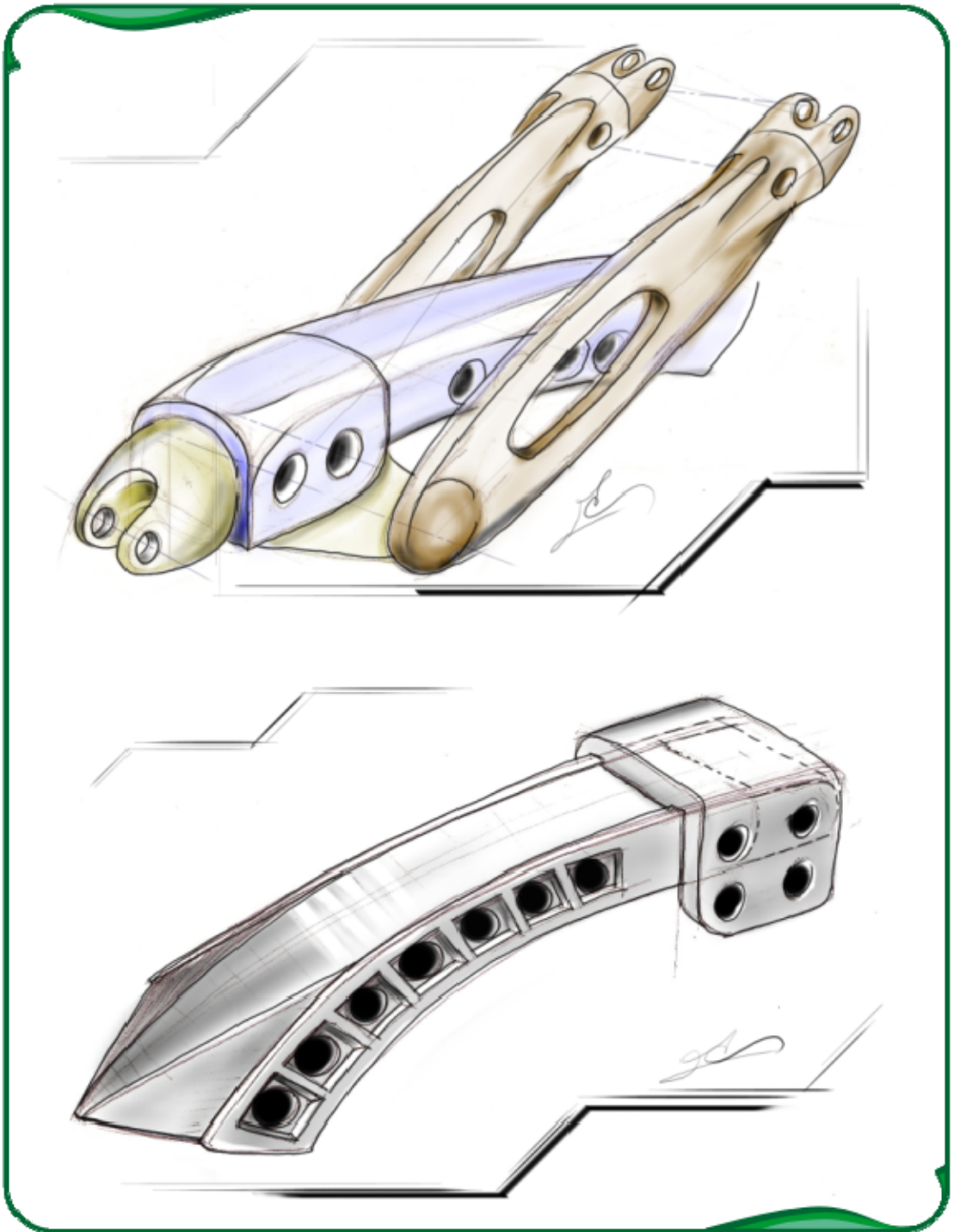
Fuente: Autor.



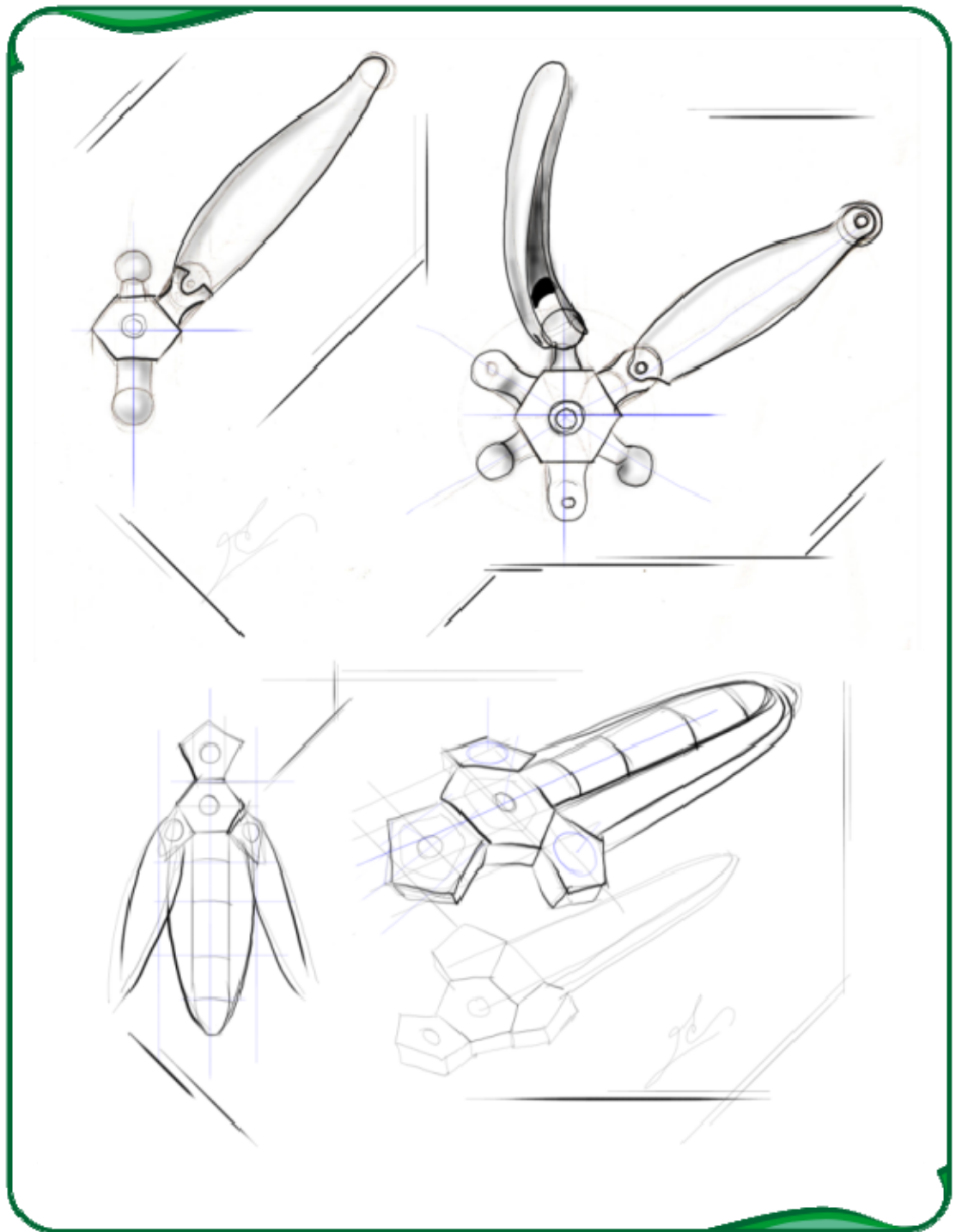
Fuente: Autor.



Fuente: Autor.



Fuente: Autor.



Fuente: Autor.

4.1.3 Selección del Módulo.

La selección de las alternativas en la lluvia de ideas se realizó por medio de una valoración dada, dispuestos estos valores en una tabla donde se confrontan en una matriz las opciones modulares, versus requerimientos de diseño, basados en el cumplimiento de los objetivos deseados de este proyecto.

4.1.3.1 Requerimientos.

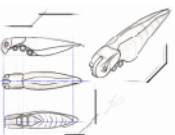

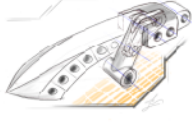
Definición de Requerimientos de diseño para la valoración del módulo, basados en los objetivos del proyecto:

- A: Valoración formal de los módulo.
- B: Correlación estética con el grillo.
- C: Valoración de su crecimiento tridimensional como modulo.
- D: Diferentes posibilidades de aplicaciones.
- E: Aspecto técnico productivo.

Escala de valoración para los requerimientos establecidos en la matriz de selección del módulo:

0 = nada 1 = leve 2 = medio 3 = bueno 4 = Excelente

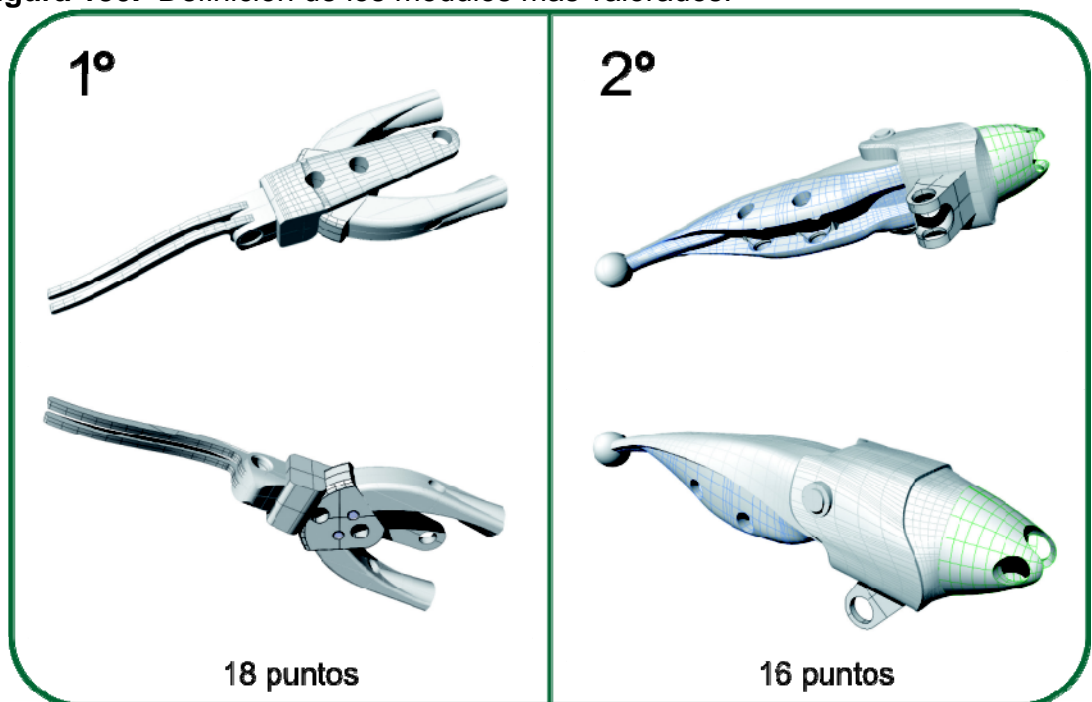
Tabla 5. Matriz para la valoración de la lluvia de ideas.

Alternativas	A	B	C	D	E	Total	Alternativas	A	B	C	D	E	Total
	2	1	2	1	3	9		2	1	4	3	2	12
	2	3	2	2	2	11		3	4	2	3	1	13
	1	1	2	2	1	7		2	2	3	2	2	11
	3	1	1	2	3	10		3	3	2	3	3	14
	2	2	2	2	3	11		4	4	4	3	3	18
	3	4	3	3	3	16		2	2	4	3	3	14
	2	2	3	2	3	12		2	3	3	2	1	11
	4	2	1	3	3	13		3	1	4	2	3	13
	2	3	2	2	1	10		2	3	2	2	2	11

Fuente: Autor.

Los resultados de la matriz con mayor puntuación y mostrada en la tabla de selección, clarifican el mejor cumplimiento integral de los requerimientos, de las siguientes dos alternativas las cuales se muestran en la Figura 130 con 18 puntos y 16 puntos de izquierda a derecha, puntos resultado de la suma en la valoración de ellos y ahora se muestran mejor definidas.

Figura 130. Definición de los módulos más valorados.



Fuente: Autor.

La más alta calificación de estas alternativas Fig. 130 (Derecha) es la seleccionada para Dimensionar y evolucionar en las siguientes etapas de la metodología utilizada en este proceso de biomimicry, termino último a nivel global referente a la biónica.

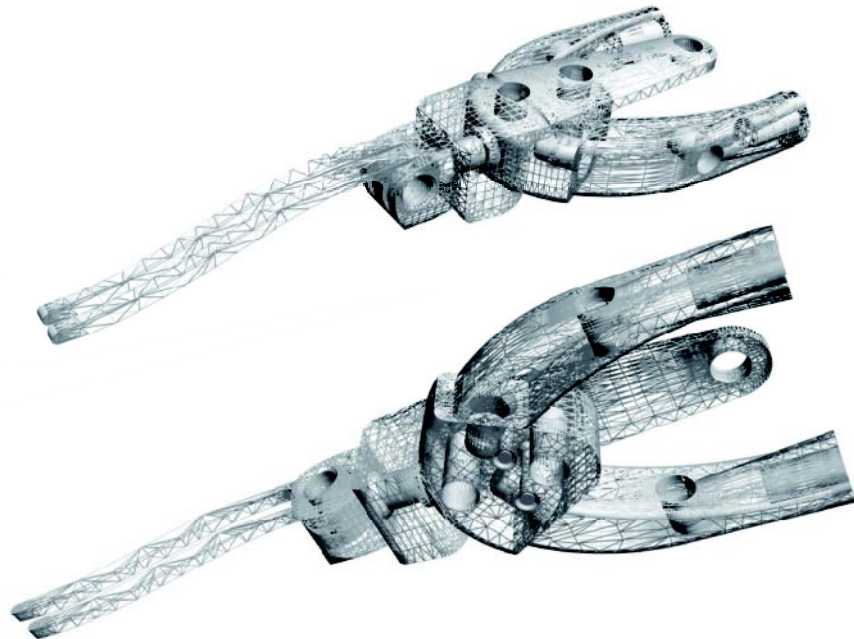
4.1.4 Dimensionar el Módulo.

La propuesta modular escogida de la cual partimos a mostrar su uso en diferentes posibles aplicaciones y que de ser necesario se requieren cambios según lo amerite su función, pueden variar las características como el material, composición de ensambles y escala de construcción.

Dimensionando una escala mínima del tamaño para la óptima conformación estructural de sus partes, logrando establecer un mínimo de un rango de uso de escala funcional. Enfrentando composiciones modulares desde este punto hasta el orden de tamaños superiores, encontraremos muchas más aplicaciones con este criterio de crecimiento modular.

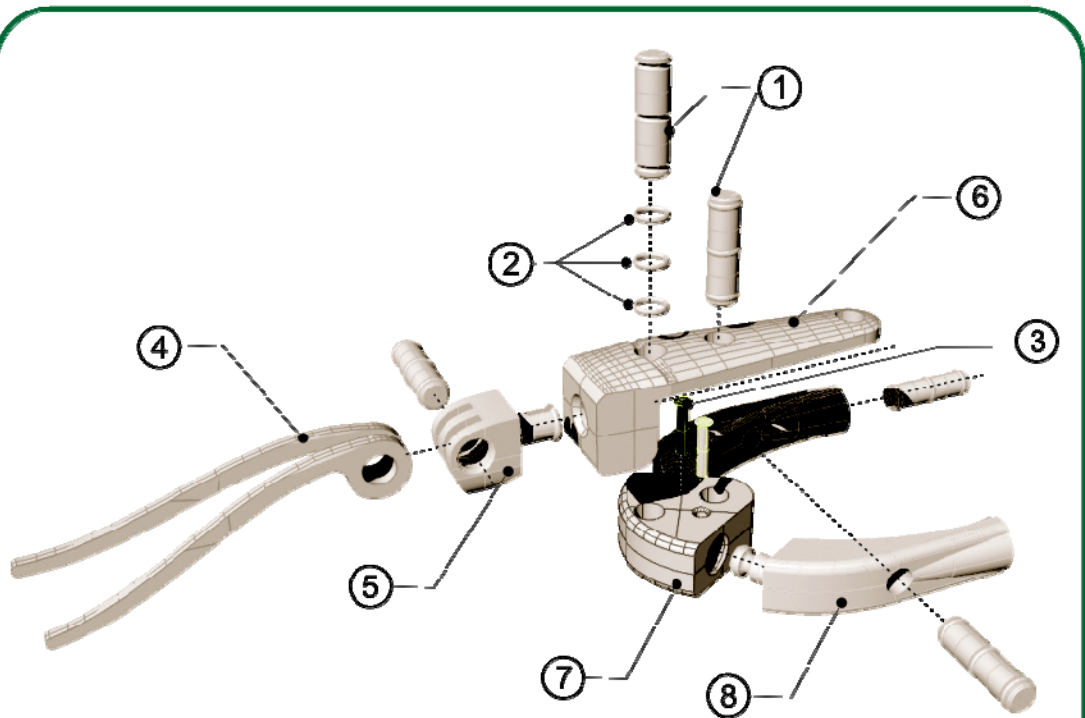
Se define a continuación una escala mínima Funcional del modelo y sus partes que lo conforman.

Figura 131. Estructura formal del modulo.



Fuente: Autor.

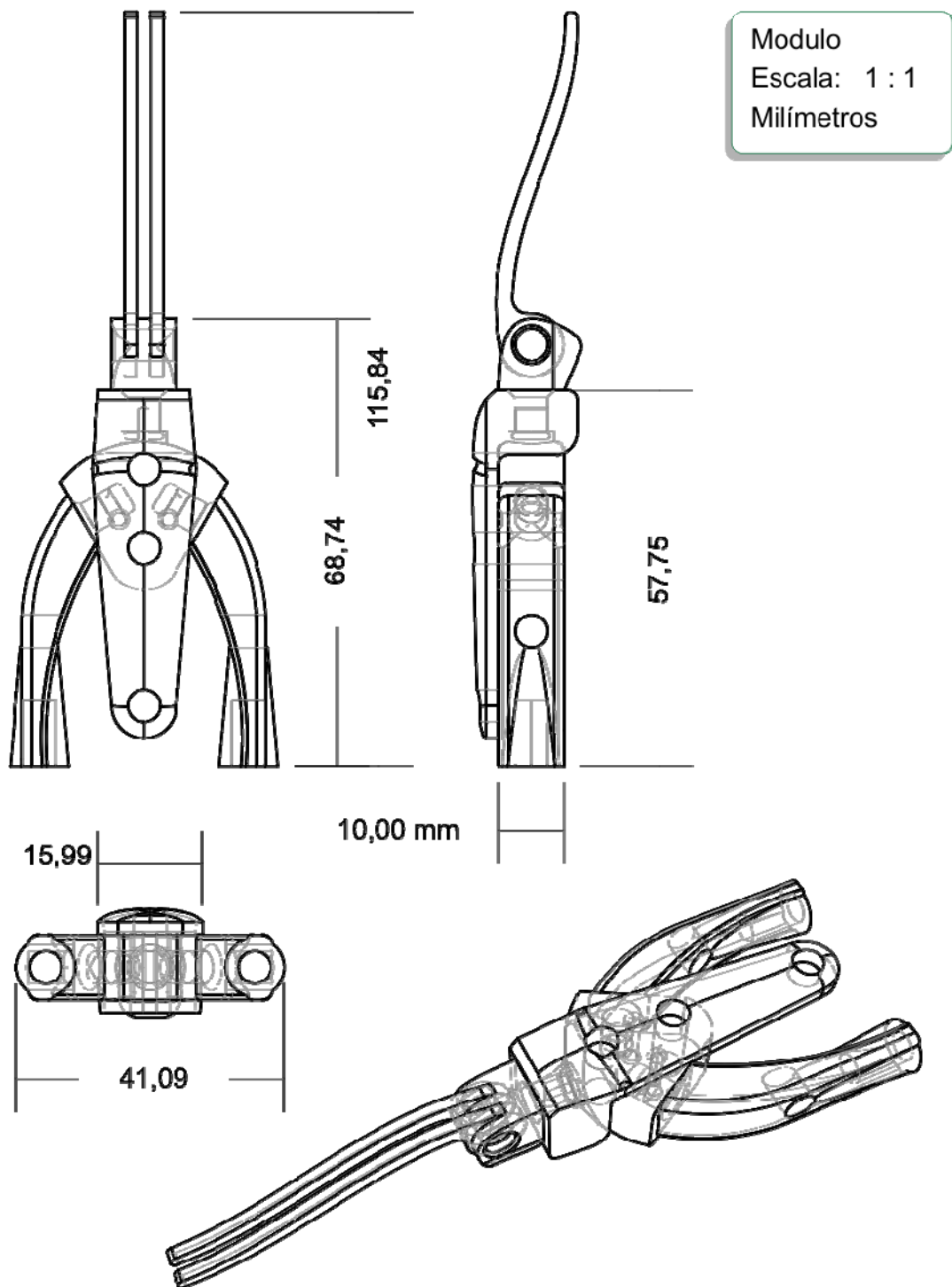
4.1.4.1 Despiece del Módulo.

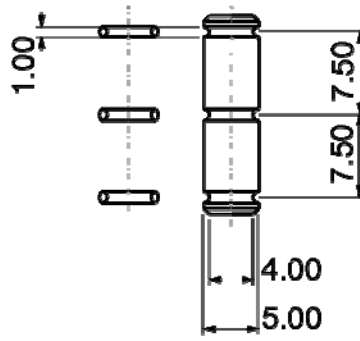
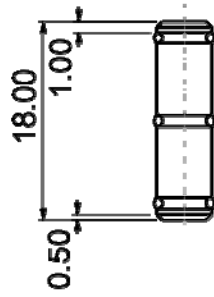
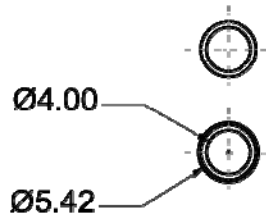


No.	Nombre del sub módulo	Cantidad por Módulo
1.	Ejes conectores	Min 2 , Máximo 8
2.	Empaques del eje conector	3 por eje
3.	Pin asegurador	2
4.	Antenas	2
5.	Cabeza	1
6.	Cuerpo	1
7.	Abdomen	1
8.	Pata	2

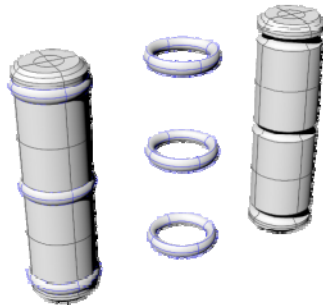
Fuente: Autor.

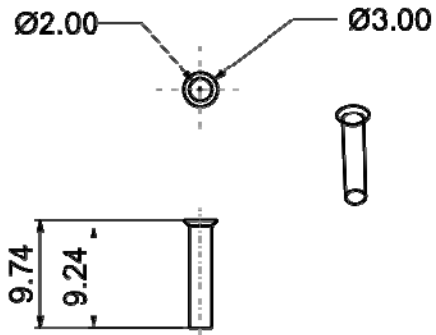
4.1.4.2 Planos técnicos del módulo.



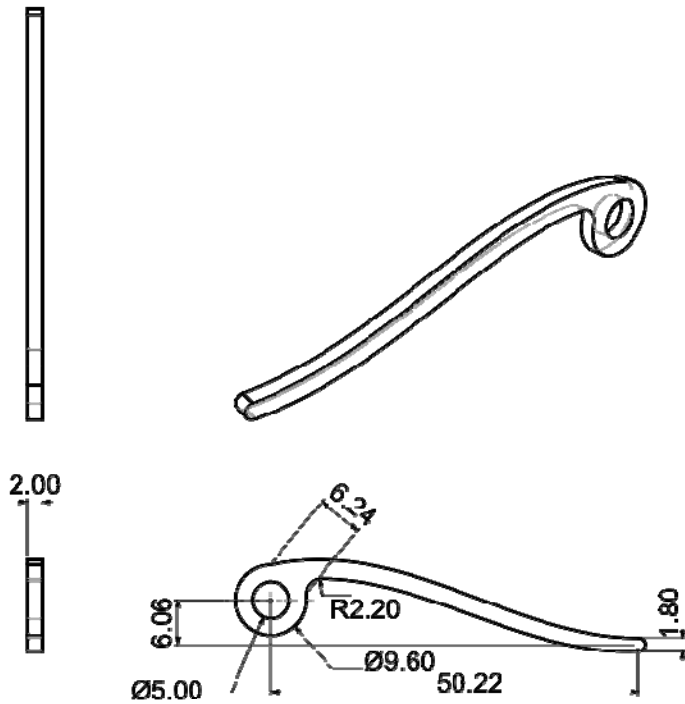


Eje conector
Escala: 1 : 1,5
Milímetros

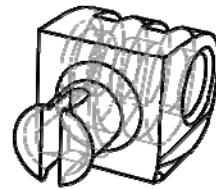
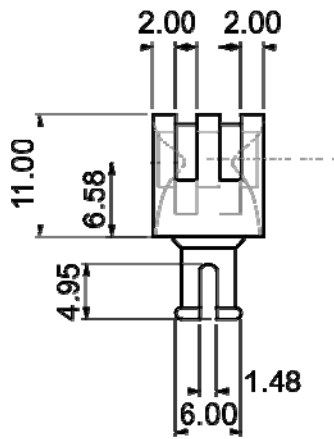




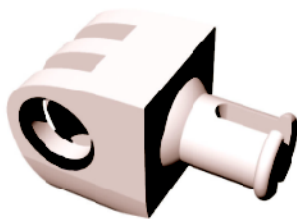
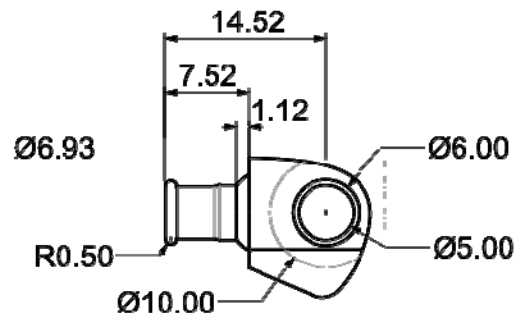
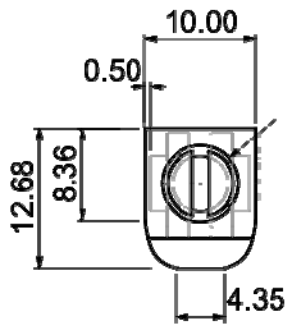
Pin asegurador
Escala: 1 : 1,5
Milímetros

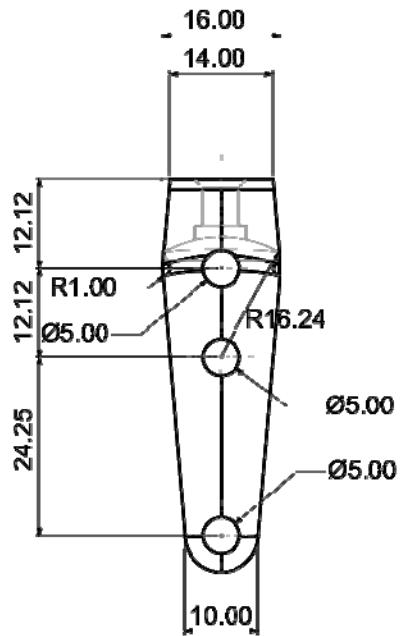


Antena
Escala: 1 : 1
Milímetros

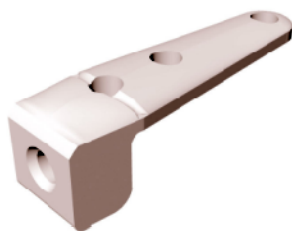
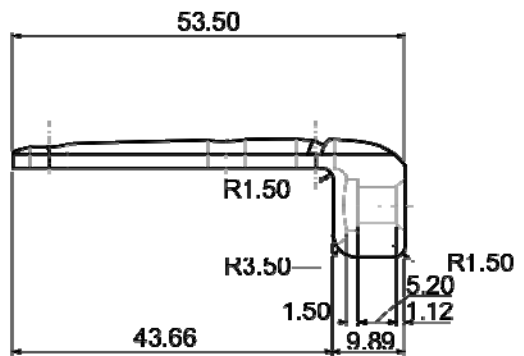
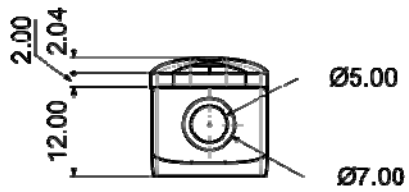
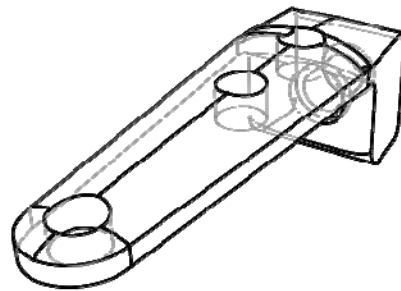


Cabeza
Escala: 1 : 1,5
Milímetros

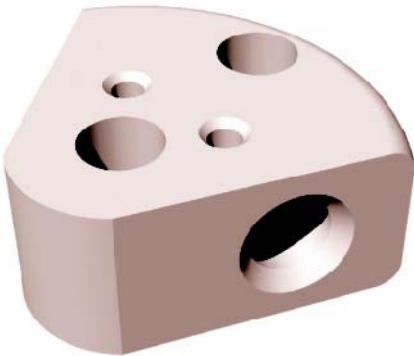
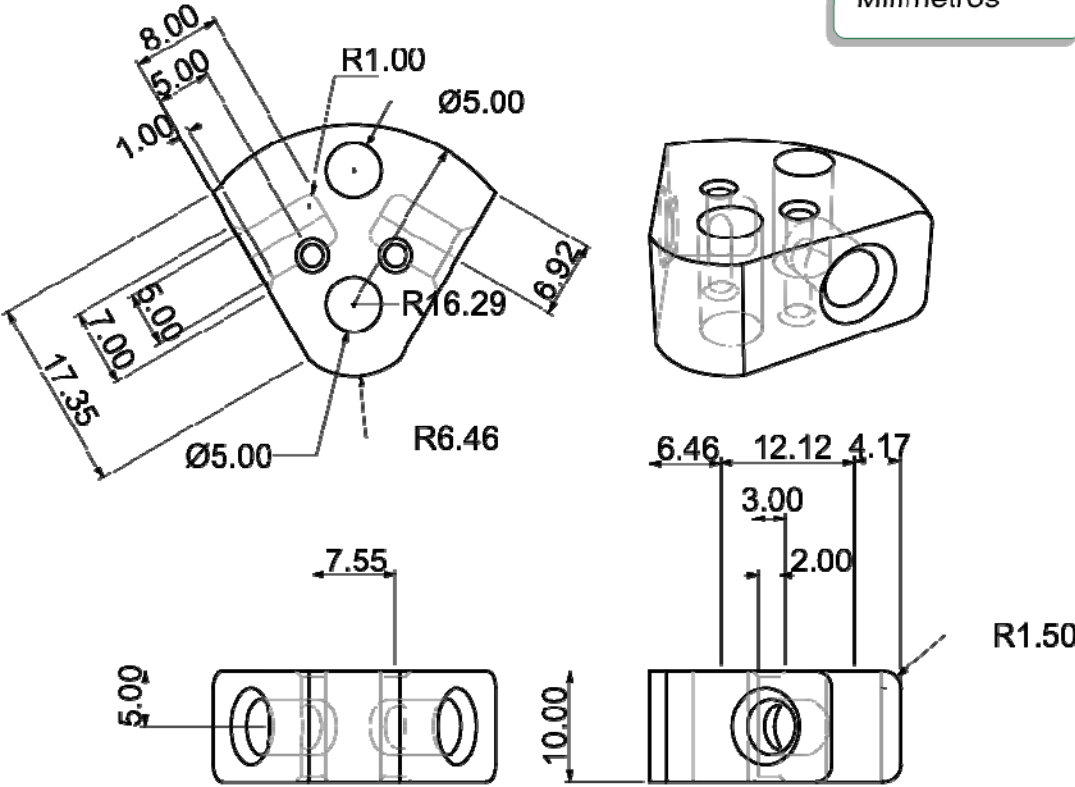




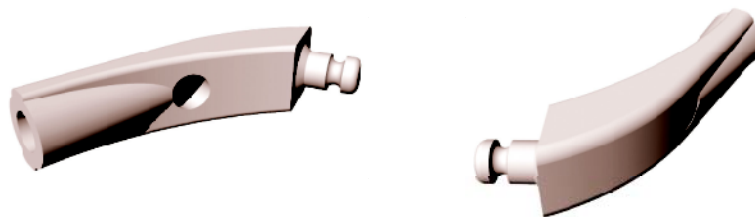
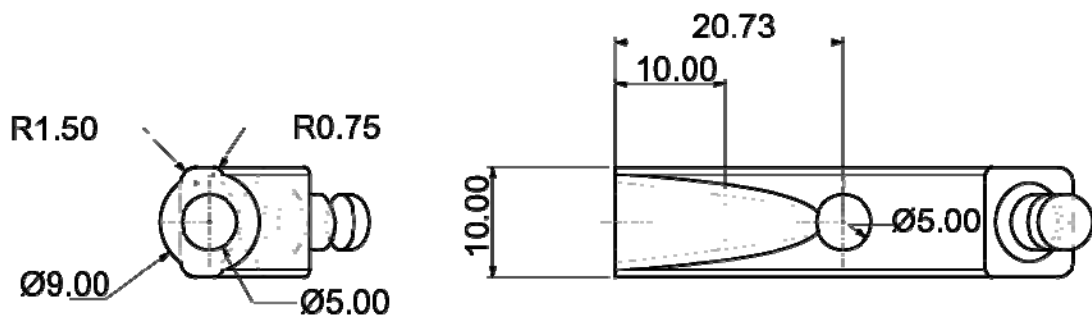
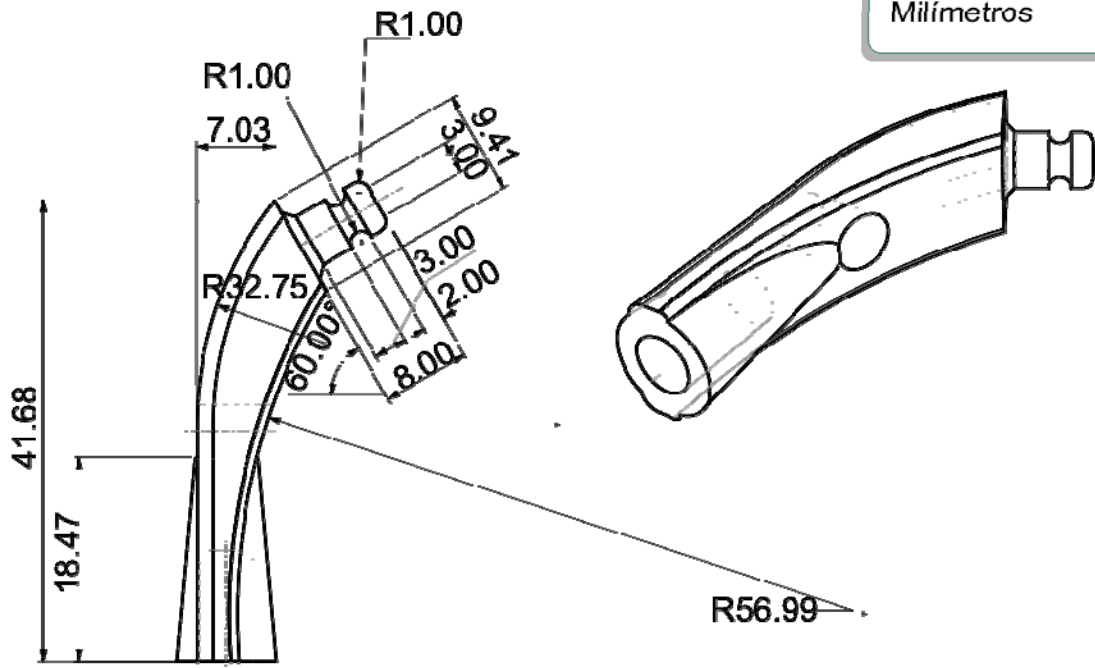
Cuerpo
Escala: 1 : 1
Milímetros



Abdomen
Escala: 1 : 1,5
Milímetros



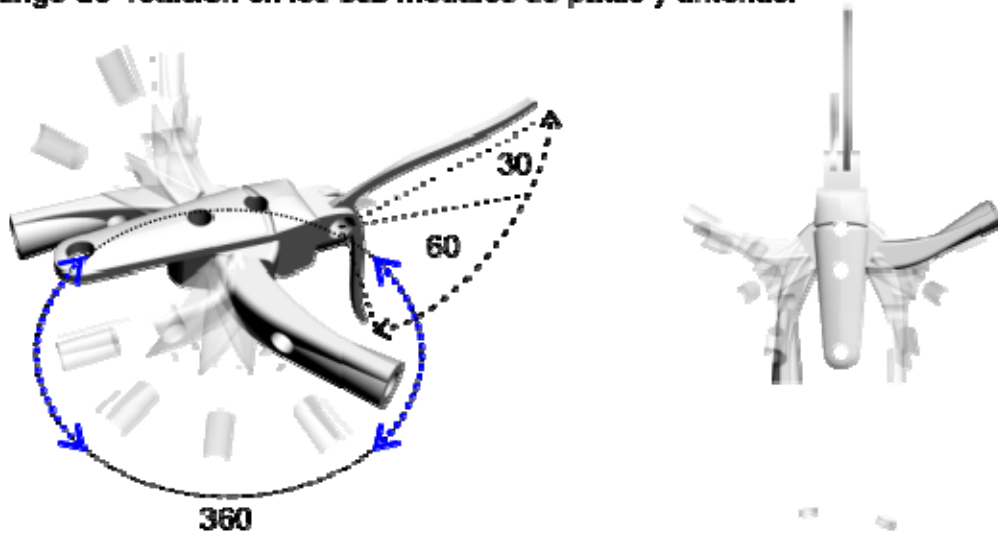
Pata
 Escala: 1 : 1,5
 Milímetros



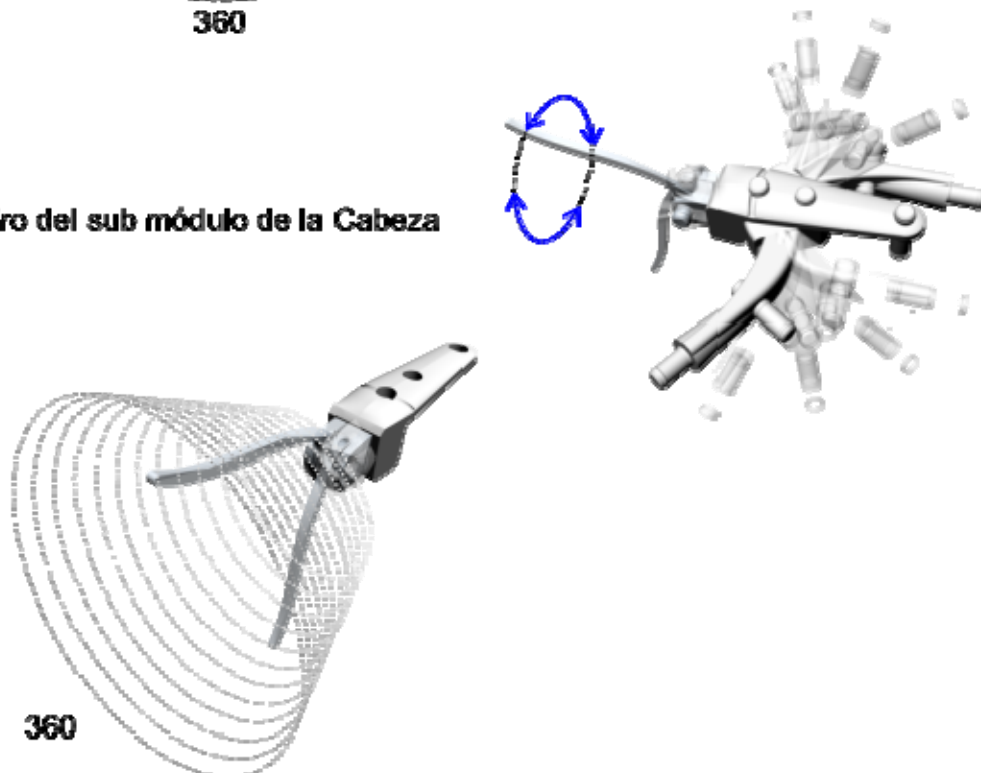
4.2 CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO EN EL ESPACIO.

4.2.1 Rango de posiciones en los elementos del módulo.

Rango de rotación en los sub módulos de patas y antenas.

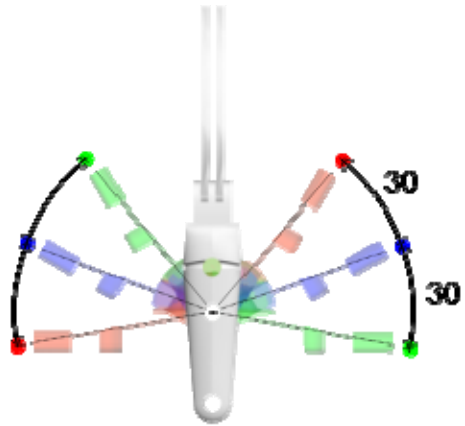


Giro del sub módulo de la Cabeza

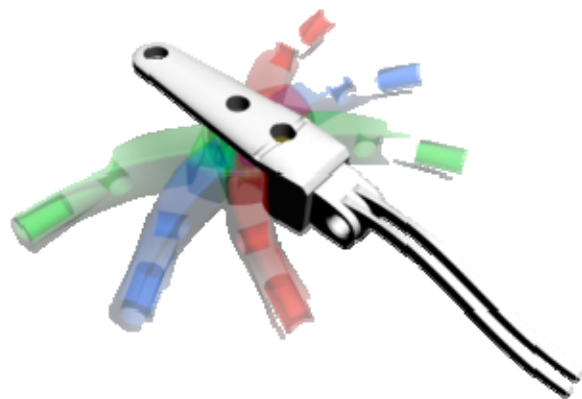


Fuente: Autor.

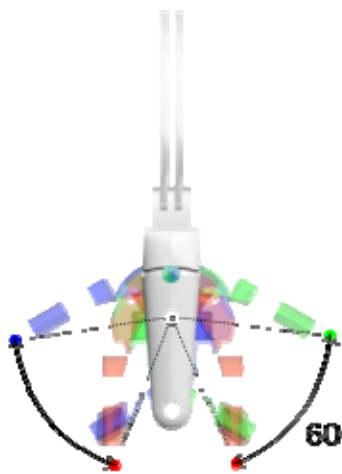
Con las patas hacia adelante



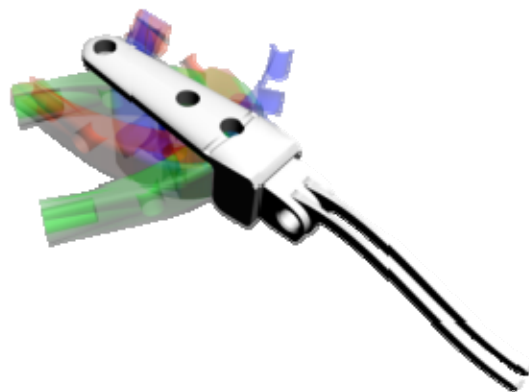
Rango angular de rotación



Con las patas hacia atrás



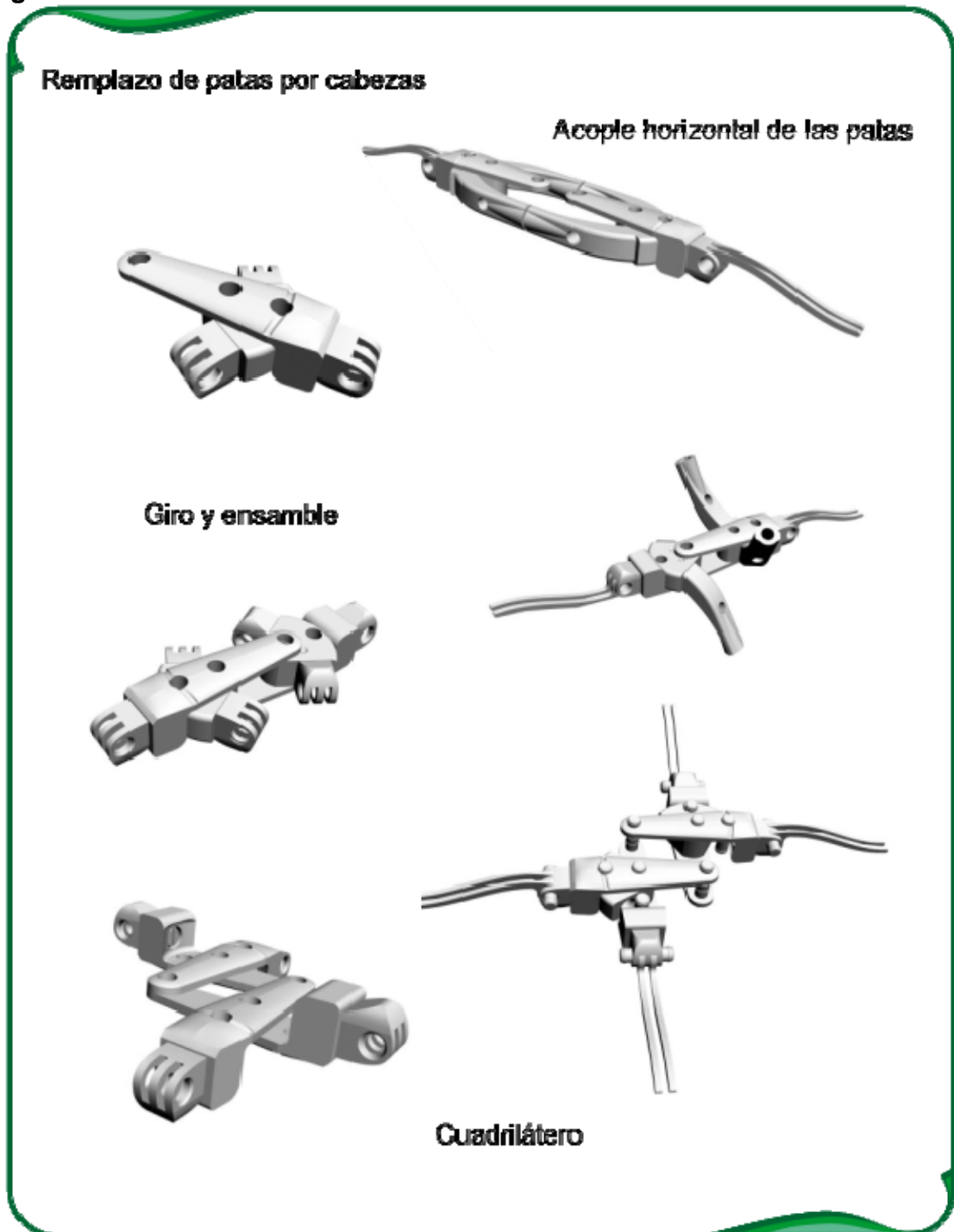
Rango angular de rotación



Fuente: Autor.

A continuación se muestra algunas posibles combinaciones de ensambles entre los elementos del módulo general.

Figura 132. Combinaciones de los sub-módulos.



Fuente: Autor.

Giro y ensamble



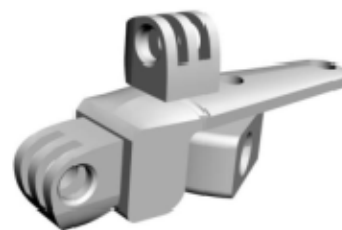
Rotación de patas



Modulo solo con patas y abdomen



Giro y ensamble



Fuente: Autor.



Radiación del módulo



Dirección alternada



Dirección alternada



Cambio del eje de ensamble



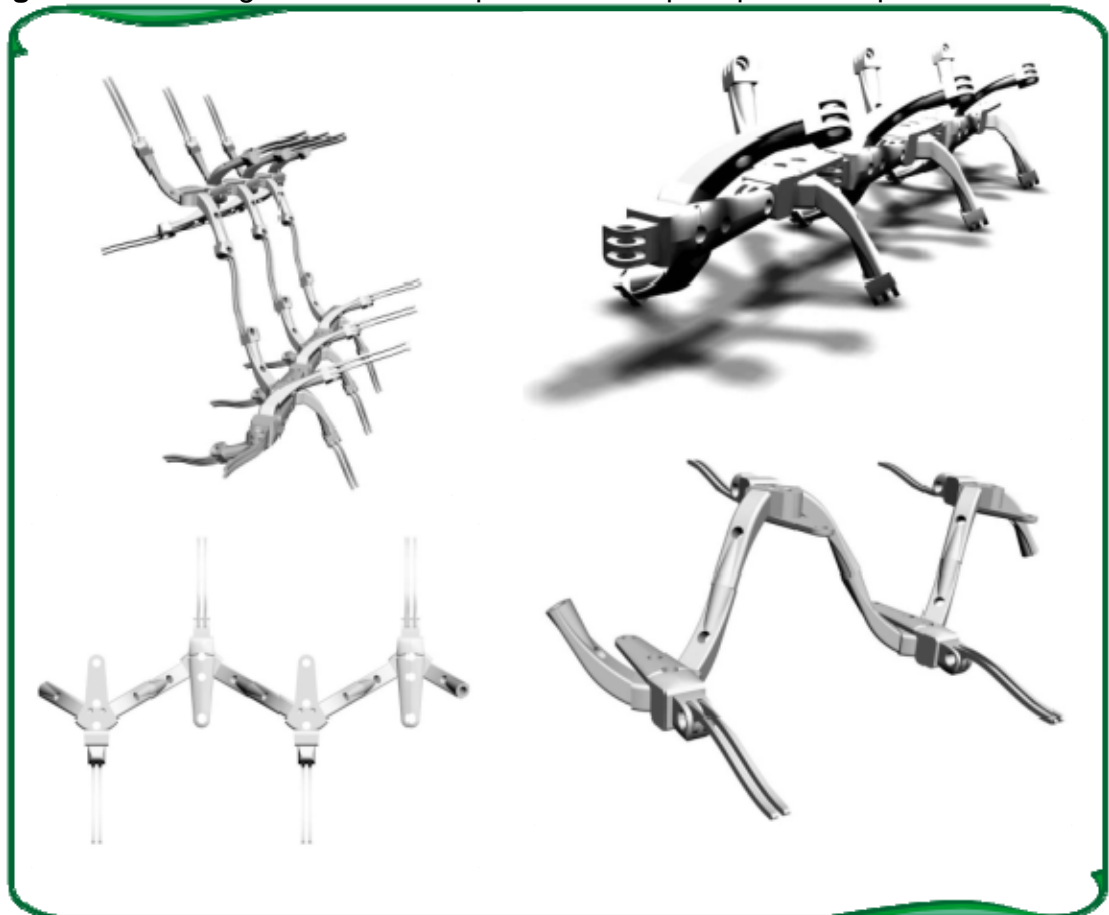
Fuente: Autor.

Dentro de una amplia variedad de combinaciones que se pueden realizar a los elementos pertenecientes al módulo, mostrados algunos casos de ellos en la (Fig. 132) establecen la base para la generación de súper módulos a partir de estas combinaciones.

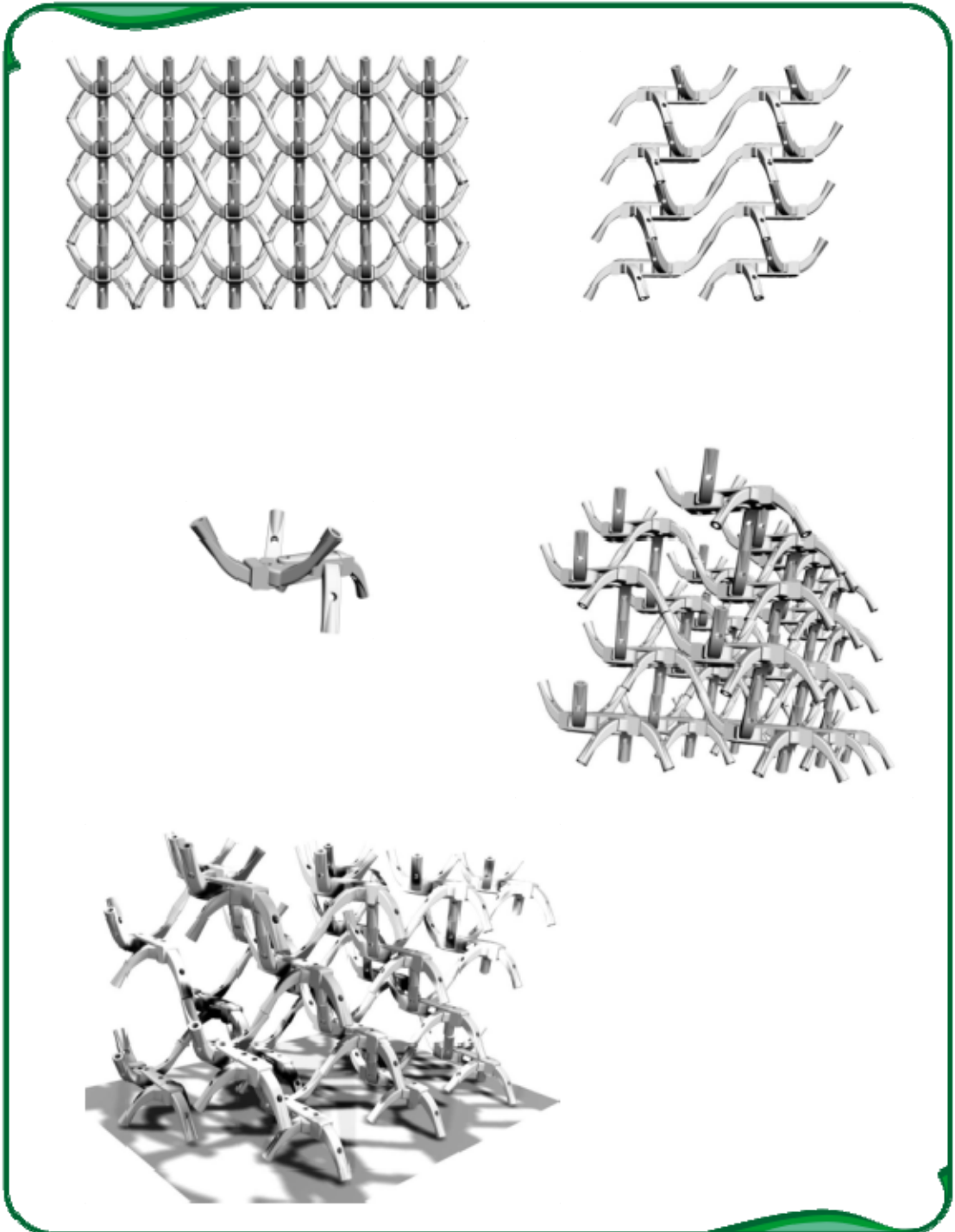
Se demuestra a continuación lo versátil en su conformación y el manejo de fichas modulares muy eficientes para armar estructuras y formas analógicas al grillo.

El manejo de algunos tipos de conectores y uniones puede variar según la necesidad hacia donde valla cada propuesta, así mismo el tamaño y el material más acorde a la aplicación.

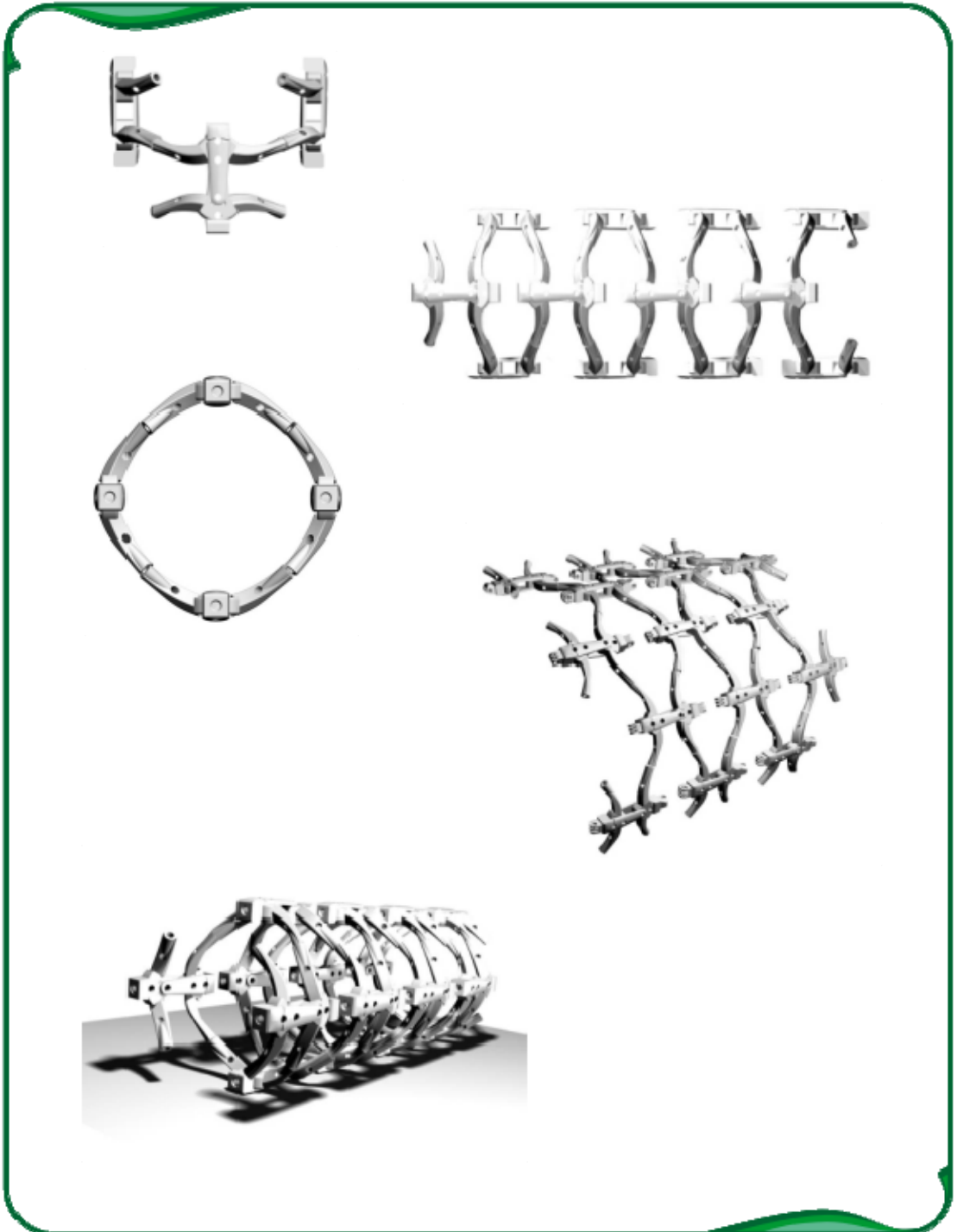
Figura 133. Configuraciones de súper- módulos para posibles aplicaciones.



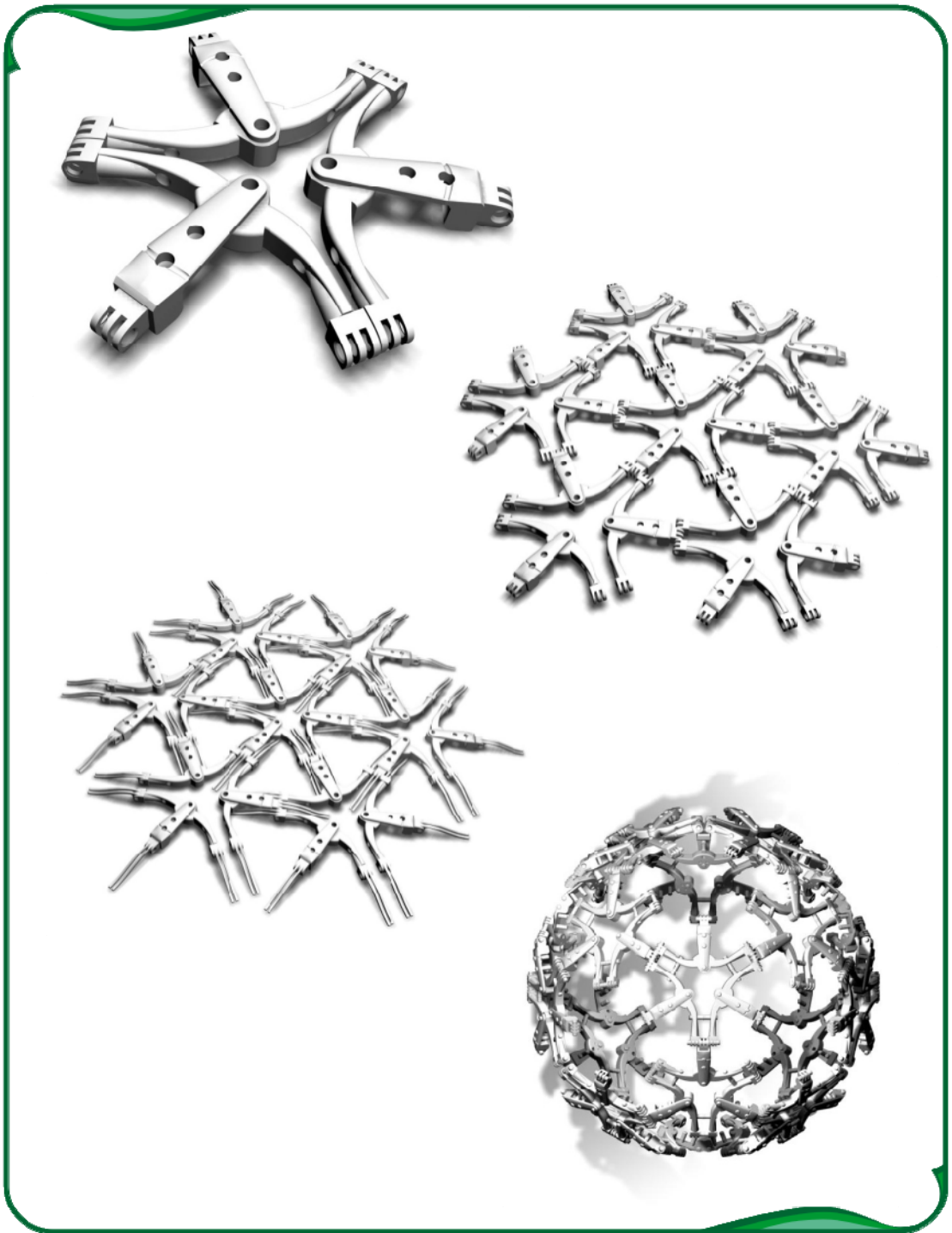
Fuente: Autor.



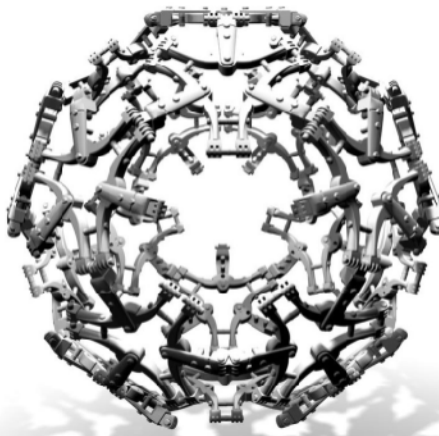
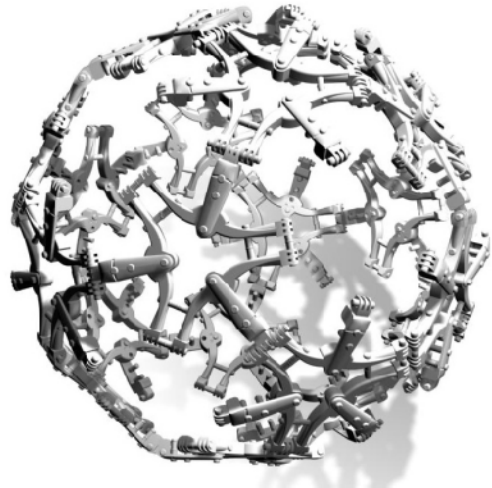
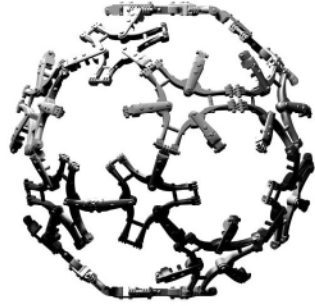
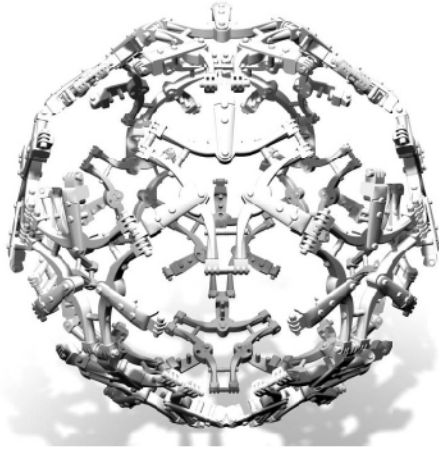
Fuente: Autor.



Fuente: Autor.



Fuente: Autor.



Fuente: Autor.

4.2.2 Aplicaciones posibles del módulo.

Se interpretan las diferentes combinaciones modulares para poder obtener un acercamiento a los diferentes campos de aplicación y por medio de un análisis virtual demostrar las posibilidades del módulo.

Figura 134. Aplicación modular de una torre de telecomunicaciones.



Fuente:

Autor.

Figura 135. Aplicación modular de un domo.



Construcción modular de vivienda, refugio, invernadero o coliseo

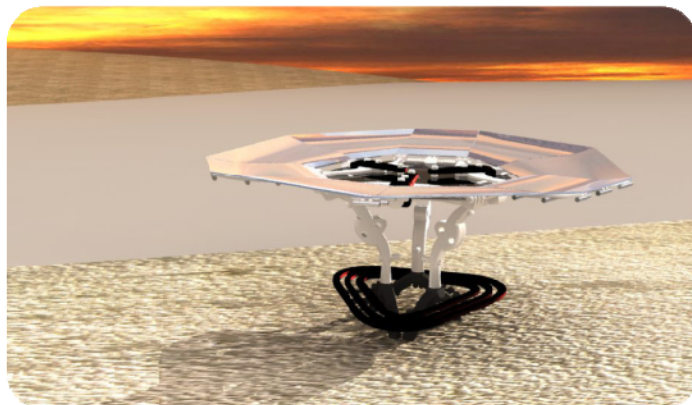


Fuente: Autor.

Figura 136. Aplicación modular de un parasol.



Construcción modular para uso urbano y en exteriores.



En parques, paraderos de bus y estaderos públicos.



Fuente: Autor.

Siendo esta la base de posibles aplicaciones en diferentes campos, se enfatiza en la necesidad de retomar como tema de otro proyecto y profundizar en las diferentes aplicaciones posibles, ampliando el conocimiento de esta línea investigativa de la biónica. Teniendo en cuenta el manejo de escalas, tipos de ensambles accesorios adicionales y materiales diferentes para cada caso en particular, en donde el análisis debe ser más detallado dependiendo de cada situación. Se deja abierto el estudio a cada una de las aplicaciones como base de futuros proyectos del diseño y la biónica.

5 PROCESO TECNICO PRODUCTIVO

5.1 ENFOQUE CONSTRUCTIVO DADO AL MÓDULO.

El módulo a construir está enfocado como un modelo funcional de un conjunto de partes que se interrelacionan como parte de un proceso lúdico, lo que lo connota en el rango de los juego de motricidad fina y razonamiento espacial.

Dadas las características practicas de construcción y el tamaño relacionado a la motricidad fina se desarrolla en el contexto de la mínima escala Funcional, que con anterioridad esta especificada en los planos técnicos.

5.1.1 Construcción del modelo funcional.

La técnica seleccionada para la elaboración del modelo funcional de acuerdo a las exigencias de la forma y la más idónea en una pieza que podría ser inyecta en plástico, pero que por sus costos solo es viable a una escala de producción muy grande. Es por eso que la inyección y micro fusión es la mejor opción para la fabricación del módulo y a menor escala de producción.

El proceso de micro fusión es alta mente utilizado en la fabricación de joyas con excelentes acabados y metales diferentes como el oro, la plata, el cobre, latón, y bronce. El término de micro fusión se refiere a una técnica elaborada en el área de la joyería y que tiene grandes ventajas en el manejo y procesamiento de diseños hechos en metales preciosos. Es indispensable conocer a perfección la técnica con todos sus pasos, herramientas y materias primas para poder conseguir un buen acabado en la fundición.

La perfección en la manufactura de piezas por este método nos muestra la conjugación de muchas variables como la experiencia, la habilidad artística, y un proceso ordenado y adecuado,

5.1.1.1 Herramientas utilizadas.

Bisturí:

Nos permite cortar los diferentes cauchos. Con diferentes cuchillas para diferentes cortes, también en la talla de la cera.

Buriles:

Para lograr formas especiales en la cera, tallándola con facilidad.

Cercos o marcos:

Para enmarcar las gomas que van a conformar el caucho. Son de diferentes tamaños y de aluminio.

Limas:

Herramienta de mano para hacer desbastes y acabados en la superficie del metal o la cera.

Calibrador y compas de precisión:

Elementos usados en la estructuración de las formas técnicas del diseño y su medición.

Cilindros:

Son tubos huecos de acero refractario, en los que se vacía la masa del revestimiento con el árbol de cera colocado en su interior.

Gomas del cilindro:

Sirven de tapa para la base del cilindro. En su centro interior esta tapa tiene una saliente de goma con forma cónica y un agujero en su centro para sujetar el vástago del árbol. Esta parte se denomina macerota.

Laminas planas para los cercos:

Se utilizan para que el molde de caucho no se deforme ni se abra cuando se haga la inyección de la cera.

Crisoles para fundición:

Son cazoletas que sirven para fundir en ellas los metales. Son de material refractario y en su interior tiene una boca de vaciado. Es indispensable curarlo antes de usarlo, calentándolo con bórax.

Probetas:

Se emplean para medir el agua necesaria que ha de mezclarse con el polvo o escayola del revestimiento con bórax.

Prensa de ajuste:

Sirve para sujetar el caucho que hemos de cortar con el bisturí.

Pistola de agua:

Se utiliza para quitar el revestimiento de las piezas ya fundidas, con mayor presión mejor resultado.

Marco y seguetas.

Para el corte de la cera y el metal. Al inicio de tallas y al desarmar el árbol ya fundido.

Horno:

Cuarto utilizado para la fundición de la cera y los metales. Varía su temperatura según la necesidad.

Vacuo:

Maquina que sirve para extraer las burbujas de aire en el yeso antes de fraguar.

Centrifuga:

Estructura giratoria en la cual se vacía el metal fundido en el crisol y por medio de la aceleración este penetra en el cilindro de yeso para ocupar con fuerza los espacios vacíos.

Inyectora de cera:

Contenedor de cera que en su estado de funcionamiento está a una presión y temperatura moderadamente alta y que por medio de una válvula se inyectan manualmente los cauchos para su copia.

Vulcanizadora:

Usado para endurecer el caucho embutido en los marcos de aluminio donde está el prototipo a sacarle molde, consta de un sistema de prensas con dos superficies paralelas que se calientan.

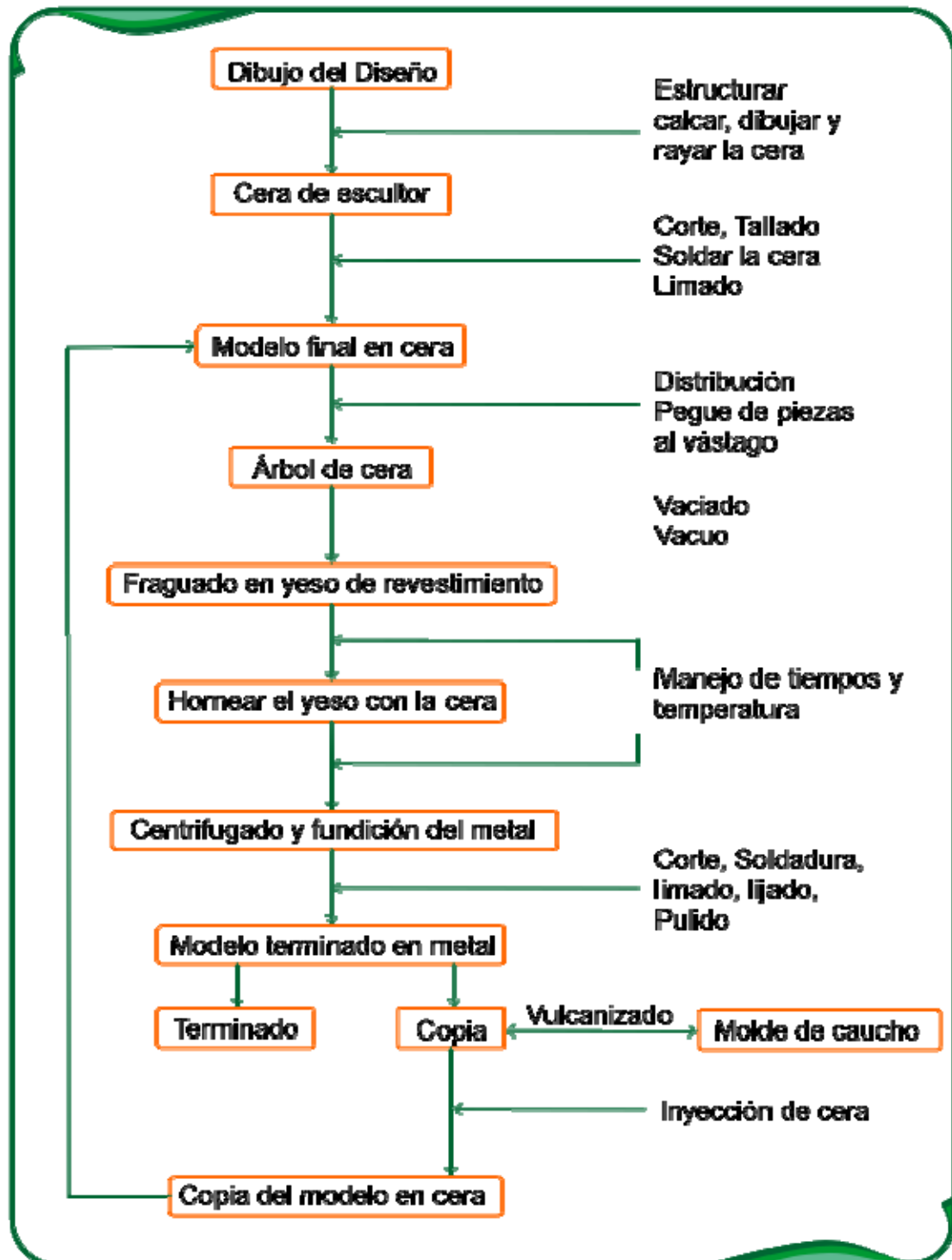
Lápiz soldador de cera:

Utilizado para unir, rellenar y crear formas en la cera, por medio de una punta con forma determinada y una resistencia con un potenciómetro para regular la temperatura.

Motor tool (Foredon):

Especie de taladro con mejor y mayor control de velocidad, utilizado con herramientas cortantes como fresas y brocas sobre la cera o el metal. Es un elemento importante para procesos de joyería.

5.1.1.2 Diagrama del proceso utilizado para la fabricación.



Fuente:Autor.

Figura 137. Proceso de tallado y soldado del modulo.



Relleno de algunos poros en la cera



Soldar con la cera



Tallado y delineado en la cera

Fuente: Autor.

Figura 138. Piezas talladas en cera.



Cabeza

Antena



Pata

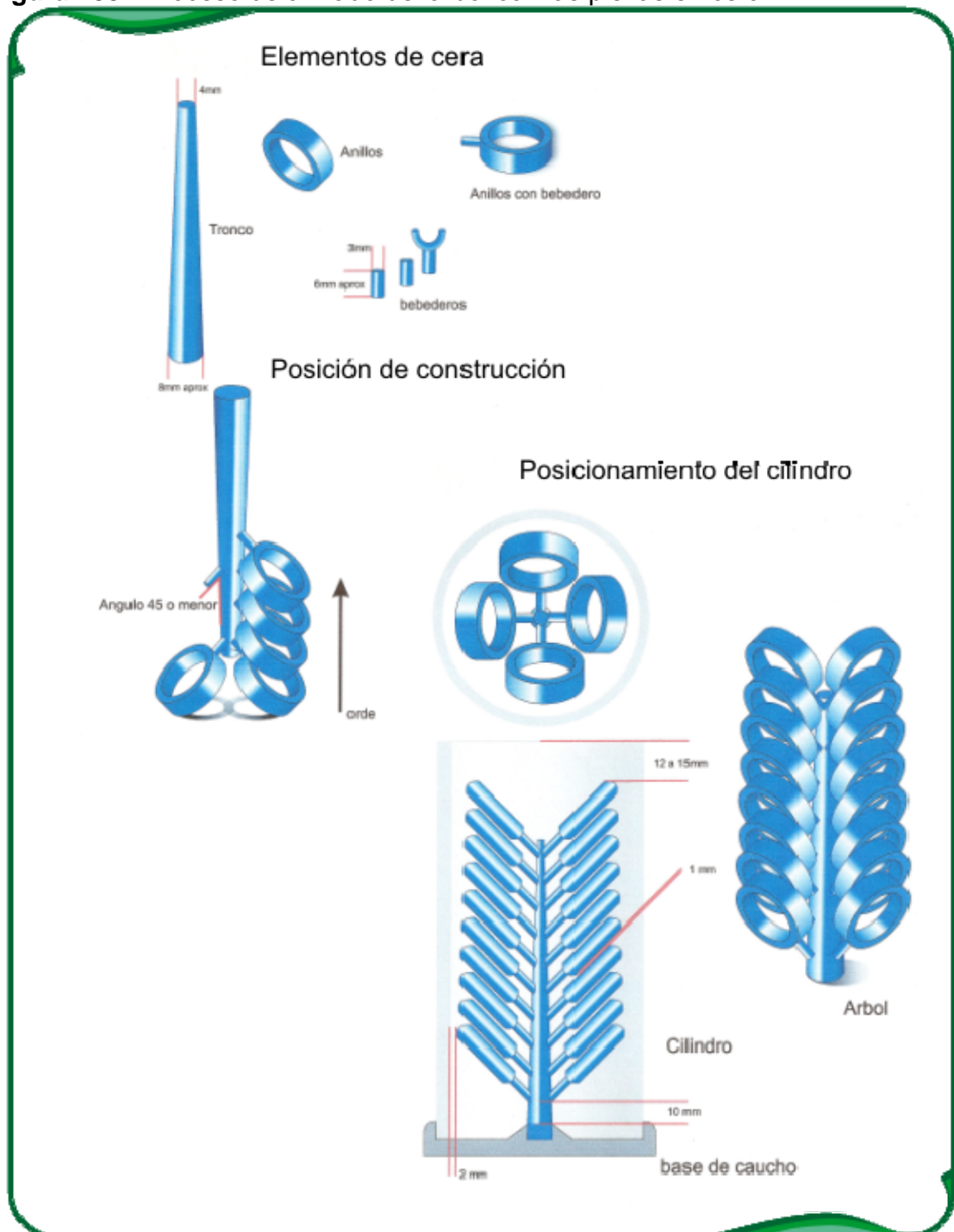
Abdomen



Cuerpo

Fuente: Autor.

Figura 139. Proceso de armado del árbol con las piezas en cera.



Fuente: Autor.

Figura 140. Piezas del módulo en cera y en conjunto.



Despiece de las partes en cera



Ensamble primario de las partes en cera

Fuente: Autor.

Figura 141. Fundición del las piezas modulares.



Resultado de la fundición del árbol



Corte de las piezas ya hechas en metal del árbol

Fuente: Autor.

Figura 142. Modulo completo.



Fuente: Autor.

5.1.2 Proceso para fabricación a gran escala.

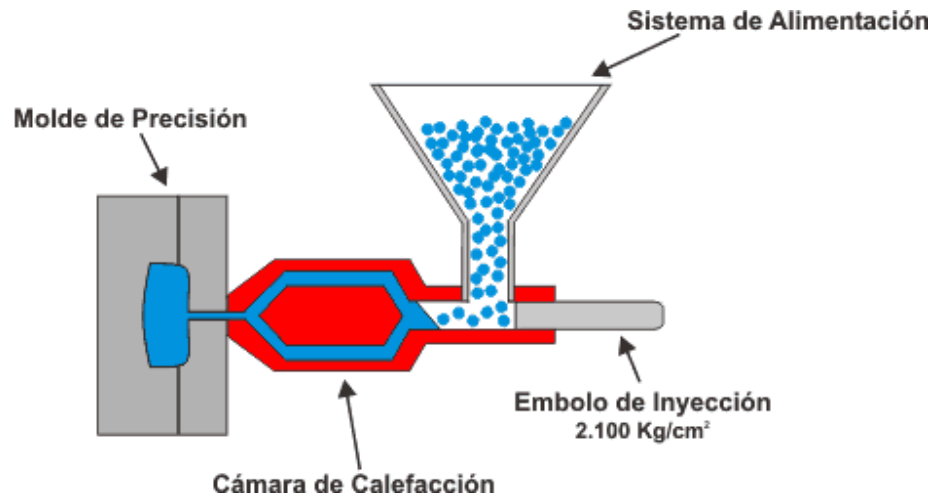
En el campo industrial los métodos de producción masiva están enmarcados en la inversión de grandes capitales lo que hace de esta alternativa de proceso un planteamiento idóneo y supuesto en un entorno real de producción.

Para efectos de este proyecto se propone un proceso similar al utilizado en el modelo funcional, El moldeo por inyección de un termoplástico en matrices de moldes hechos en metal y con una maquina inyectora especializada en este proceso, es el método más idóneo en la fabricación de esta modulo.

Moldeo por inyección:

Un émbolo o pistón de inyección se mueve rápidamente hacia adelante y hacia atrás para empujar el plástico ablandado por el calor a través del espacio existente entre las paredes del cilindro y una pieza recalentada y situada en el centro de aquél. Esta pieza central se emplea, dada la pequeña conductividad térmica de los plásticos, de forma que la superficie de calefacción del cilindro es grande y el espesor de la capa plástica calentada es pequeño. Bajo la acción combinada del calor y la presión ejercida por el pistón de inyección, el polímero es lo bastante fluido como para llegar al molde frío donde toma forma la pieza en cuestión. El polímero estará lo suficiente fluido como para llenar el molde frío. Pasado un tiempo breve dentro del molde cerrado, el plástico solidifica, el molde se abre y la pieza es removida. El ritmo de producción es muy rápido, de escasos segundos.

Figura 143. Diagrama de Moldeo por inyección con polímeros.



Fuente: www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado.

6 CONCLUSIONES

Las expresiones naturales, aparentemente espontaneas de las formas en seres vivos, llevan entre sus orígenes un lenguaje grafico muy sutil pero lógico, donde la interrelación de formas señalan un mismo e innegable manejo matemático desde el punto de vista de las proporciones y el dinamismo en del cuerpo, guardar los factores de crecimiento y función, siempre guiados por la constante armónica presente en cada uno de estos seres.

Es importante destacar que por medio del análisis de elementos de la naturaleza y su proceso de interpolación a nuestras necesidades se encuentren las soluciones, que de alguna forma la naturaleza logra en el transcurso de los miles de años con la evolución. Son las condiciones en estados de máxima lucha las que provocan el desarrollo de nuevos cambio siempre buscando la solución al principal problema que es el de sobrevivir y reproducirse con éxito.

Las características de cada especie son únicas y son un conjunto de expresiones formales y funcionales, de las que se desarrolla en nuestra mente un concepto de identificación irrepitable y propia a él mismo. Aspectos básicos encontrados en el grillo determinan la expresión grafica esencial para reconocer la identidad del grillo. Las características particulares del grillo se ven como elementos suficientes para el uso de ellos en diferentes áreas de aplicación.

El manejo del diseño modular es una estrategia comprobada, efectiva a la hora de encontrar más posibilidades de aplicación desde su concepción y observación con un grado muy eficiente de aplicaciones varias. La riqueza que existe en el juego de las cinco piezas es el resultado tangible de la interrelación eficiente en este estudio, donde las formas observadas son sintetizadas en líneas y volúmenes en una composición equilibrada de la identidad aplicable del grillo en un producto versátil.

Se ve con claridad las proporciones del grillo halladas en observación y medición, identificando las cuatro principales. Proporción aurea, relación de medios, relación de dos tercios y por ultimo de tres cuartos. Medidas armónicas conocida ya en varios hechos aplicados de la naturaleza y matemáticas con secuencias infinitas de cómo la descrita por Leonardo Fibonacci.

En el desarrollo del proyecto se logra evidenciar las estrategias de registro necesarias en su observación. El acercamiento al grillo requirió un tipo de laboratorio con grillos en estado controlado para su fácil observación desde el nivel fotográfico detallado y especializado a nivel de macros de calidad alta. El

video del funcionamiento del grillo y su comportamiento para registrar eventos dinámicos como el salto, el vuelo corto, marcha lenta y rápida. Todo lo anterior debida mente comparado con la teoría existen de ellos, para la ayuda de soluciones proyectuales,

Dentro del proceso desarrollado en este proyecto se identifico como clave la observación desde el punto de vista pasivo y deductivo, como lo hacen en su mayoría las ramas de la investigación.

7 BIBLIOGRAFIA

ALEXANDER, R. The quarety review off biology .s.p.i. s.l. 1968

CHAPMAN, R. F. The insects structure and function. Ed. II. Elsevier. New York 1979.

GUEVARA MELO, Eduardo Serafín. Coherencia Formal. Publicaciones UIS. 1995.

MÁRQUEZ D. Antonio & CORONADO P. Ricardo. Introducción a la entomología, morfología y taxonomía de los insectos. Ed. I. LIMUSA. México, 1976.

NIETO NAFRIA, J.M. y MIER DURANTE, M.P. *Tratado de entomología*. 1985. Ediciones Omega. Barcelona.

OSUNA, A. E. Morfología del exoesqueleto de los insectos. Universidad Central de Venezuela, consejo de desarrollo Científico y humanístico, Caracas, 1995.

SNODGRASS, R. E.. Principles of insect morphology. McGraw-Hill, New York, 1935.

WIGGLESWORTH, V. B. The principles of insect physiology. Ed. VII. Editorial Butles ans Tanner ltd., Londres, 1972

WONG, Wucius. Fundamentos del Diseño 5Ed. Barcelona. Editorial G.G.S.A..2002

CONSULTAS DE INTERNET

Disponible en Internet: www.bullfrogfilms.com/catalog/bmic1.html

Disponible en Internet: www.arturosoria.com/eprofecias/art/bionica.asp

Disponible en Internet: www.innovaforum.com/tecnica/bionica_e.htm

Disponible en Internet: www.educacionplastica.net/MenuEstrTri.htm