

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE UNIÓN OCULTO EN
TABLEROS DE BASE CELULÓSICA**

VANESSA JULIANA PEDRAZA BENAVIDES

JOSE DANIEL ROMÁN COTE

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS**

ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL

BUCARAMANGA

2015

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE UNIÓN OCULTO EN
TABLEROS DE BASE CELULÓSICA**

VANESSA JULIANA PEDRAZA BENAVIDES

JOSE DANIEL ROMÁN COTE

**Trabajo de Grado para optar al título de
Diseñador Industrial**

Director

GERMÁN A. DÍAZ RAMÍREZ

Diseñador Industrial

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS**

ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL

BUCARAMANGA

2015

CONTENIDO

	Pág.
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	21
1.1 TÍTULO.....	21
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	23
1.4 OBJETIVO GENERAL	24
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
1.6 GRADO DE INNOVACIÓN	24
1.7 ALCANCES	25
2. MARCO TEÓRICO	25
2.1 MOBILIARIO MODULAR	25
2.2 MOBILIARIO RTA Y MODELO DIY	27
2.3 SISTEMAS DE UNIÓN PARA TABLEROS.....	29
2.4 SISTEMAS TRADICIONALES DE UNIÓN.....	31
2.5 HERRAJES DE UNIÓN	31
2.6 MATERIAS PRIMAS PARA MOBILIARIO MODULAR	32
3. METODOLOGÍA PROYECTUAL	35
3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE (DFMA).....	36
3.2 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS.....	36
3.3 INGENIERÍA DE MÉTODOS Y TIEMPOS	37

3.4 PROPUESTA METODOLÓGICA.....	38
3.4.1 Etapa de investigación	39
3.4.2 Etapa de generación de conceptos	40
3.4.3 Etapa de fabricación	40
3.4.4 Etapa de comprobaciones	42
4. ETAPA DE INVESTIGACIÓN	42
4.1 ESTADO DEL ARTE.....	42
4.1.1 SISTEMAS DE UNIÓN	43
4.1.1.1 Sistema de perno y excéntrica (minifix).....	43
4.1.1.2 Sistema con perno “parafuso”	46
4.1.1.3 Ensamblajes artesanales tradicionales	47
4.1.2 MARCAS Y PRODUCTOS INTERNACIONALES	52
4.1.2.1 LAMELLO	52
4.1.2.2 SHERPA connection systems gmbh	55
4.2 ENSAYOS MECÁNICOS	57
4.2.1 MATERIAL Y DISEÑO DE LAS PROBETAS	58
4.2.1.1 Tablero de base celulósica	58
4.2.1.2 Probetas	62
4.2.1.3 Acoples	65
4.2.2 EQUIPO EMPLEADO	67
4.2.3 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	69
4.2.3.1 Ensayo de tensión	69
4.2.3.2 ensayo de flexión	73
4.2.3.3 ensayo de esfuerzo cortante	76

4.2.4 OBSERVACIONES GENERALES DE ENSAYOS	79
4.3 PRUEBAS DE EFICACIA	80
4.3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO	80
4.3.2 MEDICIÓN DE TIEMPOS	82
4.3.3 OBSERVACIONES DE MEDICIÓN DE TIEMPOS EN “MINIFIX”	87
5. DISEÑO CONCEPTUAL.....	87
5.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.....	87
5.1.1 REQUERIMIENTOS DE USO.....	88
5.1.2 REQUERIMIENTOS DE FUNCIÓN	88
5.1.3 REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES	89
5.1.4 REQUERIMIENTOS TÉCNICO-PRODUCTIVOS	89
5.1.5 REQUERIMIENTOS FORMAL ESTÉTICOS.....	89
5.1.6 REQUERIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN	89
5.2 PARÁMETROS.....	90
5.3 GENERACIÓN DE CONCEPTOS	90
5.3.1 BOCETOS E IDEAS	90
5.3.2 CONCEPTO 1	93
5.3.3 CONCEPTO 2	94
5.3.4 CONCEPTO 3	95
5.3.5 CONCEPTO 4	96
5.3.6 CONCEPTO 5	97
5.3.7 CONCEPTO 6	98
5.3.8 CONCEPTO 7	99
5.3.9 CONCEPTO 8	100

5.3.10 CONCEPTO 9	101
5.4 SELECCIÓN DE CONCEPTOS.....	102
5.5 MODELOS Y MAQUETAS DE CONCEPTOS SELECCIONADOS.....	104
5.6 ALTERNATIVAS.....	106
5.6.1 ALTERNATIVA 1	107
5.6.2 ALTERNATIVA 2	109
5.6.3 ALTERNATIVA 3	111
5.7 DISEÑO EN DETALLE	113
5.7.1 MAQUINADO DEL TABLERO	113
5.7.1.1 Maquinaria	114
5.7.1.2 Broca	114
5.7.2 TORNILLOS	115
5.8 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	117
5.8.1 SIMULACIONES CAD-CAE DE ALTERNATIVAS	117
5.8.2 MATRIZ DE SELECCIÓN.....	122
5.8.3 EXPLORACIÓN ENSAYOS MECÁNICOS	123
5.8.4 ALTERNATIVA FINAL	126
5.8.4.1 Nombre e imagen de producto.....	130
5.8.4.2 Protocolo de montaje del sistema de unión.....	131
6. ETAPA DE FABRICACIÓN.....	133
6.1 ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	133
6.1.2 PRINCIPIOS DE DISEÑO.....	133
6.2 MATERIALES.....	135
6.3 FABRICACIÓN	136

6.3.1 MAQUINARIA	137
6.4 COSTOS DE PRODUCCIÓN	138
6.5 PROTOTIPOS FINALES	142
7.1 ANÁLISIS ESTÁTICO – DIAGRAMA DEL CUERPO LIBRE	143
7.2 SIMULACIONES CAD-CAE	145
7.3 COMPROBACIONES MECÁNICAS	148
7.3.2 OBSERVACIONES DE LAS COMPROBACIONES MECÁNICAS EN PROTOTIPOS	151
7.4 PRUEBAS DE EFICIENCIA.....	152
7.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO	152
7.4.2 MEDICIÓN DE TIEMPOS	155
7.4.3 OBSERVACIONES DE MEDICIÓN DE TIEMPOS EN “DUOFIT”	161
8. APLICACIÓN EN MOBILIARIO MODULAR	162
8.1 MOBILIARIO ACTUAL.....	162
8.2 PROPUESTA DE MOBILIARIO	166
8.2.3 PROTOCOLO DE MONTAJE DE MOBILIARIO.....	171
8.2.4 PROTOTIPO DE PROPUESTA DE MOBILIARIO	173
9. CONCLUSIONES	178
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	181
BIBLIOGRAFÍA.....	184

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Metodología DFMA	36
Figura 2. Metodología para diseño y desarrollo de productos por Karl Ulrich y Steven Eppinger.	37
Figura 3. Ingeniería de Métodos y Tiempos.	38
Figura 4. Desarrollo metodológico.	39
Figura 5. Sistema perno y caja excéntrica (minifix).	44
Figura 6. Instalación Herraje “minifix”	45
Figura 7. Perno “parafuso”	47
Figura 8. Tipos de ensamble a cola de milano.	48
Figura 9. Tarugos de madera.	49
Figura 10. Tornillos autorroscantes.	50
Figura 11. Lamello. Clamex P-14.	53
Figura 12. Lamello. Sistema Invis	54
Figura 13. Lamello. Tenso P-14.	55
Figura 14. Sherpa conectores.	56
Figura 15. Áreas según espesor. NTC 698 Madera Contrachapada.	61
Figura 16. Ensamble continuo.	63
Figura 17. Ensamble en forma de "L".	63
Figura 18. minifix utilizado	64
Figura 19. Ubicación del herraje en los ensambles.	65
Figura 20. Acople para ensayos de tracción.	66
Figura 21. Acople para ensayos de flexión.	66
Figura 22. Acople para ensayos de esfuerzo cortante.	67
Figura 23. Máquina Universal de Ensayos WDW-10E.	68
Figura 24. Interfaz de software WinW DW Measure and Control System.	68
Figura 25. Gráfica clásica de Esfuerzo vs deformación.	70

Figura 26. Montaje de Tensión en ensamble continuo.....	70
Figura 27. Montaje de tensión en ensamble en "L".....	71
Figura 28. Montaje de flexión en ensamble continuo.....	73
Figura 29. Montaje de flexión en ensamble en "L".....	74
Figura 30. Montaje de cortante en ensamble continuo.....	76
Figura 31. Montaje de cortante en ensamble en "L".....	77
Figura 32. Diagrama de flujo de procesos Herraje minifix.....	81
Figura 33. Medición de tiempos. Montaje y ensamblaje del herraje.....	85
Figura 34. Concepto de cola de milano.....	91
Figura 35. Concepto de ensamble japonés.....	92
Figura 36. Concepto de tarugo estriado.....	92
Figura 37. Concepto 1.....	93
Figura 38. Concepto 2.....	94
Figura 39. Concepto 3.....	95
Figura 40. Concepto 4.....	96
Figura 41. Concepto 5.....	97
Figura 42. Concepto 6.....	98
Figura 43. Concepto 7.....	99
Figura 44. Concepto 8.....	100
Figura 45. Concepto 9.....	101
Figura 46. Modelo concepto 2.....	104
Figura 47. Modelo concepto 8.....	105
Figura 48. Alternativa 1.....	107
Figura 49. Piezas alternativa 1.....	108
Figura 50. Alternativa 2.....	109
Figura 51. Piezas alternativa 2.....	110
Figura 52. Alternativa 3.....	111
Figura 53. Piezas alternativa 3.....	112
Figura 54. Vaciado a maquinar en los tableros.....	113
Figura 55. Barreno tradicional de carpintería.....	114

Figura 56. Broca de barreno oscilante hecha a medida.	115
Figura 57. Tornillos 8 5/8 pulgada.....	116
Figura 58. Ubicación de tornillos en las piezas.	117
Figura 59. Prototipo de piezas para ensayo de exploración.....	124
Figura 60. Gráfica carga vs deformación. Prototipo 3D.....	125
Figura 61. Alternativa final.	126
Figura 62. Piezas alternativa final.	127
Figura 63. Piezas hembra y macho del sistema de unión.	128
Figura 64. Piezas y tornillos a utilizar en el ensamble.....	128
Figura 65. Variación de color del sistema de unión.....	129
Figura 66. Montaje del sistema de unión en tableros de madera.	129
Figura 67. Imagen del sistema de unión DUOFIT.	130
Figura 68. Escalonamiento	133
Figura 69. Fabricación a medida.....	134
Figura 70. Modularidad de componentes compartidos.....	135
Figura 71. Mecanizado vertical CNC: Máquina para moldes VM3	137
Figura 72. Prototipos finales	142
Figura 73. DCL Esfuerzos a tensión.	143
Figura 74. DCL Esfuerzos a flexión.	144
Figura 75. DCL esfuerzos a cortante.	145
Figura 76. Ensayo de flexión ensamble en L. Prototipos finales	149
Figura 77. Rotura en la pieza hembra de prototipos finales	151
Figura 78. Medición de tiempos. Montaje y ensamblaje del sistema de unión	159
Figura 79. Lanpland TV furniture	162
Figura 80. Piezas de madera Lapland.	163
Figura 81. Piezas de unión IKEA.	164
Figura 82. Piezas de sistema de unión.	165
Figura 83. Desarrollo concepto de propuesta de mobiliario.	167
Figura 84. Vistas generales del mobiliario.	168
Figura 85. Vista general mobiliario.....	169

Figura 86. Mobiliario en uso horizontal.	169
Figura 87. Mobiliario en uso vertical.	170
Figura 88. Soporte auxiliar	171
Figura 89. Despiece en manual de usuario del mobiliario "Duofit".	172
Figura 90. Código de color en piezas del sistema de unión "Duofit".	173
Figura 91. Perforaciones realizadas en los tableros.....	174
Figura 92. Prototipo del sistema de unión "DUOFIT" montado en los tableros....	175
Figura 93. Ensamblaje de piezas del prototipo de mobiliario.	176
Figura 94. Prototipo de mueble biblioteca construido.....	177

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características generales Contrachapados.....	33
Tabla 2. Características generales MDF y HDF.....	34
Tabla 3. Características generales Madera Plástica.	35
Tabla 4. Propiedades Zinc fundido a presión.	46
Tabla 5. Propiedades generales de madera contrachapada (triplex)	58
Tabla 6. Porcentaje de falla. NTC 698 Madera Contrachapa.	59
Tabla 7. Resultados probetas a tensión ensambles continuos.....	71
Tabla 8. Resultados probetas a tensión ensambles en L.	71
Tabla 9. Resultados probetas a flexión en ensambles continuos.	74
Tabla 10. Resultados probetas a flexión en ensambles en L.	74
Tabla 11. Resultados probetas a esfuerzo cortante en ensambles continuos.	77
Tabla 12. Resultados probetas a esfuerzo cortante en ensambles en L.	77
Tabla 13. Esquema de procesos y tiempos promedios de montaje y ensamblaje con herraje minifix.....	84
Tabla 14. Matriz de selección de Conceptos.....	102
Tabla 15. Propiedades Policarbonato (PC).....	118
Tabla 16. Matriz de selección de alternativas.	122
Tabla 17. Propiedades ácido Poliláctico (PLA).	123
Tabla 18. Resultados prototipo 3D sometido a flexión.	124
Tabla 19. Resultados promedio. Minifix en Ensamble en L sometido a flexión. ..	124
Tabla 20. Operaciones para fabricante y usuario.....	131
Tabla 21. Propiedades de materiales termoplásticos.	135
Tabla 22. Costos proceso de inyección. Molde 1	139
Tabla 23. Costos de proceso de inyección. Molde 2	140
Tabla 24. Costos de proceso de inyección. Molde 3	141
Tabla 25. Resultados prototipo final sometido a flexión.	149

Tabla 26. Esquema de procesos y tiempos promedios de montaje y ensamblaje con sistema de unión..... 157

Tabla 27. Cantidad de piezas con unión IKEA 164

Tabla 28. Cantidad de piezas con sistema de unión..... 165

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Carga vs Deformación. Tensión en ensamble continuo.....	72
Gráfica 2. Esfuerzo vs Deformación. Flexión en ensamble continuo.....	75
Gráfica 3. Carga vs Deformación. Cortante en ensamble continuo.....	78
Gráfica 4. Resultados simulaciones alternativa 1.....	119
Gráfica 5. Resultados simulaciones alternativa 2.....	120
Gráfica 6. Resultados simulaciones alternativa 3.....	121
Gráfica 7. Resultados simulaciones en Sistema de Unión.	146
Gráfica 8. Resultados simulaciones en ensambles,	147
Gráfica 9. Carga vs Deformación. Esfuerzos a flexión en ensamble en L. Prototipo final.....	150
Gráfica 10. Diagrama de flujo de procesos Sistema de unión.	154

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A. Ensayos mecánicos realizados en herraje “minifix”
- ANEXO B. Protocolo de medición de tiempos con herraje “minifix”
- ANEXO C. Simulaciones CAD-CAE de alternativas
- ANEXO D. Planos técnicos del sistema de unión “Duofit”
- ANEXO E. Manual de imagen del sistema de unión “Duofit”
- ANEXO F. Manual de uso del sistema de unión “Duofit”
- ANEXO G. Simulaciones CAD-CAE de sistema de unión “Duofit”
- ANEXO H. Ensayos mecánicos realizados en sistema de unión “Duofit”
- ANEXO I. Protocolo de medición de tiempos con sistema de unión “Duofit”
- ANEXO J. Planos técnicos de Mueble Biblioteca “Duofit”
- ANEXO K. Manual de uso de Mueble Biblioteca “Duofit”

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE UNIÓN OCULTO EN TABLEROS DE BASE CELULÓSICA.*

AUTORES: VANESSA JULIANA PEDRAZA BENAVIDES.**
JOSE DANIEL ROMÁN COTE

PALABRAS CLAVE: SISTEMA DE UNIÓN, MOBILIARIO MODULAR, MADERA CONTRACHAPADA, DISEÑO.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto es motivado por la falta de alternativas en el ámbito del diseño de mobiliario en la industria nacional, evidenciado al realizar el análisis del estado del arte. Se propone generar un sistema de unión, que permita el desensamblaje de las piezas, una estética más limpia y un modelo de montaje y desmontaje más eficiente, que faciliten el desarrollo de productos de mobiliario modular, acorde a las tendencias internacionales y competitivos a nivel nacional, aprovechando el buen momento de la industria del mueble en el país.

El desarrollo del proyecto se hace partiendo de la implementación de la metodología DFMA (Diseño para la Manufactura y Ensamble), combinando también la Metodología para el Diseño y Manufactura de Productos planteada por Karl Ulrich y Steven Eppinger y la Ingeniería de Métodos y Tiempos planteada por Benjamin Niebel. De esta forma se plantea el desarrollo metodológico dividido en 4 etapas: Investigación, generación de conceptos, fabricación y etapa de comprobaciones, en donde se evalúa la propuesta final con relación a los productos analizados en la etapa de investigación y se determina su viabilidad.

Los resultados obtenidos, mediante las comprobaciones realizadas en los prototipos finales del sistema de unión propuesto, determinan la validez del diseño, presentando un comportamiento mecánico adecuado para la aplicación propuesta, una mayor eficiencia en el modelo de montaje y desmontaje en términos de tiempos, número de operaciones y número de piezas a utilizar, una reducción de costos para los fabricantes de mobiliario, además de evidenciar una mayor aceptación por parte del usuario, medida por el Factor de Aceptación del Consumidor (FAC) de TITUS, facilitando que nuevos productos de mobiliario fabricados usando el sistema de unión propuesto, accedan al mercado nacional.

* Proyecto de Grado

** Facultad de ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director de proyecto Germán Díaz Ramírez

** Facultad de ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director de proyecto Germán Díaz Ramírez

* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Industrial Design. Directed by D.I. Germán

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A HIDDEN UNION SYSTEM IN CELLULOSIC BASED BOARDS. *

AUTHOR: VANESSA JULIANA PEDRAZA BENAVIDES. **
JOSE DANIEL ROMÁN COTE

KEY WORDS: UNION SYSTEM, MODULAR FURNITURE, PLYWOOD, DESIGN.

DESCRIPTION:

The development of this project is motivated by the lack of alternatives in the field of modular furniture in the national industry that allows a complete fabrication of furniture products, without any imported pieces, fittings, and union systems, which may be limiting the job of both designer and manufacturer in the creation of new products. The generation of a new product can also mean the entry to the national market and industry of a variety of alternatives of union systems that allow the disassembly of the pieces, a cleaner esthetic and a more efficient model of assembly and disassemble, providing the development for modular furniture products, according to the international tendencies and more competitive in the national furniture industry.

The development of the project stands in the implementation of the DFMA methodology (Design for Manufacture and Assembly), combined with the Product Design and Manufacture by Karl Ulrich and Steven Eppinger and the Methods, Standards and Work Design by Benjamin Niebel. The methodological development of this project is divided in four stages: Investigation, concept generation, manufactures and test stage, in which the final proposal is evaluated.

The results obtained in the development of the union system, in the test of the final prototypes, evidence the viability of the final design, with an a suitable mechanical behavior, a more efficient model of assembly and disassembly in therms of time, number of operations and number of pieces, a reduction of final costs for the small manufactures and also showing a higher user acceptance, measured by the Consumer Acceptance Factor by TITUS, making it easier for new products manufactured using the proposal of union system to reach the local furniture market.

* Degree thesis

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Industrial Design. Directed by D.I. Germán Díaz Ramírez

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 TÍTULO

Diseño y construcción de un sistema de unión oculto en tableros de base celulósica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diseño de mobiliario y su tecnología de producción, al igual que la mayoría de las actividades milenarias del hombre, ha estado en permanente evolución, pasando de ser un arte menor, a convertirse en uno de los principales renglones de la producción. Colombia no es la excepción; se conservan aún las costumbres, métodos y técnicas tradicionales de fabricación, pero de igual forma se da entrada a nuevas tecnologías de la industria y los mercados internacionales, que cada vez más plantean nuevos retos al diseño y producción nacional.

El mercado e industria del mueble nacional, según datos de la Federación Nacional de Comerciantes del DANE en su Encuesta Anual Manufacturera, ha venido aumentando su producción en la última década, resaltando la línea de mobiliario para oficina y hogar, la cual cuenta con la mayor participación en la cadena productiva, con un valor de 20.37% de la producción total, seguida de los tableros aglomerados con 16.47%. Las exportaciones de madera y sus manufacturas para el período 2004 – 2008 alcanzaron un acumulado de USD \$ 548.8 millones de dólares, siendo los muebles terminados el rubro que representa el mayor valor. (1)

El comportamiento de las exportaciones ha sido creciente desde el año 2003, donde reportaron un valor superior a los USD 10 millones y en 2007 se reportaron USD 5 millones solo en exportaciones a la Comunidad Andina, sin embargo, la fabricación de herrajes no es una actividad que se encuentre del todo consolidada, en parte debido a la falta de apropiación tecnológica o desarrollo de tecnologías propias e inversión nacional en ese renglón específico. Lo anterior se ve reflejado en el alto volumen de importaciones de este tipo de productos realizadas de

países como China, Taiwán y Estados Unidos que en el año 2003 daban cifras de USD 2'511.646 las cuales se han mantenido a pesar del crecimiento de la industria nacional. (2)

Por otra parte, la oferta de mobiliario modular se presenta como una de las innovaciones a nivel tecnológico en la industria nacional, basada en la adopción de modelos extranjeros; este tipo de mobiliario sobresale como una alternativa de solución frente a un nuevo modelo de mercado, que gracias a acuerdos comerciales realizados en los últimos años, pone en comparación los productos nacionales y los importados, evidenciando diferentes ventajas y desventajas en cada uno.

La sistematización de procesos de manufactura y sistemas ha cambiado una actividad originalmente artesanal como lo es la ebanistería, entendida como el diseño y fabricación de mobiliario, hacia un nuevo modelo de industria y negocio que abre las puertas a la innovación y al diseño local de nuevos productos; sin embargo, dicha modernización se ve limitada por la insuficiencia de tecnologías y la falta de inversión en ciertos campos de la industria que dificultan la actividad innovadora, la fabricación y la oferta de productos basados en el desarrollo de tecnologías propias.

Finalmente, la industria del mobiliario local no ha contemplado hasta ahora el diseño y fabricación de herrajes y sistemas de unión dentro de su evolución, cuyo segmento a estado cubierto por la oferta extranjera de productos que plantean algunas problemáticas en términos de limitaciones del diseño, el montaje, rigidez y costos. Lo anterior limita la posibilidad de realizar nuevas propuestas de diseño y productos íntegros que cumplan con las expectativas de la cadena productiva y de los usuarios de los productos finales.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La ebanistería local, entendiéndose como actividad de diseño, fabricación y comercialización de mobiliario, se encuentra en un punto de inflexión entre los métodos y conocimientos tradicionales y la aplicación de nuevas tecnologías. Dentro de este mismo campo, el mobiliario modular ha demostrado ser una buena alternativa a las nuevas exigencias tanto de la industria como del mercado, en donde la relación costo/beneficio se convierte en un factor determinante para la fabricación y adquisición de productos de este tipo. Los métodos de fabricación tradicional de mobiliario se ponen en comparación con las nuevas tecnologías implementadas en este ámbito, planteando un campo de acción ideal para el diseño industrial en el que se pueda hacer el empalme entre estos dos.

Es por lo anterior que en el presente trabajo se plantea la intervención en el sistema de unión de tableros para aplicaciones en mobiliario modular, en donde dichos sistemas, en su mayoría se plantean en formas de ensambles y uniones realizados directamente en cada tablero mediante cortes y geometrías o en algunos casos con la ayuda de herrajes de unión de tipo general, que no siempre responden a las necesidades planteadas para el tipo de mobiliario a fabricar. La realización y utilización de dichos tipos de uniones supone el uso de diversas herramientas de carpintería a la vez, así como la generación y adaptación de métodos que no han sido concebidos para dichas aplicaciones; lo cual desemboca en un proceso de montaje y desmontaje que puede requerir de tiempos y un número de operaciones que impactan negativamente en el proceso de producción y costo del mobiliario final.

La intervención del diseño industrial en este segmento tiene como propósito el análisis y posterior propuesta de una solución alternativa a los sistemas de unión existentes, a fin de generar nuevas formas de concebir la labor del diseñador, fabricante y comerciante de productos de mobiliario modular, al verse beneficiados por un sistema de unión más limpio y de mayor eficiencia, que permita la creación de productos innovadores.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Proponer un sistema de unión oculto en tableros de base celulósica para aplicaciones en mobiliario modular.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los sistemas fijos de unión existentes utilizados en mobiliario y sus procesos de montaje.
- Diseñar un prototipo de sistema de unión oculto, mediante la implementación de una metodología de diseño enfocada a la utilización de tecnologías de fabricación disponibles en la industria nacional.
- Diseñar el protocolo del montaje y desmontaje del prototipo de sistema de unión teniendo en cuenta sus características y las del tipo de elementos a unir.
- Evaluar la eficiencia del protocolo del montaje y ensamblaje, y mediante ensayos mecánicos las propiedades y viabilidad del sistema de unión.

1.6 GRADO DE INNOVACIÓN

La propuesta de diseño se plantea partiendo de una apropiación tecnológica que permita la entrada a nuevas alternativas de solución al campo de la ebanistería y fabricación de mobiliario en general, dominado por métodos y sistemas de unión tradicionales. El proyecto de diseño se propone crear un nuevo proceso de montaje y desmontaje de los diferentes componentes de un mobiliario o sistema modular, a partir de la implementación de un sistema de unión que brinde una apariencia más limpia y continúa en la unión de tableros de base celulósica.

1.7 ALCANCES

El presente proyecto propone el diseño del sistema de unión y la elaboración de un prototipo en un material similar al que se adecuaría en una producción industrial, tal que permitan la realización de pruebas y/o ensayos para la evaluación de las propiedades mecánicas y su geometría, así como el análisis de tiempos de montaje y desmontaje del mismo.

A partir del sistema de unión diseñado se podrán hacer nuevos estudios para la implementación de otros materiales en su fabricación, realizar el maquinado de las piezas de madera mediante otro tipo de maquinaria y un mayor campo de aplicación para el sistema, utilizándose en uniones angulares, articuladas, empotrados, etc.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MOBILIARIO MODULAR

El diseño modular aplicado a mobiliario es la optimización de espacio gracias a la partición reticular de un producto, que brinda flexibilidad en su diseño y uso, facilidad de transporte, ya que son armables y/o desarmables, estandarización de procesos de fabricación y personalización general.

A pesar de que la producción en masa tiene su origen alrededor de los años 1900, no fue sino hasta 1910 que las tecnologías industriales evolucionaron al grado de poder costear y producir masivamente productos mobiliarios de alta calidad. El aprovechamiento de los avances en tecnologías de producción se vio reflejado en el diseño de productos modulares que ya habían empezado a aparecer en los mercados internacionales a principios de 1906, donde todavía se entendía el término modular dentro del diseño y arquitectura de interiores como la conformación de un todo por medio de bloques rígidos prefabricados, sea un espacio o un producto específico. A partir de 1932, las nuevas tendencias entran a

los Estados Unidos, entre estas, el diseño de mobiliario y el desarrollo de una producción en masa, viendo como en los años post guerra se desarrollaría más el concepto modular integrándolo tanto al aprovechamiento de avances tecnológicos e industriales, como al desarrollo del diseño de espacios arquitectónicos y productos de mobiliario, de la mano de empresas e industrias como The Herman Miller Company, que mediante el trabajo de diseñadores visionarios como Charles y Ray Eames, adopta las nuevas tecnologías de producción para aplicarlas al diseño de espacios prefabricados y unidades de almacenamiento que servirían como punto de partida para el desarrollo de este concepto. Harvey Propper y Joe Colombo, posteriormente serían reconocidos por cambiar el concepto rígido de modularidad, proponiendo espacios compuestos de elementos no rectilíneos, resaltando la versatilidad y gran adaptabilidad del diseño modular a todas las formas y funciones posibles. Por último, el trabajo e investigación de Yasuhiro Yamashita, quien usaría módulos no solo para componer interiores, sino también para los elementos estructurales del exterior del edificio mismo, complementa el desarrollo de modularidad dentro del diseño arquitectónico, de espacios y de productos. (3)

El mobiliario modular se presenta como una solución llamativa para las exigencias y necesidades de los hogares y puestos de trabajo contemporáneos, en donde el espacio disponible y sus dimensiones configuran un nuevo parámetro para los objetos allí ubicados poniendo a consideración factores determinantes como su funcionalidad y la estética, los cuales muchas veces se dan excluyentes el uno del otro, al verse productos que condicionan su aspecto formal a la materia prima y sus componentes, sin abordar el diseño, estética y geometría del tipo de mobiliario a construir, con el fin de optimizar costos y procesos de fabricación para hacer un producto netamente útil, sin valor adicional.

La industria no es ajena a esta realidad y ha venido evolucionando con el fin de ofrecer soluciones prácticas parciales a las nuevas exigencias mediante materiales, procesos y configuraciones innovadoras. El concepto de modularidad

es una de estas soluciones, entendido dentro del ámbito de mobiliario, como los componentes propios de la unidad que pueden ser apilados y armados de diferentes formas y en diferentes espacios para satisfacer más de una función.

2.2 MOBILIARIO RTA Y MODELO DIY

El concepto de mobiliario RTA (Ready to Assemble, Listo para Ensamblar) es el modelo de producto que es adquirido sin ensamblar y requiere del usuario para el ensamblaje, una vez se encuentre en la ubicación final en la que se desee instalar el mobiliario. Es una de las fuertes tendencias del mobiliario modular que ha venido creciendo en los últimos años, mostrando sus ventajas frente a algunos productos tradicionales, que podrían no estar satisfaciendo las necesidades actuales.

Economía, facilidad de transporte, bajos costos de producción y adaptabilidad a espacios son algunas de las ventajas que el mobiliario tipo RTA introduce formando a su vez todo un nuevo modelo de mercado que propone al usuario una forma diferente de elegir y adquirir el producto adecuado a sus necesidades, además de plantear un modelo DIY (Do It Yourself, Hágalo Usted Mismo), donde el encargado de armar el producto final es el mismo usuario, planteando así, algunas desventajas claras como el grado de complejidad de dichos sistemas modulares y las diferentes opciones, que en busca de una mayor economía de producción, dejan de lado aspectos estéticos o funcionales.

El mobiliario de tipo RTA es comúnmente fabricado con tableros de partículas enchapado en su exterior para darle un mejor acabado. Los productos primarios conformados de esta forma, son centros de entretenimiento, mobiliario para aparatos electrónicos y computadores, unidades de almacenamiento, escritorios, puestos de trabajo, closets, etc. Gracias a la flexibilidad del diseño de este tipo de mobiliario, es posible conformar múltiples piezas mediante configuraciones básicas.

El crecimiento de la demanda por este tipo de productos va de la mano con el desarrollo de los procesos de fabricación, que permiten obtener productos con altos niveles de calidad y cada vez más competitivos en el mercado de mobiliario pre-ensamblado, mediante la adición de superficies de madera natural, lacados y procesos de acabados que no solo le proporcionen una mejor apariencia al producto, sino que lo hagan más resistente a factores ambientales, temperaturas, etc. De igual forma, como dice Vlosky¹, los avances tecnológicos permiten hoy en día la creación de diseños más complejos, lejos de las primeras piezas de mobiliario KD (Knocked Down), rígido y rectilíneo, dando cabida a la labor de diseñadores en la concepción de diseños llamativos e innovadores que suplan las necesidades y capten la atención de los posibles clientes.

La gran diferencia entre lo tradicional y lo actual no es necesariamente evidente. Si bien la estética y aspecto formal de las cosas son característicos de la época y sus tendencias, la configuración básica del mobiliario se conserva aún hoy en día, siendo la finalidad última del producto lo que se ha visto más afectado por las nuevas exigencias del mercado y la industria, que introducen el concepto de multifuncionalidad, demandando que un objeto de mobiliario brinde más que una función general y proporcione una serie de soluciones a necesidades específicas.

Con el fin de cumplir con las exigencias actuales que se plantean a los productos mobiliarios, se hace evidente satisfacer una nueva necesidad básica: el montaje y desmontaje de los elementos que conforman un mobiliario modular. Muchos métodos tradicionales pueden funcionar eficientemente en el montaje de las piezas pero afectan en la apariencia última del producto y no cuentan con la alternativa de desmontaje ya que el mobiliario solo está concebido para ser armado una vez. (4)

¹ VLOSKY, Richard; POKU, Kofi y WILLE, Stefan. A market analysis of the Ready to Assemble furniture Industry. Working Paper #49. Baton Rouge, Louisiana. Louisiana Forest Products Laboratory. Louisiana State University, 2001.

2.3 SISTEMAS DE UNIÓN PARA TABLEROS

De igual forma que los métodos tradicionales de fabricación de mobiliario y sus componentes han pasado por una evolución a medida que lo hacen las necesidades del mercado y de los usuarios, los sistemas y métodos de ensamble también lo han hecho. Actualmente se pueden ver en el mercado alternativas de herrajes que buscan sustituir algunos métodos de unión más tradicionales, con la premisa de proveer una metodología de montaje y desmontaje de las piezas que conforman la unidad.

En algunos países Europeos como Suiza y Alemania, se han planteado esta falta de alternativas como una oportunidad a la innovación e investigación en nuevos materiales, métodos y configuraciones, que no solo brindan respuesta al problema de montaje y desmontaje de los componentes de un sistema modular de forma netamente funcional, sino que brindan alternativas diferentes, dando cabida para el diseño formal-estético del producto final. En el ámbito nacional no se han encontrado desarrollos innovadores que puedan suponer el interés del sector industrial en el diseño de soluciones propias, dejando de lado la importación de material y tecnología, que en los últimos años ha aumentado considerablemente (1).

Los métodos tradicionales de fabricación aún predominan en la mayoría de la industria nacional del mobiliario, siendo estos los que significan mayor confianza y efectividad, tanto para fabricantes como para usuarios, pero a puertas de un mercado mucho más competitivo, podrían verse rezagados debido a que requieren para su implementación procedimientos extensos que no demuestran eficiencia en operaciones, materiales ni recursos. El uso de herrajes importados también es una alternativa válida que se ha introducido en el ámbito de la ebanistería buscando mayor eficiencia, dejando de lado la identidad y flexibilidad del diseño, al generar productos rígidos.

Los fabricantes de muebles europeos fueron los pioneros en la adopción de sistemas de procesamiento de tableros de aglomerado y por lo tanto, los primeros en plantear la problemática de facilidad en el ensamble. Hoy en día, dependiendo de la maquinaria disponible y de la complejidad del mueble, los sistemas de unión son sencillos y también técnicamente avanzados. Aunque aún se utilizan tornillos y sistemas relacionados, se han desarrollado innovaciones en los conectores para muebles RTA, los más populares son los sistemas de perno y caja excéntrica, los cuales solucionan de manera eficiente la problemática del ensamble, adaptándose a nuevos métodos de fabricación y dejando atrás los días de adhesivos y tornillos evidentes que interferían con la apariencia de los productos.

Los fabricantes pioneros de esta tecnología en métodos de ensamblaje, empresas como TITUS o HAFELE, pasaron años introduciendo mejoras a sus productos y estudiando los materiales en los cuales eran fabricados, pues los pernos de acero y las cajas excéntricas hechas en zinc suponían un alto costo de producción. De igual forma los usuarios, usando pernos de acero o de zinc, aun debían insertar el perno al aglomerado utilizando un taladro y destornillador. Este proceso no sólo es demorado, sino que implica desgaste físico para quien ensambla ya que el promedio de este tipo de componentes en un mueble corriente es de 25 unidades, pero puede necesitar hasta más de 125 uniones basadas en este mecanismo. Se introdujeron mejoras de menor impacto como la reducción del número de vueltas en el atornillado, la fijación de un tope final en el perno para evitar su sobre inserción, pernos de inserción manual, etc.

Con los avances en tecnologías y estudios de mercado, los productos desarrollados se orientan a satisfacer de la mejor forma el factor de aceptación del consumidor (FAC) con el planteamiento de una formula introducida por la empresa TITUS, mediante la cual se puede reconocer la aceptación del consumidor respecto a la facilidad de ensamble de los productos de mobiliario:

(Cantidad total de piezas + Acciones) x Número de tipos de partes = FAC

$$(T+A) \times N = FAC$$

El desarrollo de dicha fórmula busca obtener un valor numérico, el cual se busca reducir lo más posible para obtener el método o producto que mejor cumpla con las necesidades de ensamblaje del usuario. (5)

Las tecnologías cambian y los productos actuales son reflejo de estos avances, como lo resalta Neubert², todos los esfuerzos por parte de los fabricantes de herrajes de unión están centrados en desarrollar un sistema que permita el ensamble sin la utilización de herramientas a nivel del consumidor. Existe un trabajo colaborativo entre fabricantes de mobiliarios RTA y de herrajes de unión que permitirá presentar cada vez más y mejores alternativas para los usuarios.

2.4 SISTEMAS TRADICIONALES DE UNIÓN

Se utilizan diversos métodos de ensamble para los diferentes componentes que conforman el mobiliario teniendo en cuenta el sentido en el cual se van a unir. El tipo de unión depende también del material a utilizar, el tamaño del componente, su forma de transporte y almacenamiento y las cargas a las que va a estar sometido. (6)

Algunos de los métodos tradicionales más usados para la unión de tableros de madera son: Juntas, ensambles, empalmes, clavos, tornillos y pegamento.

2.5 HERRAJES DE UNIÓN

La tecnología de herrajes ha evolucionado de la mano de la industria del mobiliario planteándose nuevos y más complejos retos en temas de satisfacer las necesidades actuales de los usuarios mediante productos que les permitan una

² Neubert, Richard. Herrajes de unión. Desarrollo y ventajas industriales. Revista M&M. (En línea). Disponible en: (<http://www.revista-mm.com/ediciones/rev29/herrajes.htm>). (Recuperado el 30 de Agosto de 2014)

mayor facilidad de montaje y desmontaje sobre los métodos tradicionales de unión. Su fabricación, por lo general, está determinada en diferentes aleaciones metálicas dependiendo de su uso y costo de fabricación. Sin embargo, la utilización de dichos herrajes está ligada a un acondicionamiento o maquinado previo de la pieza sobre la cual se va a ubicar, lo cual implica mayor gasto de materiales y recursos. (7)

Desde su salida al mercado el herraje de perno y caja excéntrica ha dominado el mercado de herrajes de este tipo debido a su pequeño tamaño y gran utilidad en el montaje rápido de piezas fijas. En el producto original, la caja se insertaba en una pieza plástica que se colocaba dentro de una inserción hecha en la superficie de la cara del tablero o aglomerado. Este mismo sistema ha sido adaptado y rediseñado para ser utilizado en diferentes materiales ampliando su campo de uso (8).

2.6 MATERIAS PRIMAS PARA MOBILIARIO MODULAR

La evolución de la industria y la tecnología ha permitido realizar avances en tareas tradicionalmente artesanales como la carpintería y ebanistería. El mobiliario modular es la evolución de una industria hacia la satisfacción de las necesidades y requerimientos de los usuarios modernos. Los materiales y materias primas han cambiado considerablemente al igual que los procesos de obtención de los mismos; tableros aglomerados, de base celulósica, reconstituidos con plásticos y demás son utilizados debido a su bajo costo de fabricación en masa y las características físicas que los hacen livianos y resistentes, ideales para la fabricación de mobiliario flexible y modular, que a su vez, dependiendo del uso que se le vaya a dar, puede estar fabricado de diferentes tipos de compuestos de madera, aleaciones metálicas o plásticos. (9)

- **Tableros de base celulósica:**

Son tableros fabricados por la aplicación de calor y/o presión a un conjunto de fibras lignocelulósicas conformadas a la vez por viruta de madera,

residuos poliméricos y adhesivos con el fin de formar un material homogéneo. Las características más notorias de este tipo de tableros es que en el proceso de manufactura se eliminan defectos como vetas, nudos o cualquier imperfección que pueda tener la madera sin tratar. Se reconocen diferentes clases de tableros de base celulósica:

- **Contrachapado:** Se conoce como multilaminado y son tableros fabricados por presión y calor uniendo láminas de madera. Cada lámina de madera se ubica con sus fibras de manera transversal a la siguiente lámina para darle mayor estabilidad al tablero. Actualmente, una evolución del contrachapado es el tablero OSB (Oriented strand board) o tableros de viruta orientada; tienen el mismo principio de los tableros contrachapados pero no se utilizan láminas de madera sino pequeñas astillas o partículas alineadas en la misma dirección por capa. Estos tableros vienen elaborados de un grosor de 6 a 28 mm.

Tabla 1. Características generales Contrachapados.

Características generales	Datos
Grosor	6 a 28 mm
Densidad	Variable 0,65 gr/cm ³
Aplicaciones	Revestimientos finales, mobiliario, base de suelos, paneles.

- **Densidad media y alta:** Son paneles elaborados de fibras de madera; para el caso de los tableros de densidad media o también conocidos como MDF se realiza un proceso de presión y calor en el

que pedazos de fibra de madera se unen con resinas sintéticas por proceso en seco hasta alcanzar una densidad que puede oscilar entre los 600 y 800 Kg/m³.

- **Alta densidad (HDF):** Son tableros formados por fibras de madera y a diferencia de los de densidad media, no contienen adhesivos ya que la unión se realiza con las mismas propiedades de las sustancias de la madera por un proceso húmedo. (10)

Tabla 2. Características generales MDF y HDF.

Características generales MDF	Datos
Grosor	2 a 25 mm
Densidad	Uniforme de 0,6 a 0,8 gr/cm ³
Aplicaciones	Muebles, armarios, cajones
Características generales HDF	Datos
Grosor	9 a 30 mm
Densidad	Uniforme de 0,8 a 1 gr/cm ³
Aplicaciones	Puertas de seguridad, pisos.

- **Otros tipos de tableros: Madera plástica:**
Es un producto de características físicas similares a las de la madera natural, formado por la unión de componentes poliméricos y fibras naturales. La fabricación es un proceso limpio y ecológico que parte de la recolección del material plástico reciclado que es separado, triturado y mezclado homogéneamente para luego ser fundido mediante un proceso de extrusión a alta temperatura. Este compuesto sale con acabados de fábrica, donde se le

añaden aditivos para mejorar la resistencia del material frente al envejecimiento y la intemperie. Su composición, con un alto porcentaje de polietilenos de alta y baja densidad (HDPE, LDPE) y de polipropileno (PP) hace que el producto final presente una gran resistencia estructural. (11)

Tabla 3. Características generales Madera Plástica.

Características generales	Datos
Grosor	6 a 78 mm
Densidad	Variable, depende del contenido de madera en el compuesto
Aplicaciones	Mobiliario urbano, pavimentos, elementos para fachadas y exteriores.

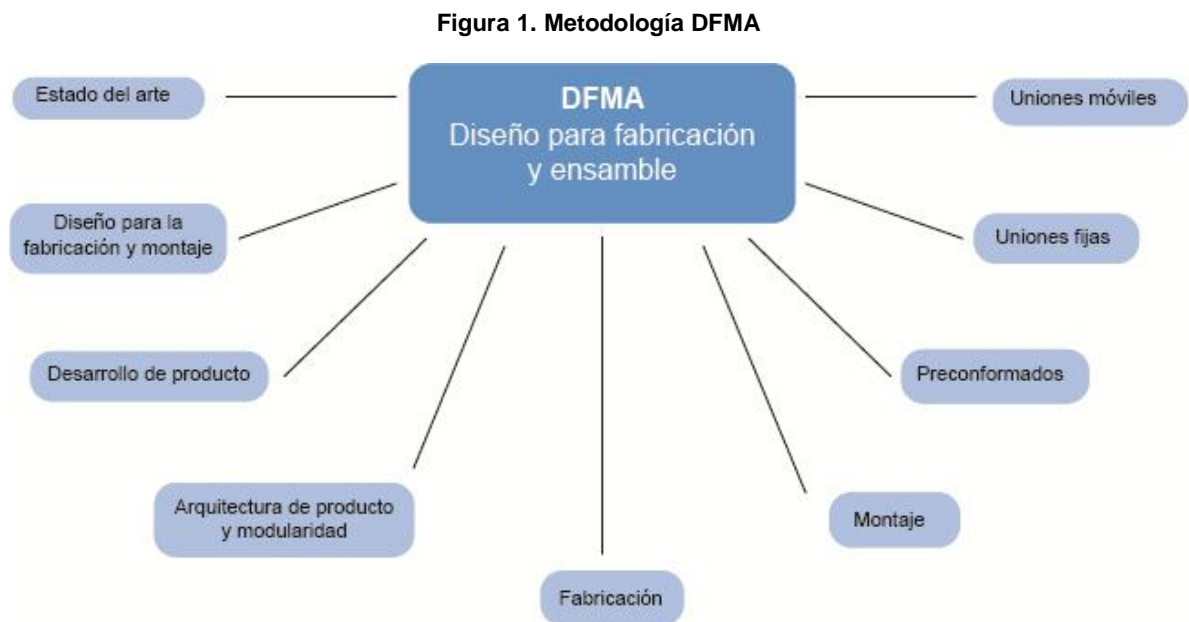
3. METODOLOGÍA PROYECTUAL

Para el desarrollo del proyecto de diseño se propone seguir dos metodologías; una de estas es la metodología de diseño (DFMA) propuesta por Geoffrey Boothroyd y Peter Dewhurs, orientada a la fabricación y ensamblaje que parte de la ingeniería concurrente teniendo como objetivo el desarrollo de productos industriales, y otra es la Metodología para el Diseño y Desarrollo de Productos de Karl Ulrich y Steven Eppinger. Así mismo, para la propuesta de montaje y desmontaje del sistema, la aplicación de la Ingeniería de Métodos y Tiempos de Benjamin W. Niebel nos permitirá realizar el análisis tanto de los protocolos de los sistemas actuales como de los propuestos en el desarrollo del proyecto.

3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LA FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE (DFMA)

La metodología DFMA propuesta por Geoffrey Boothroyd y Peter Dewhurst es un enfoque de la ingeniería concurrente orientado a la fabricación y montaje de productos y también busca mejorar aspectos de fabricabilidad, montabilidad y costes, respetando lineamientos y funciones esenciales. (12)

Algunos de los objetivos específicos al aplicar esta metodología son: Facilitar las operaciones de fabricación y montaje, optimizar el uso de las herramientas y equipos de fabricación y montaje, aumentar la flexibilidad de la fabricación, aumentar la configurabilidad de los productos, entre otras.



3.2 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS

La metodología para el diseño y desarrollo de productos planteada por Karl Ulrich y Steven Eppinger se enfoca en los procesos de innovación y manufactura desde la perspectiva del diseño industrial para la construcción de un producto. (13)

Figura 2. Metodología para diseño y desarrollo de productos por Karl Ulrich y Steven Eppinger.

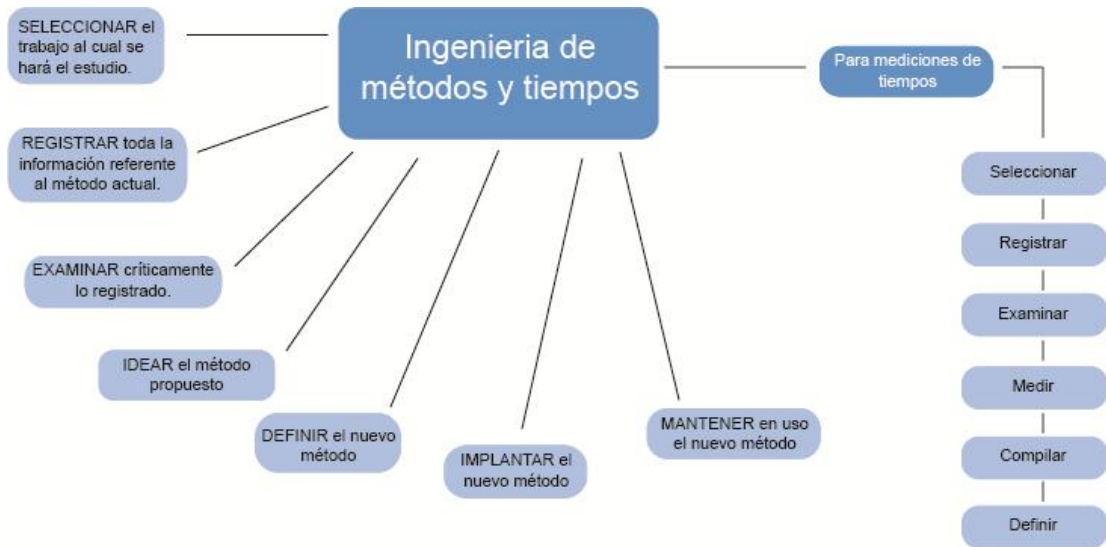


3.3 INGENIERÍA DE MÉTODOS Y TIEMPOS

La ingeniería de métodos y tiempos planteada por Benjamin W. Niebel utiliza técnicas para el análisis de operaciones y tareas. Una de ellas es dividir una tarea en simples elementos de trabajo, y estudiar cada movimiento para ordenarlo o eliminar los que no sean necesarios, buscando así una mejor combinación y secuencia de movimientos, integración de mejores recursos, logrando así métodos más sencillos y eficientes. (14)

La medición de tiempos hace parte de las técnicas para la medición del trabajo y los puestos de trabajo utilizado en la ingeniería industrial para investigar, minimizar y eliminar el tiempo improductivo, es decir, el tiempo durante el cual no se genera valor agregado. (8)

Figura 3. Ingeniería de Métodos y Tiempos.

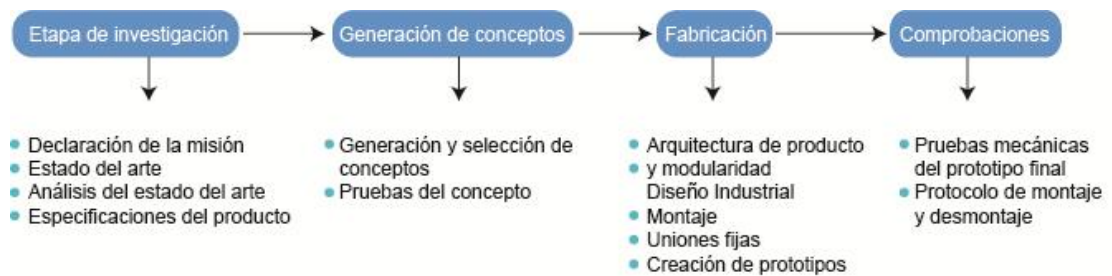


3.4 PROPUESTA METODOLÓGICA

Se propone el desarrollo metodológico dividido en 4 etapas diferentes: Investigación, Generación de conceptos, Fabricación y Comprobaciones.

Esta nueva metodología adopta fases de los dos sistemas anteriormente planteados y pretende lograr la optimización en los procesos de fabricación y montaje a la vez que se tienen en cuenta factores como la innovación en el diseño del producto. A continuación se muestra el esquema de la propuesta metodológica que parte de la combinación de las metodologías DFMA y de Diseño y Desarrollo de Productos.

Figura 4. Desarrollo metodológico.



3.4.1 Etapa de investigación

Para iniciar el proceso de diseño se empieza por definir el problema que se va a investigar, para eso se realizará un estudio del estado del arte y se especificaran las condiciones del producto; esta primera fase se desarrolla de la siguiente manera:

- Planeación del producto: Declaración de la misión.
- Estado del arte: Se hace una investigación de los herrajes y sistemas de unión existentes para mobiliario tanto a nivel nacional como internacional incluyendo en la investigación productos tradicionales e innovadores.
- Análisis del estado del arte: Se realiza un análisis en cuanto a las características generales, ventajas y desventajas de los herrajes acompañado de un estudio de su geometría y resistencia por medio del análisis de elementos finitos. De igual forma se realizará el análisis de tareas y métodos del proceso de montaje y desmontaje planteados por los productos actuales.
- Especificaciones del producto: Se establecen los parámetros y requerimientos del producto según los datos obtenidos en el análisis del estado del arte.

3.4.2 Etapa de generación de conceptos

En esta etapa se desarrollan las alternativas de la propuesta de diseño teniendo en cuenta las especificaciones del producto planteadas anteriormente; esta etapa se desarrolla de la siguiente manera:

- Generación y selección de conceptos: Primero se desarrollan las ideas o conceptos teniendo en cuenta los parámetros y requerimientos ya planteados; un concepto es una descripción cercana del funcionamiento, material y parte formal del producto. Se representará no solo como un modelo bidimensional sino tridimensional. Paralelamente se trabajaran los conceptos para el protocolo de montaje y desmontaje de cada una de las ideas a trabajar.
Se procede a evaluar los conceptos realizados con respecto a las especificaciones del producto, comparando fortalezas y debilidades de cada uno de ellos para poder seleccionar uno o más de ellos para continuar con la prueba del concepto.
- Pruebas del concepto: Los conceptos seleccionados deben pasar por el análisis geométrico y físico logrado en la simulación de software CAD, mediante el análisis de elementos para determinar su viabilidad y sus ventajas y desventajas planteadas. El protocolo de montaje se debe analizar en términos de eficiencia.

3.4.3 Etapa de fabricación

Se realiza el desarrollo físico de los modelos y conceptos introduciendo aquí lo recogido de la metodología DFMA para productos industriales en la construcción de prototipos funcionales que servirán para realizar las comprobaciones necesarias:

- Arquitectura de producto y modularidad: analizar en términos tanto funcionales como formales del producto, para establecer las operaciones y

componentes respectivamente, siendo su modularidad, una de sus características más importantes en la arquitectura de un producto. Se trabajará con el tipo de modularidad que abarca la arquitectura *seccional-modular* ya que todos los componentes de ensamble manejan la misma interfaz; la modularidad se propone con el fin de establecer componentes independientes el uno del otro y realizar cambios como actualizaciones, adición de accesorios y adaptación sin tener que modificar todo el sistema y poder lograr la estandarización del proceso de instalación del producto.

- Diseño Industrial: Establecer bajo parámetros del diseño industrial, aspectos como la utilidad, apariencia, durabilidad, facilidad de manufacturar, disminución de costos, ergonomía y buen lenguaje de uso. Aspectos que se evaluarán en una matriz donde se calcula el nivel de importancia de cada uno de los requerimientos y parámetros.
- Montaje: Esta fase es importante para determinar los aciertos y desaciertos en la etapa de diseño, aquí se contemplan las operaciones que se deben tener en cuenta para el montaje y evitar fallos en los costos, uniones, composición y comprobación del producto final.
- Uniones fijas: Se deben conocer con anticipación los tipos de unión existentes y las posibilidades que tienen en el diseño. Se realizará una selección en cuanto a los aspectos que debe cumplir la propuesta de diseño para poder filtrarlos, seleccionarlos e interrelacionarlos entre ellos; se debe tener en cuenta la sujeción, resistencia, seguridad, desmontabilidad, deformaciones y espacio necesario para realizar una matriz de selección.
- Prototipos: Producir un prototipo físico de los conceptos anteriormente seleccionados con el objetivo de que sean una aproximación hacia el producto final; de esta manera se podrá evaluar su funcionalidad y comprobar el cumplimiento de los requerimientos planteados.

3.4.4 Etapa de comprobaciones

- Pruebas mecánicas del producto: Se realizan las comprobaciones pertinentes del prototipo o prototipos finales teniendo en cuenta las antes realizadas en comprobación de conceptos, con el fin de lograr una optimización del sistema de unión. Las pruebas a realizar se harán como parte de simulación en un software CAD-CAE y también se realizarán las pruebas con los prototipos físicos basadas en las normativas ASTM internacional de métodos estándar para uniones mecánicas en maderas plásticas, con el fin de determinar su resistencia y rendimiento sometidos a cargas reales.
- Protocolo de montaje y desmontaje: Se realizará el análisis comparativo entre los protocolos de montaje propuestos en los conceptos generados en términos de usos eficientes de recursos (tiempo, componentes). De igual forma se realiza la comparación entre conceptos generados y productos actuales ya analizados en el estado del arte utilizando la ingeniería de métodos y tiempos.

4. ETAPA DE INVESTIGACIÓN

4.1 ESTADO DEL ARTE

Como parte de la investigación se realiza una división entre los productos o marcas que se adquieren en el mercado nacional y aquellos que solo se encuentran en mercados e industrias internacionales, comprobando así que dentro del mercado y la industria nacional no existe una gran variedad de productos que satisfagan las necesidades del consumidor y fabricante; sin embargo, en el ámbito internacional se encuentran empresas dedicadas al diseño y fabricación de estos productos, proponiendo soluciones adecuadas e innovadoras.

4.1.1 SISTEMAS DE UNIÓN

Se realiza el reconocimiento del estado del arte local en cuanto a sistemas de unión y herrajes de unión para madera, en donde se incluyen los métodos de unión tradicional y artesanal, los cuales se conservan aún como los de mayor utilización y de mayor confianza en la industria local del mueble y la madera. De igual forma los sistemas de unión por medio de herrajes que se encuentran en el mercado local, los cuales pueden llegar a ser muy reducidos, debido a que no existe una industria local enfocada en la fabricación de dichas piezas y la comercialización de productos importados es muy reducida.

La investigación se realiza por medio de la observación e indagación en el mercado nacional y también mediante la consulta de eventos, ferias y exposiciones de todo lo relacionado a la industria del diseño y construcción como Expodiseño y Expoconstrucción 20015, realizado en el mes de Mayo, y la industria del mueble y la madera en Colombia, en la Feria M&M: Tecnológica e Industrial del Mueble y Madera, realizada en el mes de Marzo, en donde se reúnen más de 200 empresas productoras y comercializadoras nacionales e internacionales para presentar su portafolio de productos y servicios. (15)

4.1.1.1 Sistema de perno y excéntrica (minifix)

El sistema de perno y excéntrica es, realmente, uno de los grandes avances en materia de productos para el ensamble de muebles dado que ofrecen amplias ventajas para el fabricante pero sobre todo para el consumidor final.

Fue inventado e introducido por primera vez en 1980 por la empresa Alemana Hafele Group. De igual forma, la empresa Británica Titus Group se ha encargado de hacer constantes innovaciones a herrajes bajo el mismo principio de perno y caja excéntrica para diversos propósitos.

Figura 5. Sistema perno y caja excéntrica (minifix).



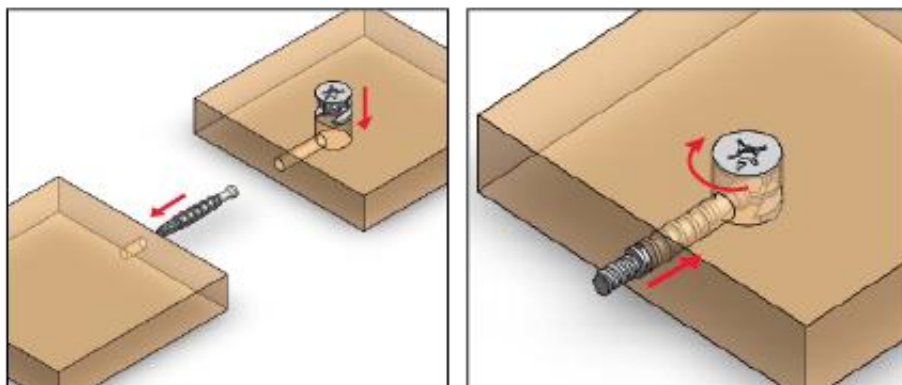
El sistema ofrece gran seguridad al mueble armado, pues las dos piezas son las encargadas de lograr el concepto de concetricidad en el herraje, y esta es la llamada a que, durante el giro de apriete de la caja, el perno se mantenga centrado con relación al agujero de la caja; y no se presenten problemas de desajuste durante el montaje o al corto plazo, sobre todo en aquellos muebles sometidos a fuerzas dinámicas.

Las cajas diseñadas para estos sistemas de uniones se instalan en el componente horizontal y se fabrican de acuerdo a los espesores del tablero de madera: las hay desde 12 hasta 34 milímetros teniendo en cuenta espesores no europeos como 15 o 18 milímetros, y para su montaje, se requiere simplemente realizar una perforación de 15 ó 12 milímetros de diámetro considerando la profundidad y el espesor del panel y de la caja.

Existen diferentes presentaciones de perno, que por lo general es la pieza ubicada en el componente vertical. El perno autorroscante se ensambla en un agujero de cinco milímetros de diámetro, directamente al panel y que por tal motivo no debe utilizarse en muebles que deban ser desensamblados más de dos veces, ya que el filo de la rosca destruye el material, degenerando la perforación. El perno complementado con un inserto plástico o mango que permite el fácil desensamblaje de la unión, ya que el mango plástico es introducido en el tablero de madera y el perno simplemente se rosca dentro de este. Los pernos expandibles, fabricados en acero y con un recubrimiento plástico, se caracterizan por ser de fácil montaje para el usuario final ya que sólo requieren ser introducidos a presión en los agujeros (de 5, 8 o 10 milímetros de diámetro exterior) y permiten el desensamble, aunque esto no debe ser muy frecuentemente pues el continuo montaje y desmontaje deteriora la perforación

También están los pernos dobles, los cuales se usan para unir dos cuerpos en el caso que por razones constructivas cada división deba tener su propio cuerpo o para unir dos entrepaños a un mismo lateral. Para el caso del montaje de pernos, dobles las perforaciones de montaje son pasantes.

Figura 6. Instalación Herraje “minifix”.



- **Material del cabezal “minifix”:** Zinc fundido a presión

Tabla 4. Propiedades Zinc fundido a presión.

PROPIEDADES FISICAS	DATOS
Densidad @20C (g cm-3)	7,14
Punto de Ebullición (C)	907
Punto de Fusión (C)	419,5
PROPIEDADES MECANICAS	
Estado del material	Policristalino
Dureza-Mohs	2,5
Módulo de tracción (GPa)	104,5
Módulo volumétrico	69,4
Relación de poisson	0,249

- **Material del perno “minifix”:** Acero. Regulado bajo la norma DIN-97.
(Rosca que ocupa $\frac{3}{4}$ de la longitud)

4.1.1.2 Sistema con perno “parafuso”

Este sistema es muy similar al usado con caja y excéntrica mencionado anteriormente, sin embargo, el sistema con perno “parafuso” está hecho para unir elementos de mayores dimensiones fabricados con madera o productos de madera usados para armar elementos temporales como camas, cajones, repisas, etc.

El sistema consta de un perno con rosca larga que penetra dentro de la madera donde se ha insertado el cajón mediante un pre perforado y ajustado a presión. Una vez el perno atraviesa la madera y el cajón, se empieza a ajustar a medida que se sigue introduciendo el perno hasta el apriete máximo permitido.

Figura 7. Perno “parafuso”.



4.1.1.3 Ensamblajes artesanales tradicionales

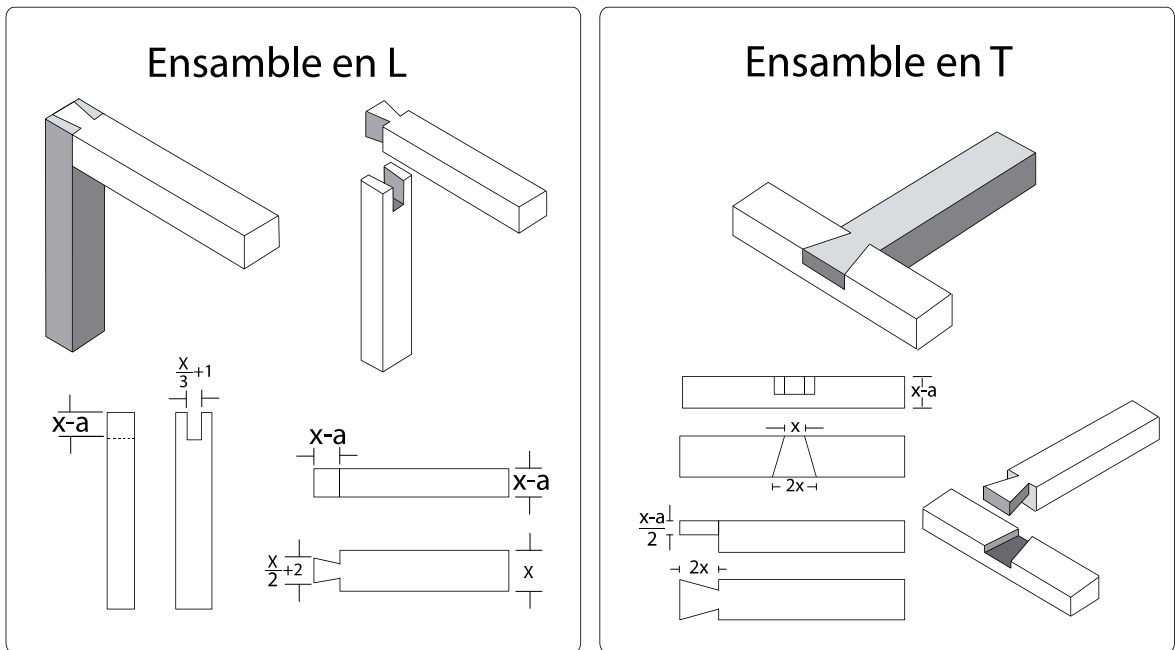
Ensamble a cola de milano:

Para la unión de piezas en ángulos, el ensamble de Cola de Milano es el más usado por sus excelentes condiciones técnicas. Consiste en una espiga en forma trapezoidal, de cabeza más ancha que el arranque. Es uno de los ensambles más empelados por su gran resistencia y solidez. Puede hacerse a mano o por medios mecánicos.

Las espigas o colas salientes se elaboran, de modo que resistan cualquier fuerza que tienda a separar las piezas ensambladas. Para la elaboración de estas, la madera debe estar seca, ya que la contracción de la madera hará que estas se aflojen y por consiguiente disminuyan la resistencia de la unión, la inclinación del corte de la cola no ha de ser muy pronunciada para que no se rompan sus extremos, la norma dice que debe ser un quinto del ancho de la pieza.

La cola de milano a media madera toma el nombre por su semejanza con la cola de dicha ave. Esta unión es muy sólida, por lo tanto, se usa en aquellos trabajos que estén sometidos a tracción y a grandes cargas o esfuerzos estructurales.

Figura 8. Tipos de ensamble a cola de milano.



- **Ensamble en “T” (con cola milano en cara)**

Se diferencia de los ensamblajes a media madera por la forma de la espiga siendo en este caso trapezoidal, situándose la parte más ancha hacia el exterior. Muy empleada en ebanistería y en construcción de armazones, cuando una pieza debe cruzar o encontrarse con otra en el mismo plano (para resistir fuerzas de tracción)

- **Ensamble en “L” (extremo a cola milano)**

La espiga (macho) y la caja (hembra) tienen forma trapezoidal y deben estar proporcionadas. Apropiado para ensamblajes de ángulo resistentes a tracción.

Tarugos:

Están formados generalmente de madera dura, su largo y diámetro varía de acuerdo al lugar donde se usarán así como su textura lisa o estriada, siendo los tarugos estriados los más recomendados en los ensambles de madera. Se utilizan con mucha frecuencia en la fabricación de mobiliario en general para agregarle solidez a los ensambles. Cuando cumplen este objetivo el ensamble es acompañado con algún pegamento y el apriete de las piezas ensambladas con una prensa.

Figura 9. Tarugos de madera.



Determinar la forma del ensamble a realizar dependiendo de si se van a unir cara y canto o canto y canto. Se mide con precisión el lugar en el que van a ir insertados los tarugos y el orificio en el que se ajustaran para que las distancias sean iguales y la pieza encaje correctamente. Se hacen las perforaciones a la profundidad determinada y se insertan los tarugos a presión acompañados de pegante para posteriormente insertarse sobre la otra pieza de madera que conforma el ensamble.

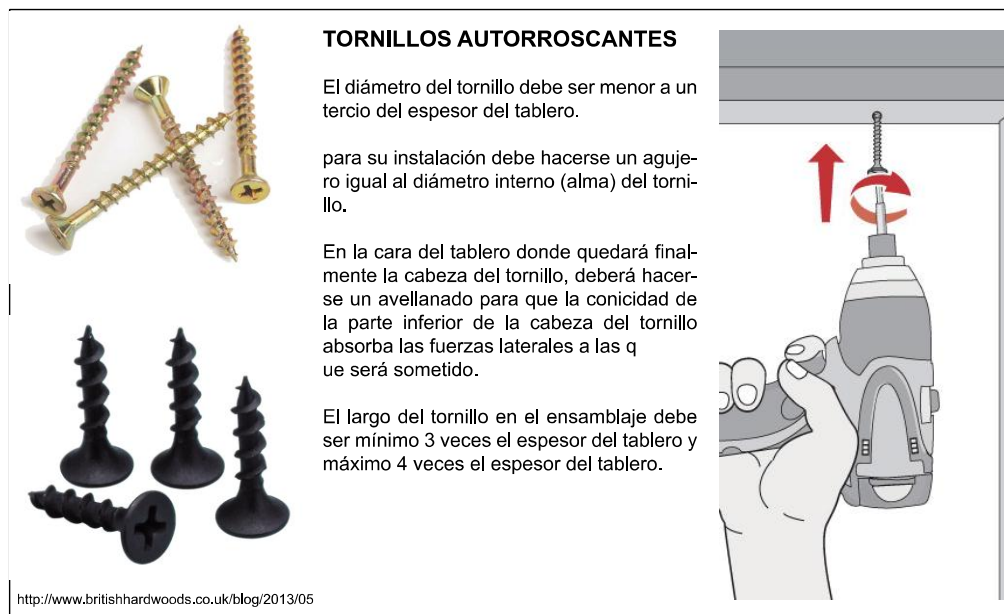
Tornillos autorroscantes:

Estos tornillos tienen más vueltas de rosca y más contacto metal-madera lo cual permite un mejor y más seguro agarre al material. Dependiendo del propósito con el que vayan a ser usados pueden dividirse en tornillos de madera, drywall, lámina de madera, lámina metálica, etc.

Se debe seleccionar el calibre o diámetro máximo posible para tener más perímetro de agarre entre el tornillo y el tablero. Se puede usar cualquier calibre desde el 6 (3,51mm de diámetro) hasta el calibre 20 (8,13mm de diámetro) sólo teniendo en cuenta lo siguiente:

- Para espesor de 12mm, tornillo calibre 7: 3,84mm de diámetro
- Para espesor de 15mm máximo, tornillo calibre 10: 4,83mm de diámetro
- Para espesor de 18mm máximo, calibre 12: 5,49mm de diámetro
- Para espesor de 25mm máximo, calibre 20: 8,13mm de diámetro

Figura 10. Tornillos autorroscantes.



Los tornillos de acero deberán ser fabricados según las especificaciones de las normas NTC 858 y ANSI/ASME B1.1 –1982, deberán tener un recubrimiento para evitar la corrosión.

- **Acero inoxidable tipo A2:** El A2 de acero inoxidable, también llamado estándar de acero graduado inoxidable, consta usualmente de 8 a 13 % de níquel y de 17 a 20 % de cromo.

Suelen contarse seis tipos de tornillos de acero inoxidable: autorroscantes, hexagonales, de carruaje, limitadores, hexagonales métricos y de montaje. Los tornillos autorroscantes o tirafondos se utilizan generalmente para fijar la madera. Los tornillos de cabeza hexagonal se utilizan comúnmente para construcción o reparación. Los tornillos de carruaje están diseñados para fijar la madera y tienen un tope abovedado con una forma cuadrada en la cabeza que aprieta las dos piezas de madera. Los tornillos de ajuste o limitadores son empleados para crear un punto de pivote. Los hexagonales métricos se utilizan para conectar elementos que tengan rosca métrica. Mientras que los tornillos de montaje tienen una cabeza pasante y están diseñados para sujetar las cosas que requieren una cabeza en ambos lados del ensamble.

- **Acero endurecido, galvanizado y Acero endurecido latonado:** Los tornillos autoperforantes suelen estar compuestos de Acero con un recubrimiento galvanizado en Zinc, la composición más común en los llamados tornillos para madera.

4.1.2 MARCAS Y PRODUCTOS INTERNACIONALES

4.1.2.1 LAMELLO

Empresa suiza fundada en 1944 por Hermann Steiner, dedicada a ofrecer soluciones innovadoras y prácticas en el sector del mobiliario, el interiorismo, stands de feria, cocina, montaje y construcciones en madera.

La empresa cuenta con diferentes líneas de productos para el ensamblaje de productos de madera desde un sistema innovador de fresado con perfil para el montaje de accesorios de conexión en forma de bloqueo, hasta conexiones de accionamiento magnético.

- **Clamex P-14**

Es un sistema conector para tableros desde 16 milímetros, está fabricado en plástico reforzado con fibra de vidrio y una pequeña leva hecha en zinc y tiene un tamaño de 66x29x9,7 milímetros. Requiere del uso de una herramienta especial (engalletadora) y un disco, exclusivos de la empresa Lamello. (16)

Figura 11. Lamello. Clamex P-14.



Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Permite el desmonte de los tableros de madera. • Permite su instalación a diferentes ángulos. • No requiere pegamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Es visible sobre la superficie. • Requiere de un disco especial para su instalación.

- **Sistema INVIS**

Es un sistema de unión con accionamiento magnético y mayor fuerza prensora que Clamex P; permite que se realicen uniones invisibles por medio de dos elementos que se atornillan y un cabezal para taladro que es el que acciona el movimiento del tornillo. (17)

Figura 12. Lamello. Sistema Invis





SISTEMA INVIS

El sistema consta de los conectores Invis, las tuercas y el MiniMag, cabezal que se ajusta al taladro.

Gracias al accionamiento magnético, El sistema Invis permite unir y separar conexiones una y otra vez sin orificios visibles.

Los conectores Invis y las tuercas se atornillan de forma rápida con un taladro inalámbrico en orificios de 12 mm ya preparados.

En el momento en el que el MiniMag, fijado a un taladro, gira sobre la superficie, se va cerrando la unión, aportando a la unión una fuerza de la junta de hasta 250 kg por conector.



1200-1500 min⁻¹




<http://www.lamello.com/es/home/uniones-de-madera/sistema-invis-mx/invis-mx2.html>

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Es totalmente invisible • Permite el desmontaje de los tableros. • No requiere pegamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de una herramienta especial para su ensamble. • Costo elevado (130.000 COP, solo el tornillo) • Pre taladrado de las piezas en donde se ubicara el sistema de unión.

• **Tenso P-14**

Es un sistema de unión para tableros de madera y está fabricado en plástico reforzado con fibra de vidrio. Para su instalación en el tablero

requiere del uso de una engalletadora con un disco especial. Se usa para el ensamble de módulos, repisas, armarios, etc. (18)

Figura 13. Lamello. Tenso P-14.

	<p>TENSO P-14</p> <p>Es un herraje de unión de sujeción automática con tres funciones: alinear, fijar y unir.</p> <p>Pese a que el conector aporta una fuerza de atracción, esta versión del herraje ha sido diseñada como ayuda al encolado.</p> <p>Perfil generado por la máquina engalletadora para la inserción manual de las piezas.</p> <p>Se utiliza principalmente para la producción individual o en serie de muebles, equipamiento comercial y stands de feria, y de forma general en interiorismo.</p>	
<p>http://www.lamello.com/es/home/uniones-de-madera/p-system/tenso-p-14.html</p>		

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Es totalmente invisible • Su montaje es rápido y sencillo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de pegamento a lo largo del canto del tablero que se va a unir. • No se puede desmontar. • Requiere de un disco especial para su instalación.

4.1.2.2 SHERPA connection systems gmbh

Empresa independiente desde 2002, cuya sede principal se encuentra en Frohnleiten, Austria, y tiene socios distribuidores por todo el mundo. Se dedica a fabricar sistemas de unión para vigas y las diferentes áreas de carga. Además de

conectores para madera, madera-acero y madera-hormigón armado, los productos de SHERPA también incluyen conectores de paredes BSP, tornillos especiales y láminas protectoras contra incendios con el fin de incrementar la competitividad de las construcciones en madera. Su idea se basa en dos elementos de aluminio que se unen mediante un sistema de conexión inversa de cola de milano. (19)

Figura 14. Sherpa conectores.



Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Soporta un peso de hasta 300kN • Se puede desmontar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su instalación requiere de la inserción de muchos tornillos en diferentes ángulos • Está diseñada para estructuras en madera.

4.2 ENSAYOS MECÁNICOS

Como parte del análisis del estado del arte se establece la realización de ensayos mecánicos de tracción, flexión y esfuerzos cortantes que nos permita establecer las diferentes resistencias que presentan los ensambles en tableros de base celulósica utilizando herrajes de unión o métodos tradicionales de unión para determinar valores aceptables y óptimos que nos sirvan como guía en la propuesta de diseño del sistema de unión.

Los procedimientos para los ensayos de tracción, flexión y cizallamiento se realizan teniendo como referencia los estándares internacionales ISO 6891:1983 Estructuras con madera: ensambles hechos con uniones mecánicas, principios generales para la determinación de esfuerzos y características de deformación, de igual forma otras normativas a considerar para el desarrollo de los ensayos son:

- ASTM D1761-12
- ASTM D6117
- ASTM F606
- ASTM D7469-12

No se encuentra una normativa internacional Americana ni Europea para la realización de ensayos mecánicos sobre uniones con madera o productos de madera, por lo que no se cuenta con un procedimiento estandarizado a seguir, sin embargo se toman como referencia los trabajos y publicaciones de Carl A. Eckelman sobre comprobaciones mecánicas en uniones con madera, contrachapados y productos a base de madera, en los que se plantean diferentes procedimientos para la realización los ensayos mecánicos de ensambles y uniones. (20)

4.2.1 MATERIAL Y DISEÑO DE LAS PROBETAS

4.2.1.1 Tablero de base celulósica

El material empleado para los ensambles a utilizar en los ensayos de laboratorio será la madera contrachapada tipo 1 o triplex común adquirido en el mercado local maderero de la ciudad de Bucaramanga. Previamente se ha determinado un grosor de 18 mm que será constante en todos los ensambles para los ensayos correspondientes.

Tabla 5. Propiedades generales de madera contrachapada (triplex)

Madera Contrachapada (Triplex)	valor
Densidad (Kg/m ³)	340
Resistencia a la tracción (MPa)	44
Límite elástico (MPa)	29,9
Coefficiente de Poisson	0,3
Módulo elástico (Mpa)	12996,6
Módulo cortante (Mpa)	2000,17

Para la selección y utilización del material se tuvieron en cuenta sus propiedades físicas y mecánicas que se logran determinar de la aplicación de pruebas de materiales siguiendo las normativas nacionales NTC 698 para la determinación de la humedad, resistencia a la humedad y determinación del cizallamiento paralelo al grano (21). De igual forma se debe hacer el proceso de selección teniendo en cuenta la normativa EN ISO 8970 planteada para estructuras de madera. Otras normativas a tener en cuenta son:

- COPANT 459
- ASTM D1037
- **Humedad de las láminas terminadas**

Las láminas terminadas contendrán un porcentaje de humedad en base seca no menor de 6 ni mayor de 15

- **Resistencia a la humedad**

Para el contrachapado tipo 1, las piezas ensayadas no mostrarán una deslaminación mayor de 6 mm de profundidad en una longitud de 51 mm.

- **Dimensiones de las láminas**

- **Espesor:**

Para las láminas lijadas por una de las caras, o por ambas, será el nominal, con una tolerancia de +/- 0,4 mm hasta calibres de 19 mm y de +/- 3% del calibre nominal para material con espesores superiores a 19 mm.

Para láminas sin lijar, la tolerancia será de +/- 0,8 mm hasta calibres de 19 mm y de +/- 5 mm para espesores mayores de 20mm.

La medida del espesor debe realizarse aproximadamente en el punto medio de uno de los extremos de la lámina. Si esta medida está por fuera de las tolerancias, se deben tomar tres medidas adicionales así: Una en el punto medio del extremo opuesto y otra en los puntos medios de cada lado. El promedio de las 4 medidas se toma como el espesor de la lámina.

- **Largo y ancho:**

Serán los normales dentro de una tolerancia de +/- 2,0 mm

- **Resistencia al cizallamiento**

Para las láminas de contrachapado tipo 1, deben cumplir los siguientes requisitos:

Tabla 6. Porcentaje de falla. NTC 698 Madera Contrachapa.

Esfuerzo de cizallamiento	Falla de madera mínimo	Falla de madera promedio
---------------------------	------------------------	--------------------------

promedio (Kg/cm²)*	(%)**	(%)**
Menor que 18	25	50
De 18 a 25	10	30
Mayor que 25	10	15
* Estos valores están basados sobre el área de unión del adhesivo		
** Estos valores están basados sobre el área de madera de la superficie fracturada		

- **Ensayos**

- **Determinación de la humedad:**

Se corta de la lámina un espécimen de un área no menor a 58,06 cm² (9 pulgadas²) y su peso no será menor a 20 g. La muestra se debe pesar con una aproximación de 0,1 g, el peso será registrado como peso inicial. A continuación se seca la muestra en un horno entre 100 y 105 grados centígrados, hasta que alcance peso constante. El contenido de humedad se calcula de la siguiente forma:

$$\% \text{ de humedad} = (\text{Peso inicial} - \text{peso constante} / \text{peso constante}) \times 100$$

- **Resistencia a la humedad:**

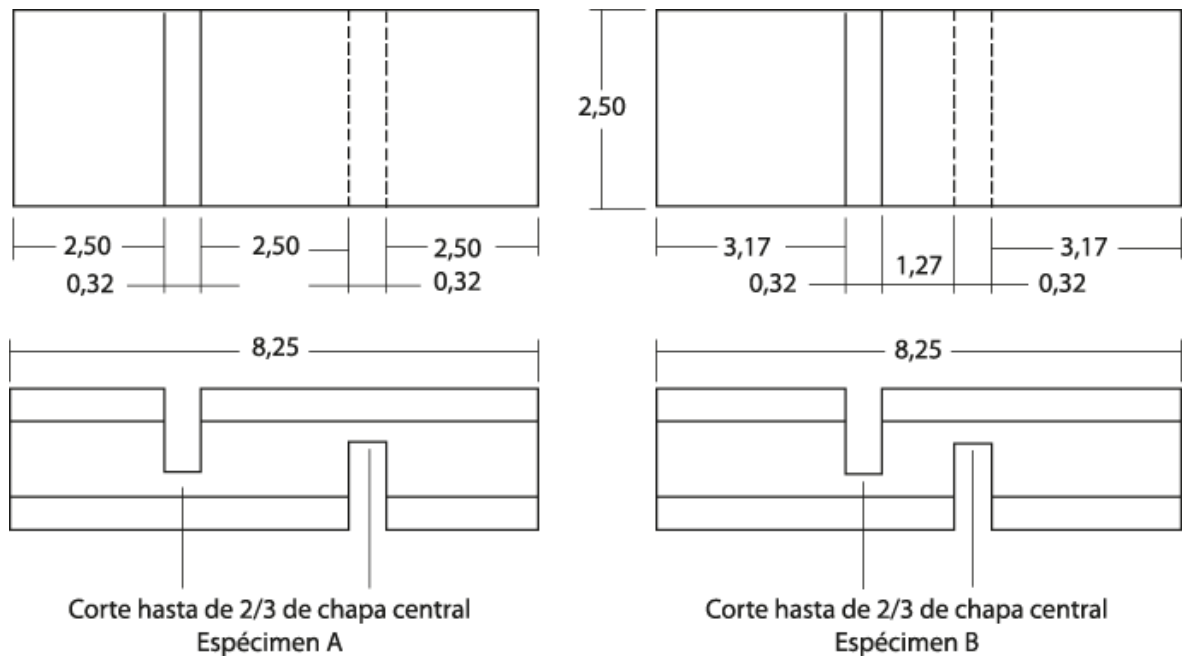
Para láminas de contrachapado de tipo 1 se debe realizar de la siguiente forma:

- Preparación de las probetas. Se cortan de la lámina 5 probetas de 5 x 13 cm con la longitud paralela al grano de la chapa.
- Procedimiento. Las probetas se colocan en un autoclave y se sumergen en agua a 43 grados centígrados. Se hace un vacío de 38 cm de Hg y se mantiene esa condición durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo se lleva a presión atmosférica. Después las probetas permanecen en el agua durante 4,5 horas sin calentamiento. Se remueven del autoclave y se secan durante 15 horas a 66 grados centígrados en un horno.

○ **Determinación del cizallamiento paralelo al grano:**

La resistencia al cizallamiento se debe demostrar con 5 probetas. En contrachapados con chapas de un espesor superior a 1,3 mm el área debe ser como el mostrado en la figura numeral A. Si el espesor de las chapas es menor o igual a 1,3 mm, el área debe ser la mostrada en la figura numeral B.

Figura 15. Áreas según espesor. NTC 698 Madera Contrachapada.



Para todos los calibres de contrachapados se debe evaluar la resistencia al cizallamiento en la chapa más interna de la siguiente manera.

- Se coloca la probeta en el dispositivo de cizallamiento de tal manera que las mandíbulas de la maquina sujeten firmemente los extremos.
- Se aplica la carga de manera uniforme durante todo el ensayo, a una velocidad de 300 ciclos a 500 ciclos por minuto, sobre la línea de cola.
- Se registra la carga máxima soportada por la probeta
- Se determina el porcentaje de falla de madera de la superficie sometida al esfuerzo de cizallamiento. Se entiende por porcentaje de falla, la proporción

de madera que queda adherida a la superficie de cizallamiento. Esta determinación se hace mediante un examen visual y el valor expresado es un porcentaje estimado del área de madera sobrante adherida a la superficie fracturada dentro del área de prueba.

La resistencia máxima de rotura se obtiene de: $CZ = P/S$; donde:

- CZ: Resistencia en el punto rotura, expresada en kg/cm^2
- P: Carga máxima soportada por la probeta, expresada en kg/cm^2
- S: Superficie del plano en donde se produce el cizallamiento: $6,25 \text{ cm}^2$

4.2.1.2 Probetas

Para el diseño de las probetas a utilizar en los ensayos mecánicos se tienen en cuenta los experimentos y trabajos realizados por Carl A. Eckelman en diversas publicaciones ya que no existe una normativa nacional ni internacional válida para la realización de estas pruebas en ensambles o uniones de madera o productos de madera. (20)

Para la realización de los ensayos se usaran ensambles conformados por las piezas de madera contrachapada unidas mediante los herrajes y métodos de unión tradicionales en forma de "L" y de forma continua (canto-canto).

Figura 16. Ensamble continuo.

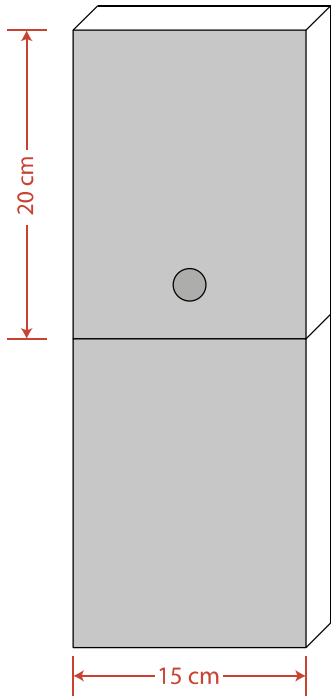
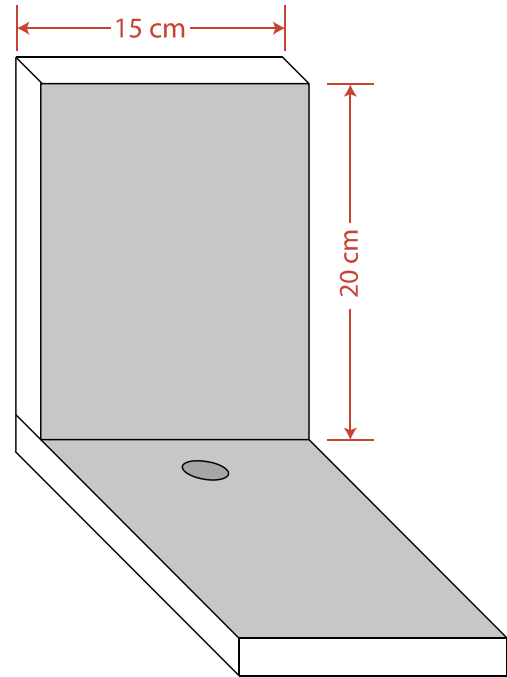


Figura 17. Ensamble en forma de "L".



Las probetas serán obtenidas de un tablero de espesor de 18 mm y dimensiones de 1200 x 2400 mm, medidas estándar de las láminas en el mercado local, que mediante un mecanizado convencional se cortarán en piezas de 200 x 150 mm para la realización de los ensambles.

Los sistemas de unión a usar en los ensayos mecánicos serán los de tipo caja y excéntrica (minifix) de uso regular, ya que son la única alternativa en el mercado local que permite el montaje y desmontaje de los tableros de madera utilizados en el ensamble.

Figura 18. minifix utilizado

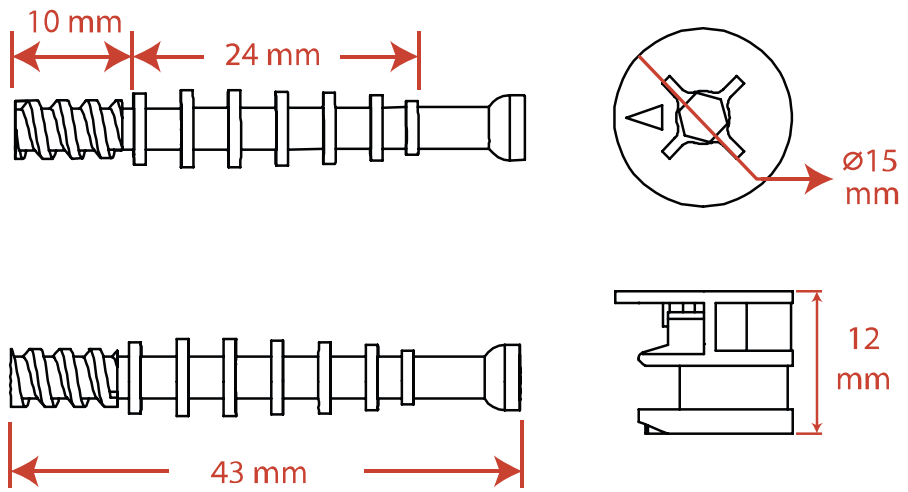
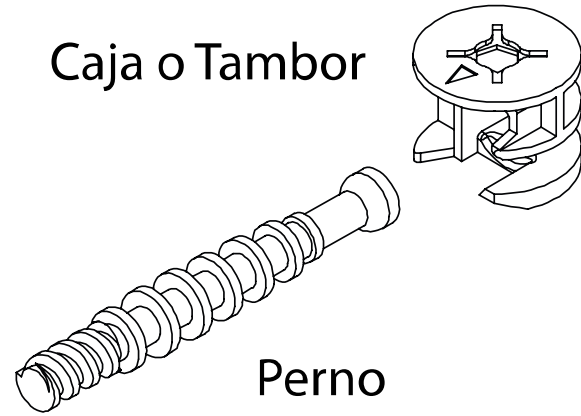
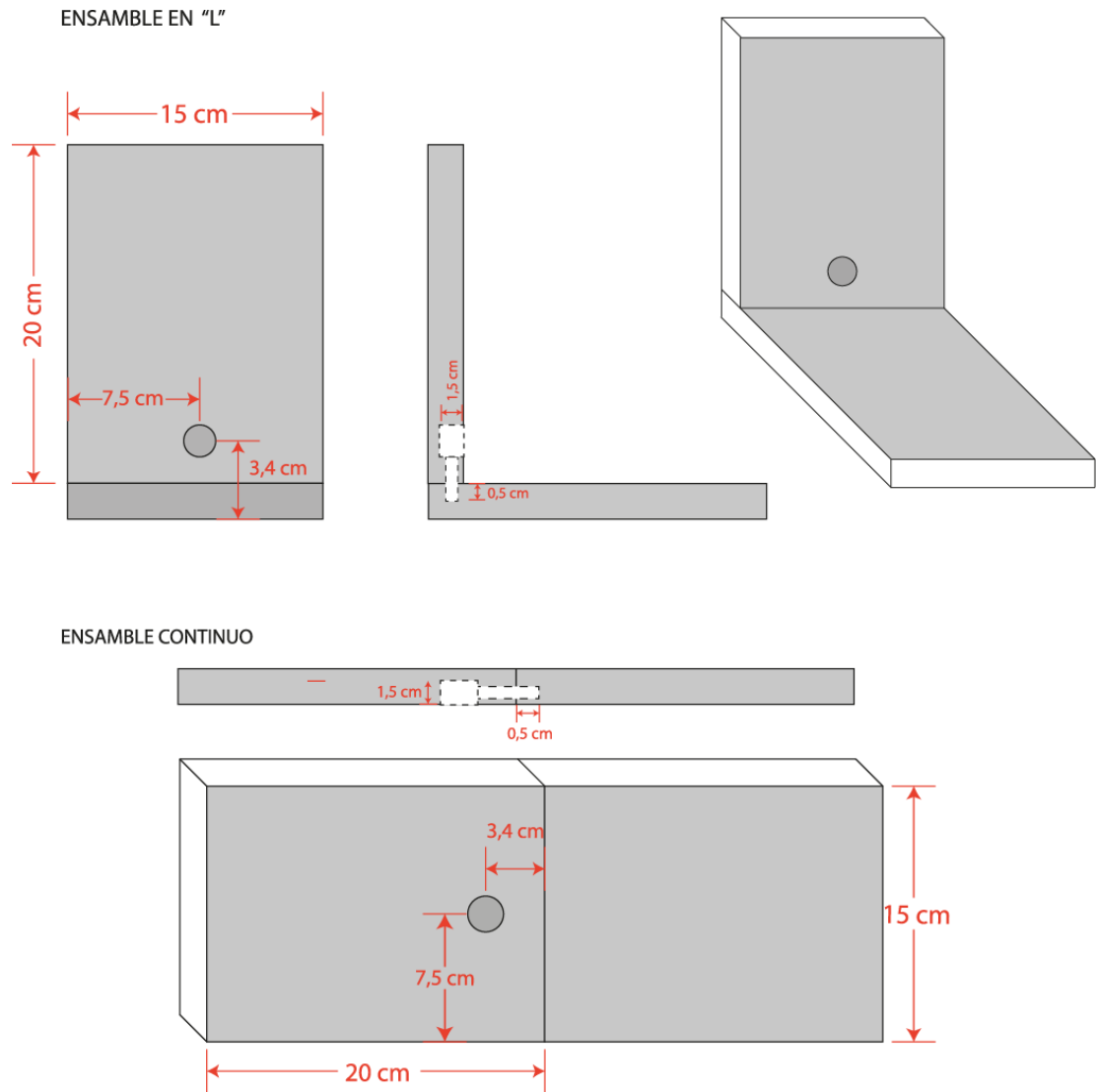


Figura 19. Ubicación del herraje en los ensambles.

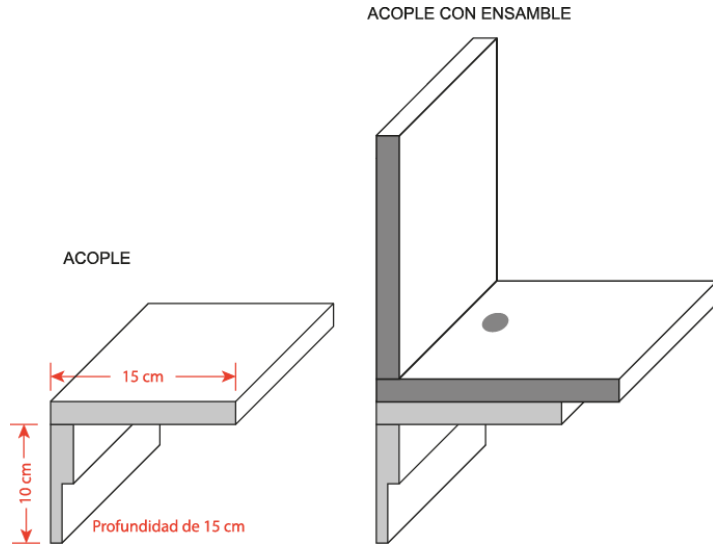


4.2.1.3 Acoples

De acuerdo a la máquina en la cual se realizan los ensayos, se hace necesario el uso de acoples para que la disposición de las probetas de ensambles en forma de "L" y continuo (canto-canto) sea la correcta en el sentido en que se ejercen las fuerzas.

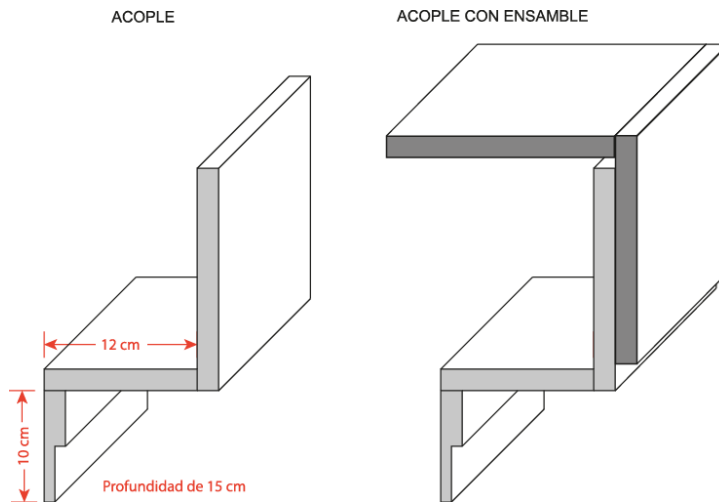
- **Acople para ensayos de tensión:** Usado para los ensayos de tensión en ensambles en “L”

Figura 20. Acople para ensayos de tracción.



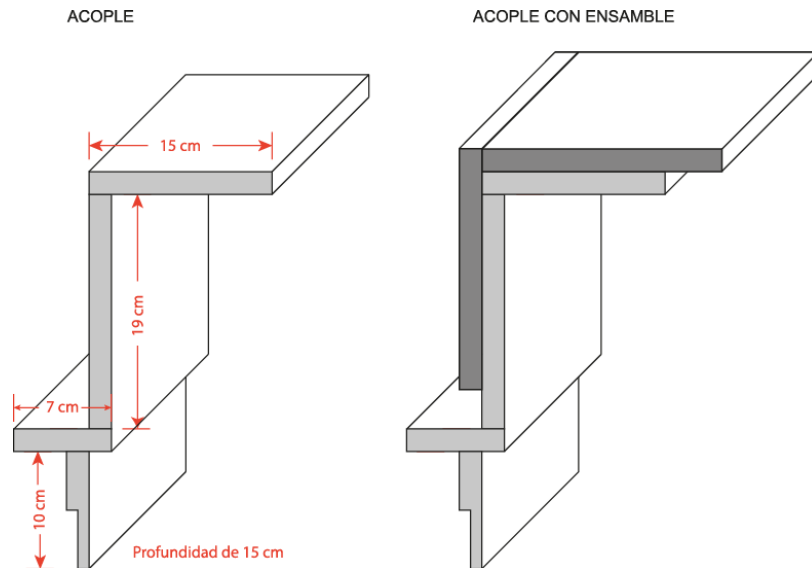
- **Acople para ensayos de flexión:** Usado para los ensayos de flexión en ensambles en “L”

Figura 21. Acople para ensayos de flexión.



- **Acople para ensayos de esfuerzo cortante:** Usado para los ensayos de esfuerzo cortante en ensambles en “L” y ensambles continuos (canto – canto)

Figura 22. Acople para ensayos de esfuerzo cortante.



Para los ensayos de tracción en ensambles continuos (canto – canto) se utilizaron las pinzas propias de la máquina universal de ensayos. De igual forma, las pinzas son utilizadas para el agarre de los acoples anteriormente explicados.

Para los ensayos de flexión en ensambles continuos (canto – canto) se utiliza el elemento apoyo en dos puntos propio de la máquina universal de ensayos.

4.2.2 EQUIPO EMPLEADO

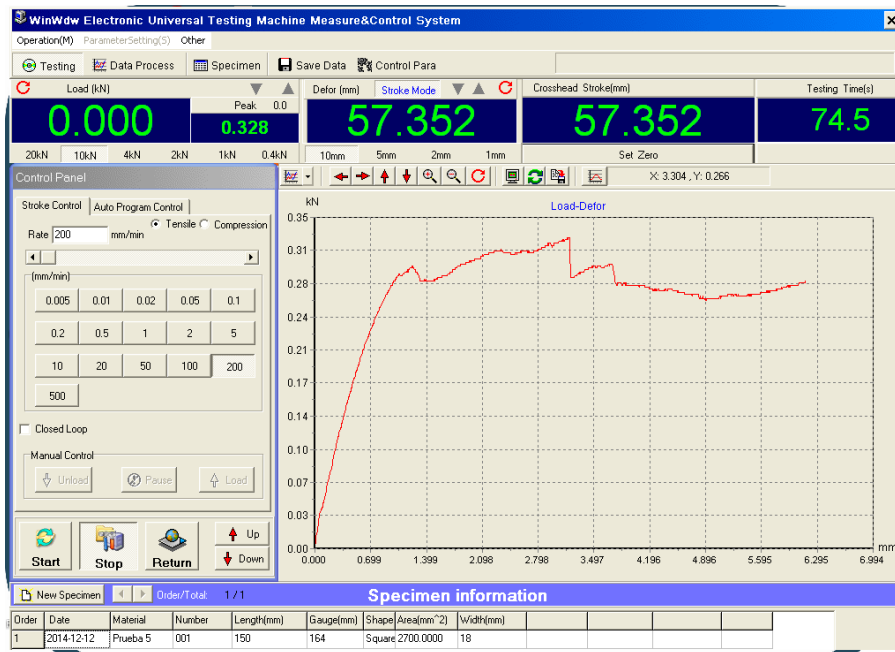
El equipo empleado para la realización de los ensayos es la WDW-E Macrocomputer Controlled Electronic Universal Testing Machine, conectada a su control de mando instalado en un ordenador mediante el software WinW DW Measure and Control System, fabricado y producido por TIME-Shijin Group, China.

Figura 23. Máquina Universal de Ensayos WDW-10E.



Fuente: <http://www.timegroup.com>.

Figura 24. Interfaz de software WinW DW Measure and Control System.



4.2.3 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Para la propuesta de procedimiento a seguir en todos los ensayos se toman como referencia la normativa internacional ISO 6891:1983 Estructuras con madera: ensambles hechos con uniones mecánicas, principios generales para la determinación de esfuerzos y características de deformación, y el estándar ASTM D1761-12, los cuales plantean procedimientos para hacer ensayos hasta el punto de rotura.

Las pruebas también se realizan de acuerdo a los ensayos realizados por Anand Nandanwar, Motupalle Venugopal Naidu y Chhabi Nath Pandey en uniones de productos de mobiliario de madera, basados en los experimentos y publicaciones de Carl A. Eckelman. (22)

El registro de datos y gráficas de todos los ensayos realizados se encuentra en el Anexo A.

4.2.3.1 Ensayo de tensión

Con la realización de estos ensayos se pretende determinar valores del límite de fluencia, elongación en el punto de fluencia, carga de rotura, elongación en el punto de rotura y reducción de área. Esta prueba consiste en someter una probeta a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura.

Se realizan 10 ensayos en total, 5 para los ensambles en forma de “L” mediante la utilización del acople diseñado y 5 para los ensambles continuos (canto-canto) utilizando las tenazas de la máquina. Se establece una programación de velocidad de 5 mm/min y una carga máxima determinada en 4 KN.

Una vez realizados los ensayos y tomado los registros necesarios, se puede elaborar el diagrama de esfuerzo – fatiga o tensión – deformación.

Figura 25. Gráfica clásica de Esfuerzo vs deformación.

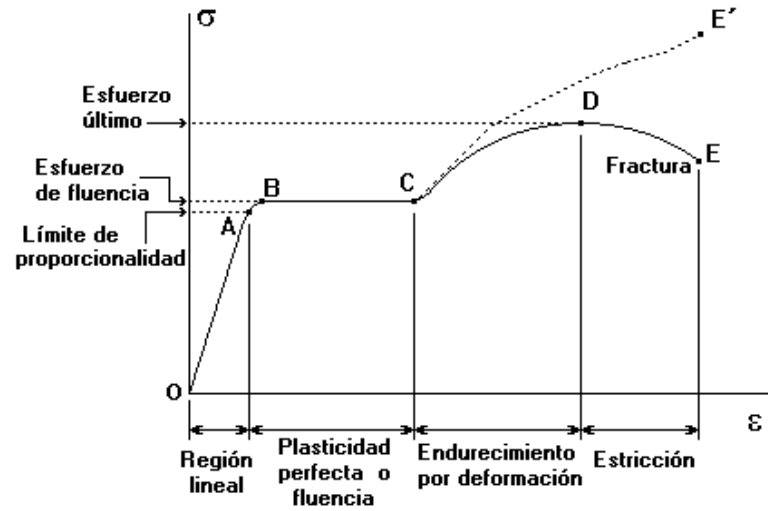


Figura 26. Montaje de Tensión en ensamble continuo.



Figura 27. Montaje de tensión en ensamble en "L".



- Resultados

Tabla 7. Resultados probetas a tensión ensambles continuos.

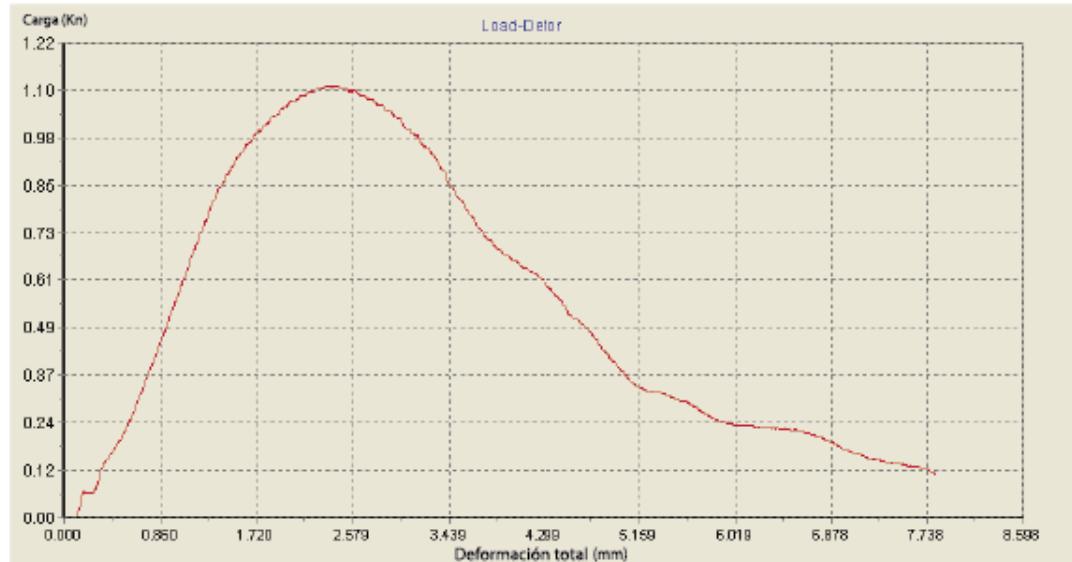
TENSIÓN – Ensamble continuo (canto – canto)			
	Carga máx (KN)	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)
Probeta 1	1,10	2,55	0,41
Probeta 2	0,98	1,15	0,36
Probeta 3	1,03	1,60	0,38
Probeta 4	0,87	1,22	0,32
Probeta 5	1,18	1,62	0,44

Tabla 8. Resultados probetas a tensión ensambles en L.

TENSIÓN – Ensamble en "L"			
	Carga máx (KN)	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)
Probeta 1	0,43	5,397	0,165
Probeta 2	0,428	1,25	0,158
Probeta 3	0,24	0,36	0,087

Probeta 4	0,29	1,32	0,11
Probeta 5	0,29	1,33	0,11

Gráfica 1. Carga vs Deformación. Tensión en ensamble continuo



- **Observaciones**

- Los ensambles en “L” presentan un comportamiento muy variable, lo cual se puede explicar por las chapas del tablero que no tienen siempre la misma composición a lo largo de la lámina
- Al finalizar los ensayos se observa que las fallas se concentran en el perno al salirse, deformarse y romper el tablero al que está haciendo unión.
- El ensamble continuo presenta un mejor comportamiento a la carga aplicada, soportando casi el doble que el ensamble en “L”.
- El promedio del esfuerzo máximo de tensión en los ensambles continuos es de 0,38 MPa y el promedio de carga máxima es de 1,03 KN. De igual forma, el promedio de esfuerzo máximo en los ensambles en “L” es de 0,13 MPa y un promedio de carga en el punto de falla de 0,33 KN.

4.2.3.2 ensayo de flexión

Con la realización de estos ensayos se pretende conocer la resistencia máxima de los ensambles a esfuerzos de flexión en el punto de unión. No hay términos estandarizados para presentar los resultados de los ensayos de flexión en amplias clases de materiales; por el contrario, se aplican términos asociados a los ensayos de flexión a formas o tipos específicos de materiales. Por ejemplo, las especificaciones de materiales a veces requieren que una probeta se flexione hasta un diámetro interior especificado. En este caso se trabaja hasta el punto de rotura como indica la norma ISO 6891.

Se realizan 10 ensayos en total, 5 para los ensambles en forma de “L” mediante el acople diseñado y 5 para los ensambles continuos (canto-canto) utilizando el apoyo de 2 puntos. La máquina es programada a una velocidad de 10 mm/min, una carga máxima determinada en 4 KN y se establece el punto de rotura hasta un desplazamiento de 7 mm.

Figura 28.Montaje de flexión en ensamble continuo.



Figura 29. Montaje de flexión en ensamble en "L".



- Resultados

Tabla 9. Resultados probetas a flexión en ensambles continuos.

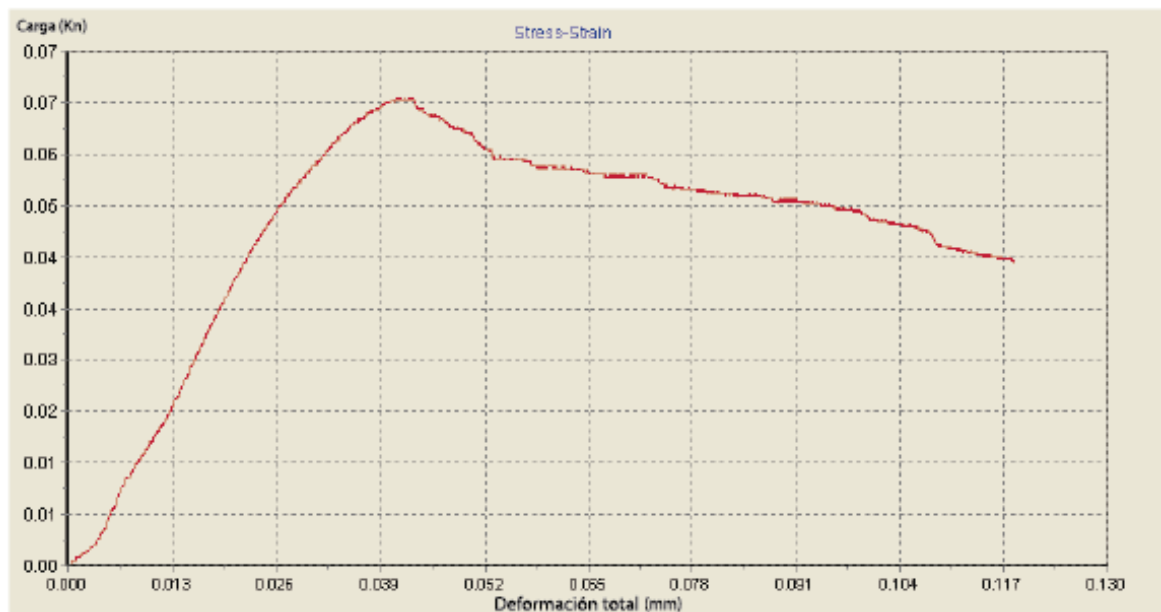
FLEXIÓN – Ensamble continuo (canto – canto)			
	Carga máx (KN)	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)
Probeta 1	0,232	7,2	0,09
Probeta 2	0,132	20,12	0,08
Probeta 3	0,129	16,4	0,078
Probeta 4	0,154	12,4	0,07
Probeta 5	0,144	16	0,07

Tabla 10. Resultados probetas a flexión en ensambles en L.

FLEXIÓN- Ensamble en "L"			
	Carga máx (KN)	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)
Probeta 1	0,053	22,192	0,02
Probeta 2	0,044	27,74	0,02

Probeta 3	0,033	15,768	0,012
Probeta 4	0,035	13,14	0,015
Probeta 5	0,047	27,156	0,186

Gráfica 2. Esfuerzo vs Deformación. Flexión en ensamble continuo



- **Observaciones**

- Los ensayos realizados en los dos tipos de ensambles demuestran la variabilidad en su resistencia al esfuerzo flector dependiendo de cómo y dónde se le aplique la fuerza.
- El ensamble continuo presenta mejor comportamiento resistiendo una carga mayor que el ensamble en forma de “L”.
- Las deformaciones varían considerablemente pero es constante su presencia en el tablero en el que se encuentra el perno.
- El tablero contrachapado falla antes de que el herraje se empiece a deformar.
- El esfuerzo máximo promedio de flexión en los ensambles continuos es de 0,07 MPa y el promedio de carga máxima es de 0,16 KN. De

igual forma, el promedio de esfuerzo máximo en los ensambles en “L” es de 0,05 MPa y un promedio de carga en el punto de falla de 0,04 KN.

4.2.3.3 ensayo de esfuerzo cortante

Con la realización de estos tipos de ensayos se pretende conocer la resistencia de los ensambles que conformarían un mobiliario a esfuerzos cortantes directos. Los esfuerzos cortantes en caras paralelas son iguales a los esfuerzos cortantes en caras perpendiculares. Cuando en una sección solo actúan esfuerzos cortantes y no hay tensiones axiales se dice que se trata de un esfuerzo cortante puro o directo. Bajo la acción de estos esfuerzos cortantes, los elementos se deforman dando lugar a deformaciones angulares o deformaciones por cortantes.

Se realizan 10 ensayos en total, 5 para los ensambles en forma de “L” y 5 para los ensambles continuos (canto-canto) mediante los acoples diseñados. La máquina es programada a una velocidad de 10 mm/min y una carga máxima determinada en 4 KN.

Figura 30. Montaje de cortante en ensamble continuo.



Figura 31. Montaje de cortante en ensamble en "L".



- Resultados

Tabla 11. Resultados probetas a esfuerzo cortante en ensambles continuos.

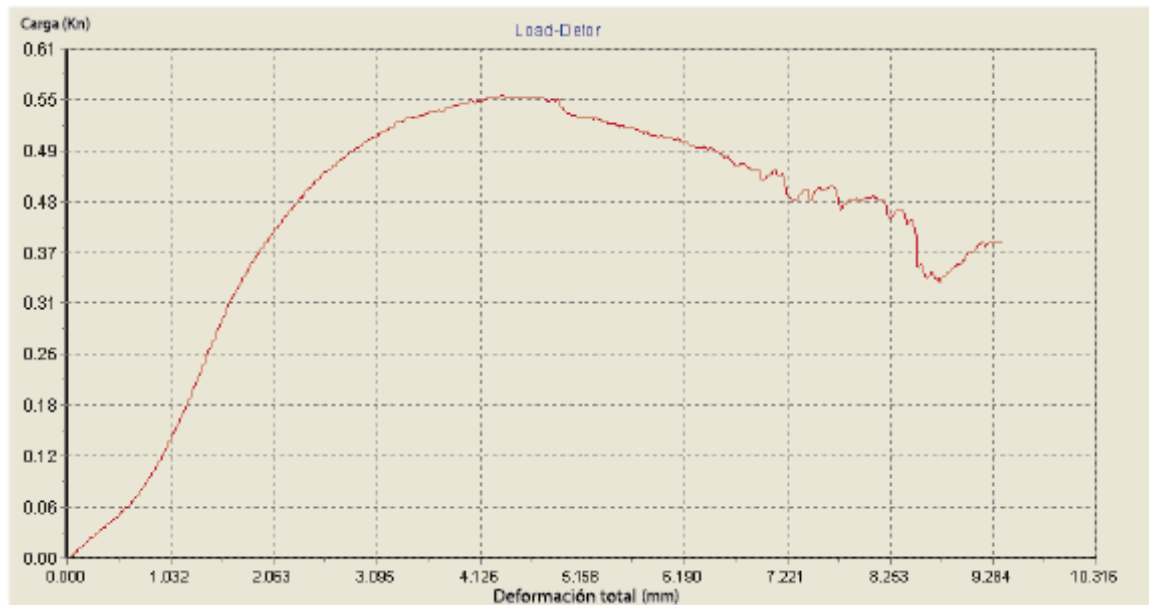
ESFUERZO CORTANTE – Ensamble continuo (canto – canto)			
	Carga máx (KN)	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)
Probeta 1	0,52	5,266	0,19
Probeta 2	0,55	2,711	0,20
Probeta 3	0,44	5,859	0,16
Probeta 4	0,55	4,126	0,20
Probeta 5	0,43	5,330	0,16

Tabla 12. Resultados probetas a esfuerzo cortante en ensambles en L.

ESFUERZO CORTANTE- Ensamble en "L"			
	Carga máx (KN)	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)
Probeta 1	0,32	16	0,08
Probeta 2	0,864	12	0,085

Probeta 3	1,336	13	0,09
Probeta 4	1,07	9,5	0,10
Probeta 5	0,84	8,08	0,31

Gráfica 3. Carga vs Deformación. Cortante en ensamble continuo



- **Observaciones**

- Los ensayos realizados en ambos tipos de ensambles fueron rápidos al presentarse la falla alrededor de los 60 segundos en el ensamble continuo y 100 segundos para el ensamble en “L”.
- El ensamble en “L” presenta una mayor resistencia a la carga aplicada, logrando soportar casi el doble que el ensamble continuo.
- La falla se presenta en el tablero en el que se encuentra la caja del herraje, pues el perno que se introduce en este, desgarró y fracturó la madera al ser aplicada la fuerza.
- El esfuerzo máximo cortante en los ensambles continuos es de 0,18 MPa y el promedio de carga máxima es de 0,50 KN. De igual forma, el promedio de esfuerzo máximo en los ensambles en “L” es de 0,13 MPa y un promedio de carga en el punto de falla de 0,88 KN.

4.2.4 OBSERVACIONES GENERALES DE ENSAYOS

- Los ensayos demuestran la inconsistencia de los ensambles formados por los tableros de madera contrachapada y el herraje, al evidenciar el comportamiento de múltiples fracturas que sufre a lo largo de cada prueba con una aplicación de peso y velocidad determinados.
- El ensamble tiende a fallar en el punto de unión del perno con el tablero, es decir en el área en que el perno es atornillado al tablero luego de ser pre-perforado. Algunas deformaciones se presentan a lo largo de la longitud del perno y en menor medida en el tambor, dependiendo del sentido en el que es aplicada la fuerza.
- En los ensayos de flexión y tensión, el ensamble que más carga soporta es el continuo con un valor promedio de 0,16KN y 1,03KN respectivamente y para la prueba de esfuerzo cortante el mejor comportamiento se obtiene del ensamble en “L” el cual soporta una carga máxima promedio de 0,88KN.
- La mayor carga resistida en la realización de todas las pruebas mecánicas se obtiene en el ensamble en continuo sometido a un esfuerzo de tensión con un valor promedio de 1,03 KN.
- Los ensambles continuos (canto-canto) evidencian mayor resistencia al esfuerzo por flexión y tensión, lo cual se puede explicar por la ubicación del perno en el canto del tablero que le brinda mayor agarre. Sin embargo, este tipo de ensamble no es muy relevante en la fabricación de mobiliario, por lo que los valores de mayor relevancia son los obtenidos por los ensambles en forma de “L”.

4.3 PRUEBAS DE EFICICENCIA

Para la realización del análisis de los protocolos actuales de los sistemas de unión y herrajes de unión utilizados en la industria de mobiliario local, se parte de la teoría de la Ingeniería de Métodos y Tiempos de Niebel, en la cual se divide una actividad en tareas y operaciones para hacer su análisis. La medición de tiempos por cada tarea y registro en video facilita el análisis de dicha operación evidenciando las fallas o posibles mejoras a plantear con el fin de optimizar en términos de producción. (14)

El modelo planteado por la empresa TITUS sobre la aceptación del consumidor también brinda una herramienta útil de medición sobre el usuario final de un producto de mobiliario. La información es cuantificada en la fórmula del factor de aceptación del consumidor (FAC), con la cual se busca reducir lo más posible la complejidad de un protocolo de montaje para obtener el método o producto que mejor cumpla con las necesidades de ensamblaje del usuario. (5)

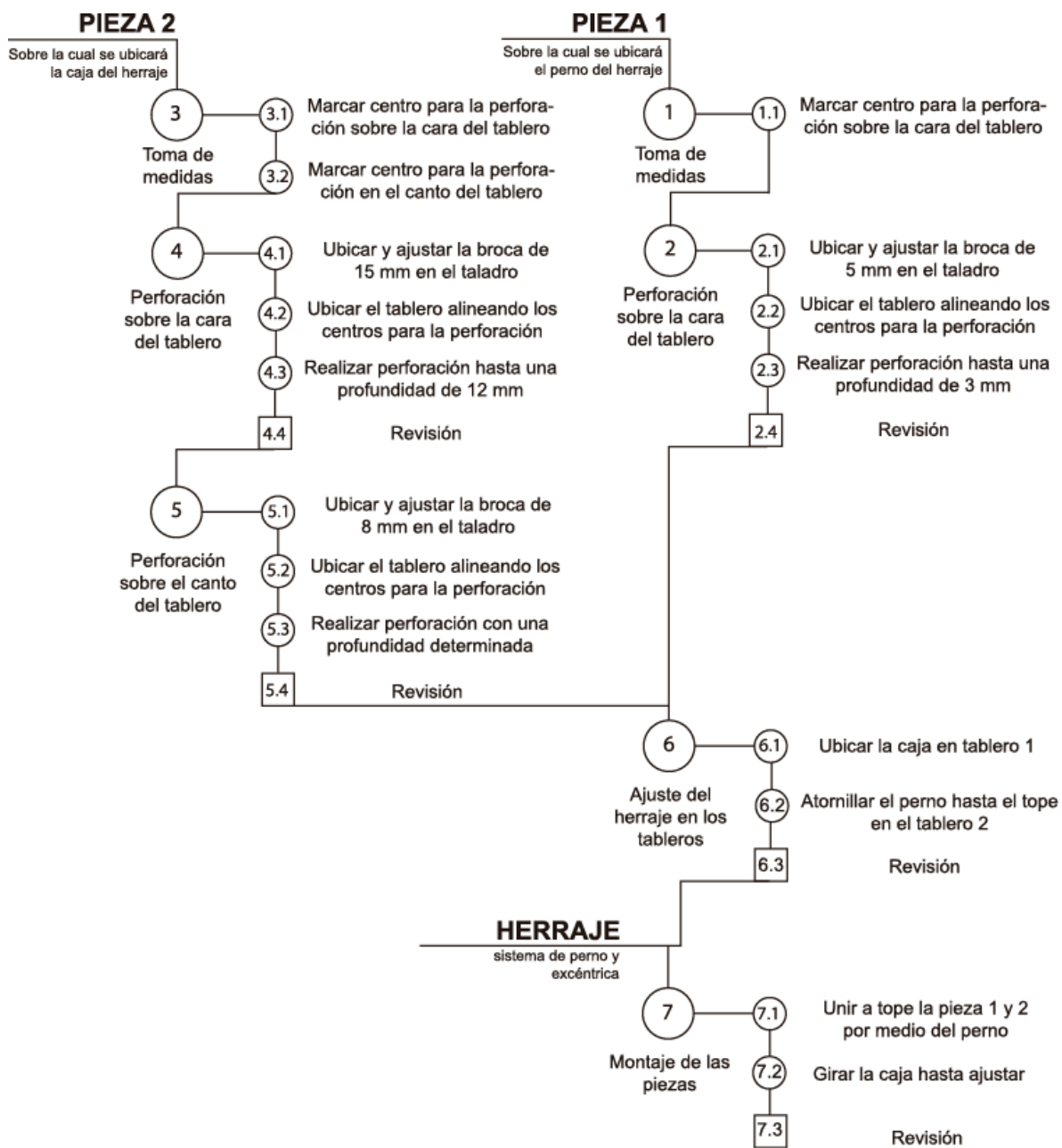
4.3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

Para el análisis de operaciones y tareas se tiene en cuenta que el uso de los sistemas de unión a analizar está dividido en dos etapas: instalación del sistema de unión y ensamble de las piezas usando el sistema de unión.

La utilización de diagramas hombre/máquina no se tiene en cuenta en este proceso debido a que se presentan variables que no se pueden controlar como lo es la maquinaria utilizada para la instalación de los sistemas de unión y el tipo y referencia de la maquinaria, las cuales no pueden generalizarse ni centrar el estudio en una sola.

Para el montaje del herraje “minifix” en los tableros se deben emplear 3 configuraciones de taladrado diferentes para 3 brocas diferentes, lo cual significa ya un tiempo significativo en desplazamientos del operario y configuración de la maquinaria.

Figura 32. Diagrama de flujo de procesos Herraje minifix.



4.3.2 MEDICIÓN DE TIEMPOS

Se realiza la toma y análisis de tiempos empleados en cada operación para el maquinado de los tableros en donde se ubicarán los herrajes y los procedimientos de ensamblaje de las piezas finales.

La medición de tiempos se divide dos: El maquinado en las piezas de madera contrachapada a trabajar y el ensamblaje final de dichas piezas mediante el herraje “minifix” instalado.

Selección de trabajadores

Se requiere la participación de dos tipos de usuarios: Un usuario experto o conocedor de la labor, para realizar la medición de tiempos en cuando a maquinado de las piezas de madera y montaje del herraje en estas. Un usuario inexperto o novato es requerido para analizar los tiempos finales del ensamblaje de los tableros mediante el herraje.

Muestreo

El cálculo del número de observaciones o tamaño de la muestra a tomar para validar la medición de tiempos, como se plantea en la teoría de la Ingeniería de Métodos y Tiempos, se realiza mediante el método estadístico de la siguiente manera.

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - \sum (x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra que se desea hallar

n' = Número de observaciones del estudio preliminar

Σx = Sumatoria de los tiempos del estudio preliminar

X = Valor de tiempos en las observaciones

40 = Constante para un nivel de fidelidad del 95%

- Se realizan 5 observaciones preliminares, y se obtienen los tiempos con los cuales se hallan las sumatorias y cuadrados requeridos para hacer el cálculo:

$$\Sigma x = (338 + 357 + 370 + 400 + 382) = 1848$$

$$\Sigma x^2 = (114244 + 127449 + 136900 + 160000 + 145924) = 685282$$

- Se reemplazan los valores en la fórmula para obtener el número final de observaciones a realizar para la validación de los tiempos

$$n = \left(\frac{40^2 \sqrt{5(685282) - (1848)^2}}{1848} \right)^2 = 5$$

El resultado es de un número de 5 observaciones a realizar para validar el estudio, por lo tanto, se obtiene que el número de observaciones preliminares realizado abarca el número de observaciones hallado mediante la fórmula del método estadístico.

En el anexo B se encuentra el protocolo de la prueba planteada para medir los tiempos de los usuarios seleccionados.

Esquema de proceso y tiempos

Tabla 13. Esquema de procesos y tiempos promedios de montaje y ensamblaje con herraje minifix.

PIEZA 1	Toma de medidas.	Marcar centro para la perforación sobre la cara del tablero.	31 seg	193 seg
		Marcar centro para la perforación en el canto del tablero.	27 seg	
	Perforación sobre la cara del tablero.	Ubicar y ajustar la broca en el taladro.	20 seg	
		Ubicar el tablero alineando los centros para la perforación.	15 seg	
		Realizar perforación hasta una profundidad de 12mm.	33 seg	
		Revisión	12 seg	
	Perforación sobre el canto del tablero.	Ubicar y ajustar la broca en el taladro.	13 seg	
		Ubicar el tablero alineando los centros para la perforación.	19 seg	
		Realizar perforación hasta una profundidad determinada.	18 seg	
		Revisión	5 seg	
PIEZA 2	Toma de medidas	Marcar centro para la perforación sobre la cara del tablero.	36 seg	109 seg
	Perforación sobre la cara del tablero.	Ubicar y ajustar la broca en el taladro.	19 seg	
		Ubicar el tablero alineando los centros para la perforación.	18 seg	

		Realizar perforación hasta una profundidad de 11mm.	28 seg	
		Revisión	8 seg	
ENSAMBLE	Ajuste del herraje en los tableros	Ubicar la caja en tablero 1.	5 seg	69 seg
		Atornillar el perno hasta el tope en el tablero 2.	25 seg	
		Revisión	4 seg	
	Montaje de las piezas	Unir a tope la pieza 1 y la pieza 2 por medio del perno	16 seg	
		Girar la caja hasta ajustar.	10 seg	
		Revisión	9 seg	
Total tiempo de operaciones			6 minutos : 11 segundos	

Figura 33. Medición de tiempos. Montaje y ensamblaje del herraje.



En la anterior tabla se encuentran tabulados cada operación a realizar y el tiempo promedio que tomo a los 5 operarios expertos e inexpertos seleccionados culminar

dicha tarea. Como resultado se obtiene un tiempo promedio estimado de 6 minutos y 11 segundos para toda la labor de montaje del herraje en las piezas y el ensamblaje de las piezas de contrachapado.

Factor de aceptación del consumidor

Siguiendo la fórmula planteada por la empresa TITUS mediante la cual se detecta el tipo de ensamble que otorga el mayor nivel de satisfacción, se debe obtener el factor de aceptación del consumidor con el herraje “minifix” analizado en el estado del arte tenemos:

$$(T+A) \times N = FAC$$

(Cantidad total de piezas + Acciones) x Número de tipos de partes = FAC

Esta fórmula se aplica a las operaciones del ensamble de las piezas de contrachapado mediante el herraje, tal como se le entregaría al usuario final para el ensamblaje de su producto mobiliario. 2 piezas del herraje “minifix”, perno y caja, con 4 acciones a realizar para su ensamblaje, como se muestra en el esquema de procesos y tiempos.

$$(T+A) \times N = \mathbf{FAC}$$

$$\mathbf{(2 + 4) \times 2 = 12}$$

De esta forma obtenemos un valor de aceptación del consumidor de 12 para el herraje “minifix”, lo cual sirve como valor comparativo para la propuesta de diseño a desarrollar, la cual, en busca de mejorar la aceptación del consumidor, debe disminuir el número hallado con la fórmula. A menor número resultante de la ecuación, mayor será la aceptación del consumidor respecto a la facilidad de ensamble del mobiliario.

4.3.3 OBSERVACIONES DE MEDICIÓN DE TIEMPOS EN “MINIFIX”

De la aplicación de ingeniería de métodos a las operaciones y el análisis de tiempos realizado se puede evidenciar que el montaje del herraje y el ensamblaje de las piezas no es una labor que requiera mucho tiempo ya que el promedio total de las operaciones es de 6 minutos 11 segundos para el operario experto, pero dichos tiempos pueden aumentar si se le asigna la labor a un operario inexperto.

El uso de diferentes herramientas manuales y máquinas fijas, así como de brocas de diferente diámetro es un factor que evidencia la falta de optimización del proceso de montaje del herraje, aumentando tiempos de ajuste de las diferentes máquinas y herramientas, cambio de brocas, desplazamientos, etc.

Si bien los tiempos no son muy altos, la cantidad de operaciones hace que se puedan presentar diversos errores humanos en el proceso de montaje del herraje que impedirían el correcto funcionamiento del sistema. En cuanto al ensamblaje, una reducción del número de operaciones podría verse reflejada en una mejor percepción por parte del usuario para el sistema de unión.

5. DISEÑO CONCEPTUAL

Se trabaja la generación de conceptos como proceso creativo que de origen a diferentes posibles soluciones al problema de diseño a abordar como un sistema de unión. Se trabaja desde la lluvia de ideas, bocetación y modelos o maquetas.

5.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Se plantean los requerimientos básicos que las alternativas de diseño deben cumplir basándose principalmente en los aspectos de la necesidad planteada como sistema de unión para los tableros contrachapados ya establecidos. Las

dimensiones establecidas, el material seleccionado y la funcionalidad son algunos factores que influyen en la concepción de las propuestas de diseño. De igual forma, el análisis de los sistemas de unión y los ensayos realizados en los herrajes seleccionados en el estado del arte arrojan valores de resistencias a esfuerzos límites que deben tenerse en cuenta.

Se realiza una clasificación de requerimientos basada en la propuesta por Gerardo Rodríguez (1985), la cual plantea diferentes tipos de requerimientos que deben listarse de forma clara y ubicarse dependiendo del criterio correspondiente. Los requerimientos de tipo económico y legal no se tienen en cuenta pues no aplican para el diseño en particular. (23)

5.1.1 REQUERIMIENTOS DE USO

- El sistema de unión debe ser concebido para instalarse mediante maquinas herramientas convencionales , preferiblemente manuales (taladro, rebordeadora, ruteadora, etc)
- Los elementos complementarios a utilizarse (tornillos, clavos, grapas, etc.) deben ajustarse a la forma y materiales del diseño a proponer.
- El sistema de unión debe facilitar las tareas de montaje y desmontaje de los componentes del mobiliario modular en términos de eficiencia de tiempos y número de operaciones.
- El sistema de unión debe tener un lenguaje de uso claro que facilite su utilización para el usuario más inexperto.

5.1.2 REQUERIMIENTOS DE FUNCIÓN

- Los ensambles formados por el sistema de unión debe tener una resistencia a esfuerzos cortantes, de tensión y flexión similares a los ensambles con herrajes y sistemas de unión del estado del arte.

- El sistema de unión debe quedar seguro una vez completo el montaje de los tableros y de igual forma permitir el proceso inverso para el desmontaje de las piezas.
- El sistema debe permitir el montaje de los tableros a diferentes ángulos según se requiera en el mobiliario a conformar, bien sea en forma de “L”, en forma de “T” o en forma continua (canto – canto).

5.1.3 REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES

- El calibre propuesto para los tableros de base celulósica será de 18 mm, por lo que el sistema de unión debe contar con las dimensiones que el tablero le permita dejando un margen de seguridad mínimo de 2 mm.
- Un distanciamiento de 20 cm entre los sistemas de unión es sugerido cuando las dimensiones del mobiliario superen los 40 mm en su longitud.
- El sistema de unión debe estar conformado por 2 piezas que realicen un ensamble en forma de “machihembrado”

5.1.4 REQUERIMIENTOS TÉCNICO-PRODUCTIVOS

- La fabricación del sistema de unión debe concebirse desde las tecnologías y procesos de producción disponibles en la industria nacional.

5.1.5 REQUERIMIENTOS FORMAL ESTÉTICOS

- El sistema de unión debe ser de tipo oculto para garantizar una apariencia limpia en el mobiliario modular final.

5.1.6 REQUERIMIENTOS DE IDENTIFICACIÓN

- El sistema de unión debe contar con un código de color que permita un protocolo de montaje más claro mediante un lenguaje de uso instintivo.

5.2 PARÁMETROS

- Dimensiones fijas de 11 mm de ancho máximo, 80 mm de largo máximo y 10 mm de profundidad máxima para las piezas del ensamble.
- Tablero contrachapado de calibre mínimo de 18 mm y un ancho de profundidad máximo sugerido de 40 cm.
- Resistencia a esfuerzos de tensión cercana a valores de 0.33 Kn y 1.03 Kn para ensambles en “L” y continuos respectivamente.
- Resistencia a esfuerzos de flexión cercana a valores de 0,04 Kn y 0,15 Kn para ensambles en “L” y continuos respectivamente.
- Resistencia a esfuerzos cortantes cercana a valores de 0,50 Kn y 0,88 Kn para ensambles en “L” y continuos, respectivamente.

5.3 GENERACIÓN DE CONCEPTOS

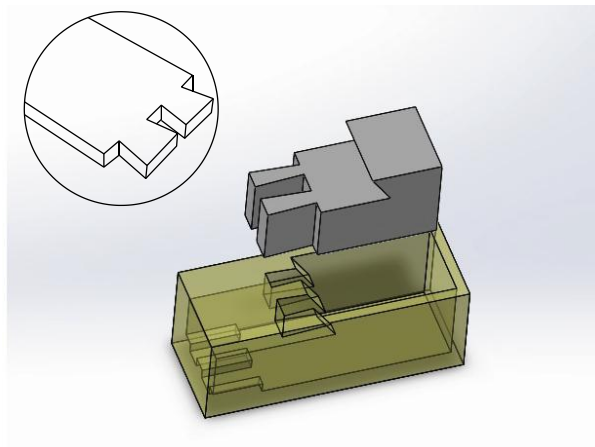
Se desarrollan las ideas y conceptos teniendo en cuenta los parámetros y requerimientos previamente planteados; un concepto es una descripción cercana del funcionamiento, geometría y parte formal del producto. Se representa no solo como un modelo bidimensional sino tridimensional, mediante el uso de herramientas de modelado 3d CAD-CAE. Paralelamente se trabajan los conceptos para el protocolo de montaje y desmontaje de cada una de las ideas de sistemas de unión a trabajar.

5.3.1 BOCETOS E IDEAS

La concepción de ideas como parte del proceso creativo se hace de forma organizada basándose en algunos de los métodos tradicionales de unión de tableros de madera más usados, adaptándose a los requerimientos planteados para el sistema de unión a diseñar

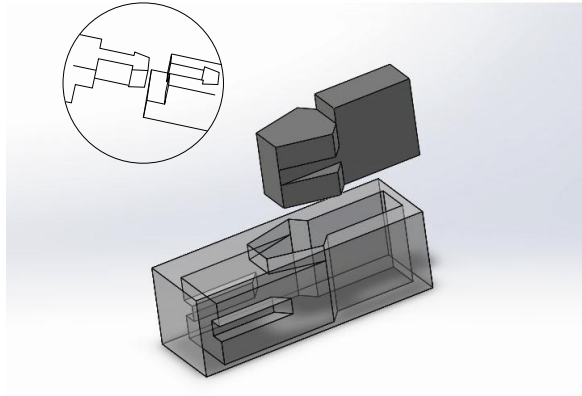
El ensamble a cola de milano es uno de los más usados en carpintería para unir diferentes elementos. Su geometría recta e inclinación a no más de 20 grados de con respecto a la vertical de la lengüeta saliente se tienen en cuenta en la generación de conceptos que permitan en ensamble de las dos piezas y que de igual manera el contacto y fricción entre las piezas del mismo material permita asegurar el macho dentro de la hembra.

Figura 34. Concepto de cola de milano.



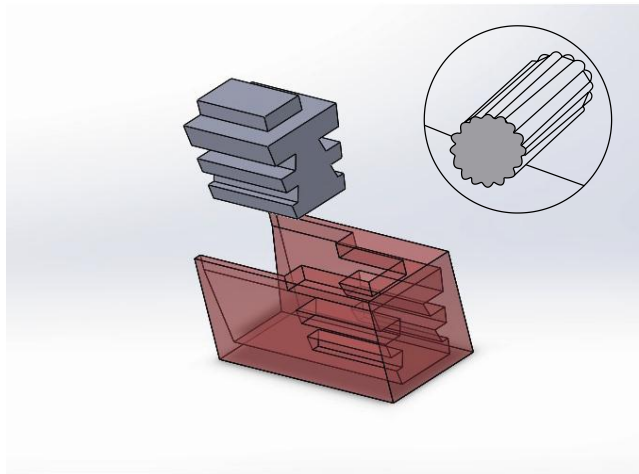
El ensamble japonés plantea una gran diversidad de formas y geometrías que además de asegurar ensambles seguros y fijos, pueda generar una estética atractiva y que complemente de alguna forma los productos de madera que con estos se fabrican.

Figura 35. Concepto de ensamble japonés.



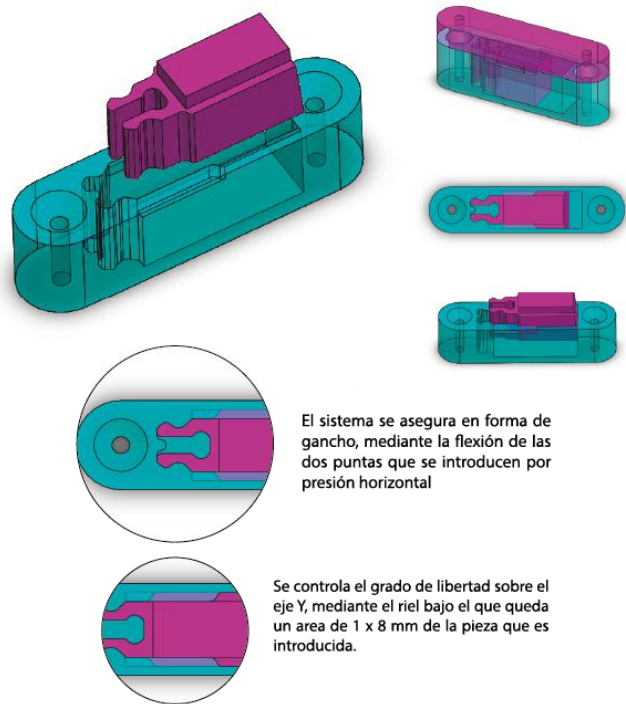
Los tarugos o tacos siguen siendo uno de los métodos de ensamble más usados debido a bajo costo, su facilidad de instalación y efectivos resultados en uniones de piezas de madera como complementos de pegantes. Los tarugos estriados proponen un sistema de unión aún más efectivo al tener una mayor superficie en fricción.

Figura 36. Concepto de tarugo estriado



5.3.2 CONCEPTO 1

Figura 37. Concepto 1.

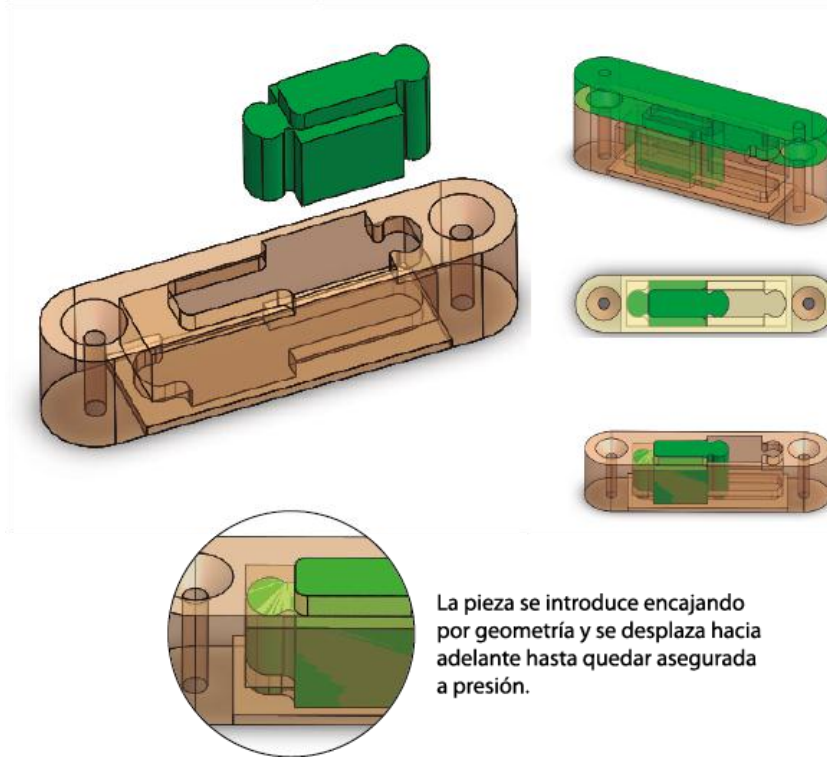


Concepto basado en los métodos de unión de herrajes modernos en arneses, correas, y demás, proponiendo un sistema de cierre o seguro en forma de gancho flexible a presión que también permita el desensamblaje de las piezas. Para realizar el ensamble la pieza macho se introduce en la pieza hembra y se empuja hacia adelante hasta que el sistema de gancho se cierre. El seguro del gancho al ajustarse permite saber que el ensamble se ha completado.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • El sistema de ajuste en forma de gancho flexible a presión • Lenguaje de uso claro debido a su aspecto formal 	<ul style="list-style-type: none"> • El área sobre la que se hace el ajuste es reducida • Si el ajuste es muy cerrado, se dificultara la labor de desensamblaje de la pieza.

5.3.3 CONCEPTO 2

Figura 38. Concepto 2.

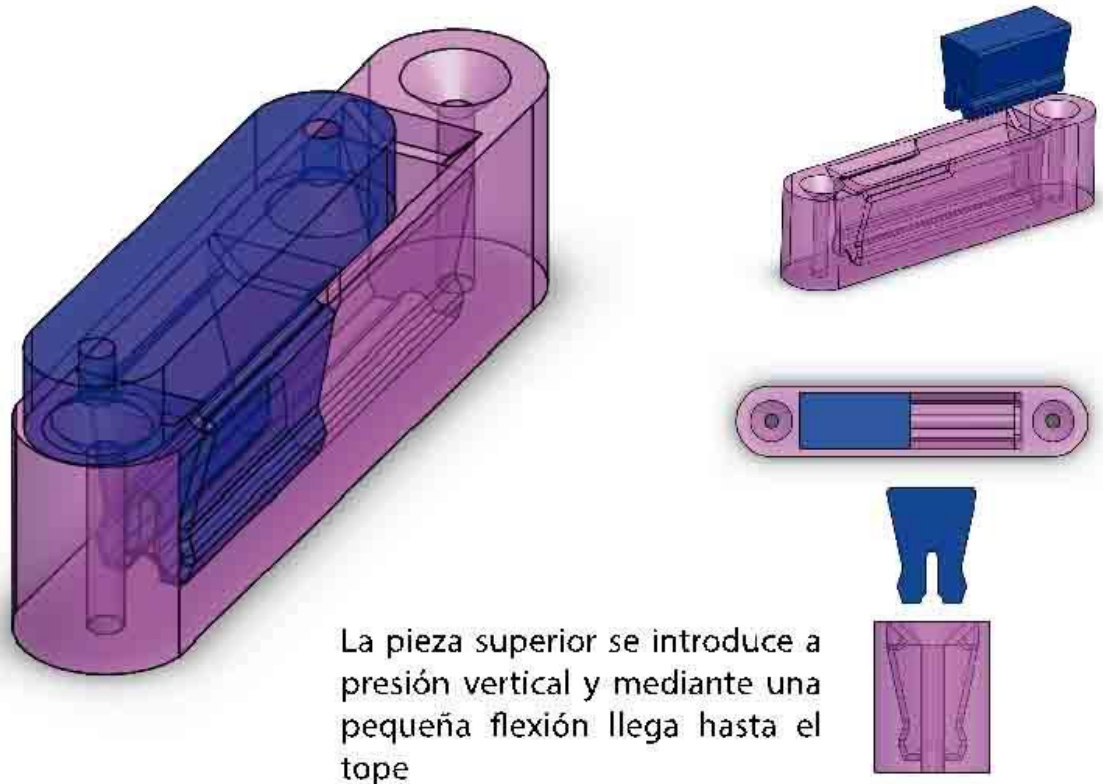


Concepto de tipo rompecabezas basada en sistemas de unión tradicionales tomando principios del ensamble japones en el que las geometrías exactas le dan mayor precisión a la unión. Para realizar el ensamble la pieza macho se introduce hasta el tope en la pieza hembra para luego deslizarse por el carril en la parte inferior y se empuje hasta que la punta redondeada encaje a presión.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Geometría particular que permite un ajuste más preciso • Área para ajuste a lo largo de la pieza • Ajuste a presión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lenguaje de uso no muy claro al permitir la entrada de la pieza en ambos sentidos • Bordes y esquinas sin redondear. • No tiene seguro, depende de la fricción entre piezas.

5.3.4 CONCEPTO 3

Figura 39. Concepto 3.

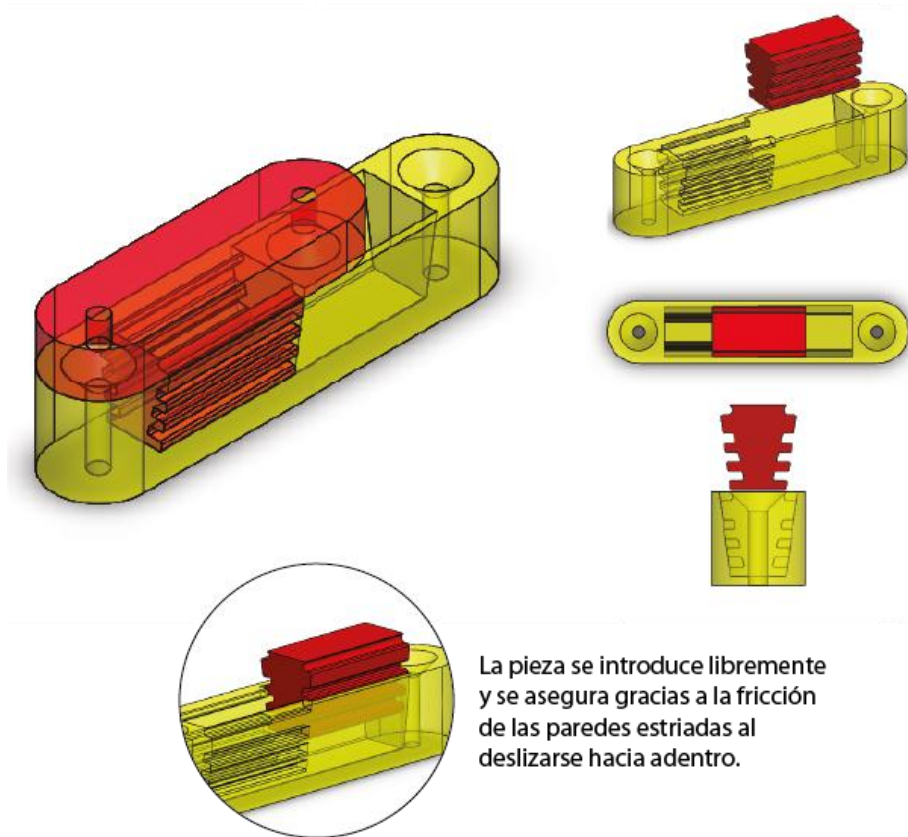


Basado en la geometría de los ensambles a cola de milano con una propuesta de ajuste a presión de forma vertical. La pieza macho debe introducirse a presión hasta el tope y posteriormente se desplaza completamente hacia adelante para aumentar el área de ajuste.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Doble ajuste al introducir la pieza macho a presión y al desplazarla con fricción en las paredes • Área para ajuste a lo largo de la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> • El ángulo de salida de la pieza macho requiere mayor esfuerzo al retirarla que al introducirla • Lenguaje de uso no muy claro sobre la forma de introducir una pieza dentro de la otra.

5.3.5 CONCEPTO 4

Figura 40. Concepto 4.

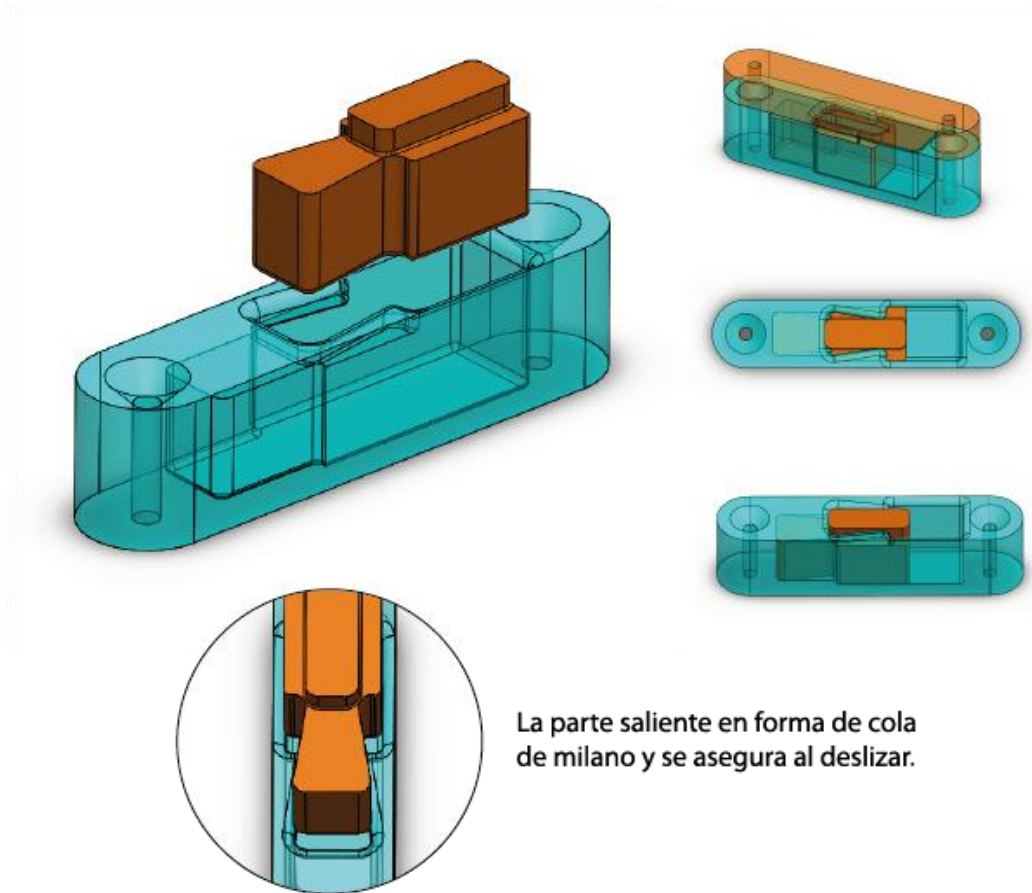


Concepto basado en los ensambles a cola de milano y la textura de los tarugos estriados para un ajuste tanto por geometría como por fricción. El desplazamiento hacia adelante complementa el ajuste bloqueando el grado de libertad de la pieza macho en el eje Y.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Geometría sencilla que facilitaría su fabricación• Lenguaje de uso claro debido a su geometría• Área para ajuste a lo largo de la pieza.	<ul style="list-style-type: none">• El área de ajuste en las paredes estriadas puede no ser suficiente para soportar los esfuerzos• No tiene seguro, depende del contacto y fricción en las paredes.

5.3.6 CONCEPTO 5

Figura 41. Concepto 5

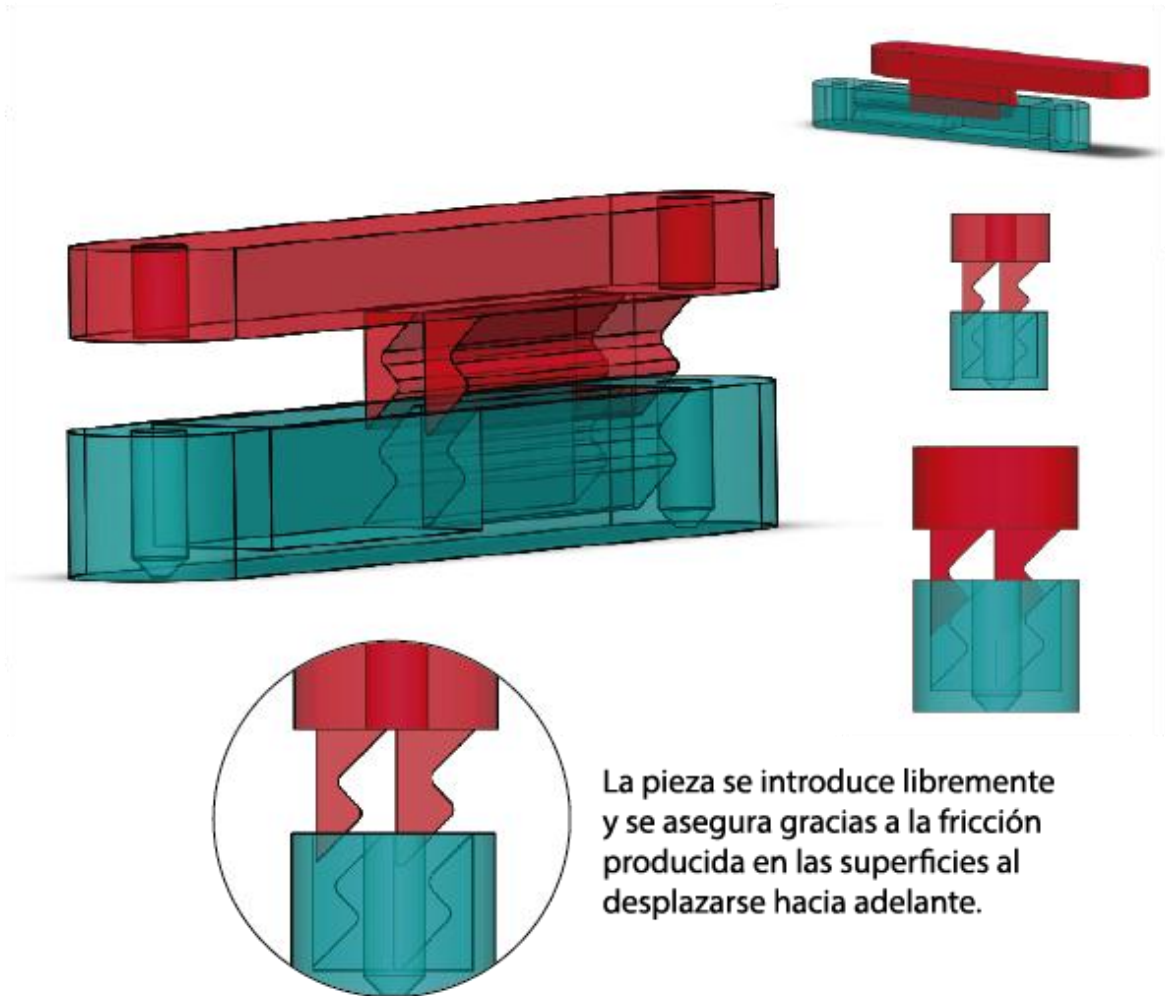


La idea parte de la geometría compuesta por ensambles tradicionales en cola de milano y el ensamble japonés. La forma de la saliente en cola de milano sirve para el ajuste por geometría de forma que la pieza macho quede justa dentro de la pieza hembra.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Pieza macho con cuerpo sólido• Lenguaje de uso claro debido a su geometría.• Geometría sencilla que facilitaría su fabricación.	<ul style="list-style-type: none">• Puntos críticos en esquinas no redondeadas• No tiene seguro, depende del contacto y fricción en las paredes.

5.3.7 CONCEPTO 6

Figura 42. Concepto 6.

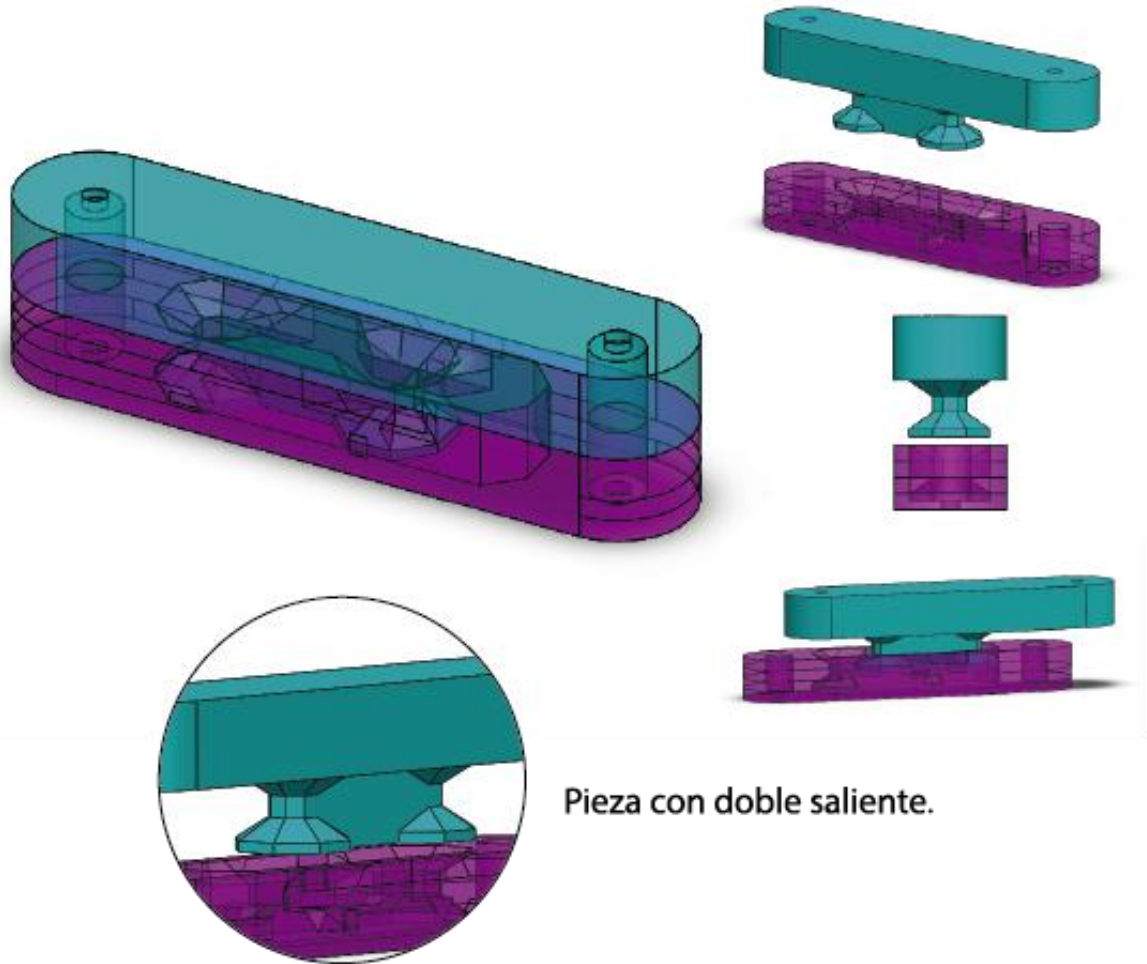


Basada en la geometría de las llaves y cerraduras en las que el cuerpo solo se puede introducir en un sentido. La geometría ofrece doble ajuste por contacto con las paredes inclinadas del interior de la pieza hembra.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Lenguaje de uso claro debido a su geometría.• Ángulo de entrada que solo permite el movimiento en un sentido	<ul style="list-style-type: none">• No tiene seguro, depende del contacto y fricción en las paredes.• Las salientes de la pieza macho son delgadas.

5.3.8 CONCEPTO 7

Figura 43. Concepto 7.



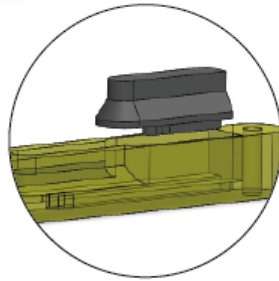
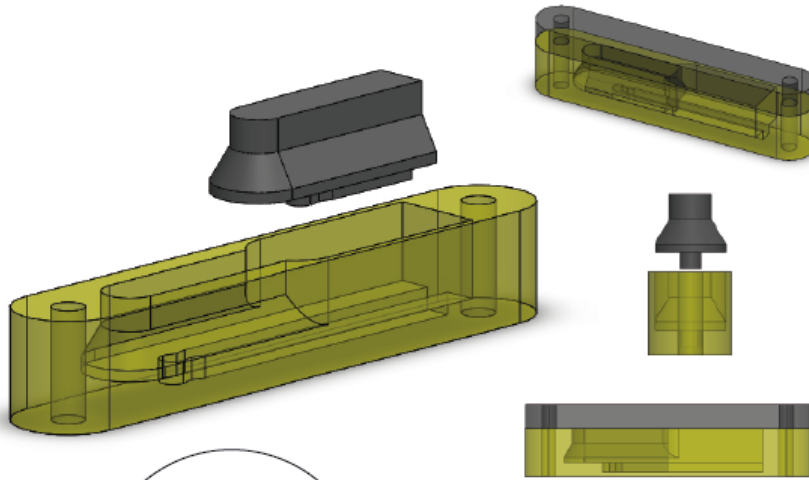
Pieza con doble saliente.

Tomando como inicio la geometría hexagonal de las tuercas de seguridad, se plantea el sistema con doble saliente que permita mayor ajuste.

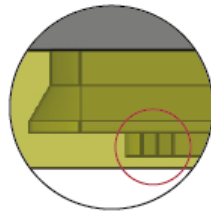
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Doble saliente para un doble ajuste. • Cuello o canal para un desplazamiento guiado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puntos críticos en esquinas no redondeadas • No tiene seguro, depende del contacto y fricción en las paredes.

5.3.9 CONCEPTO 8

Figura 44. Concepto 8.



La pieza se introduce libremente hasta que la parte inferior llegue al carril por el que se desliza hacia adelante y se asegura a presión.



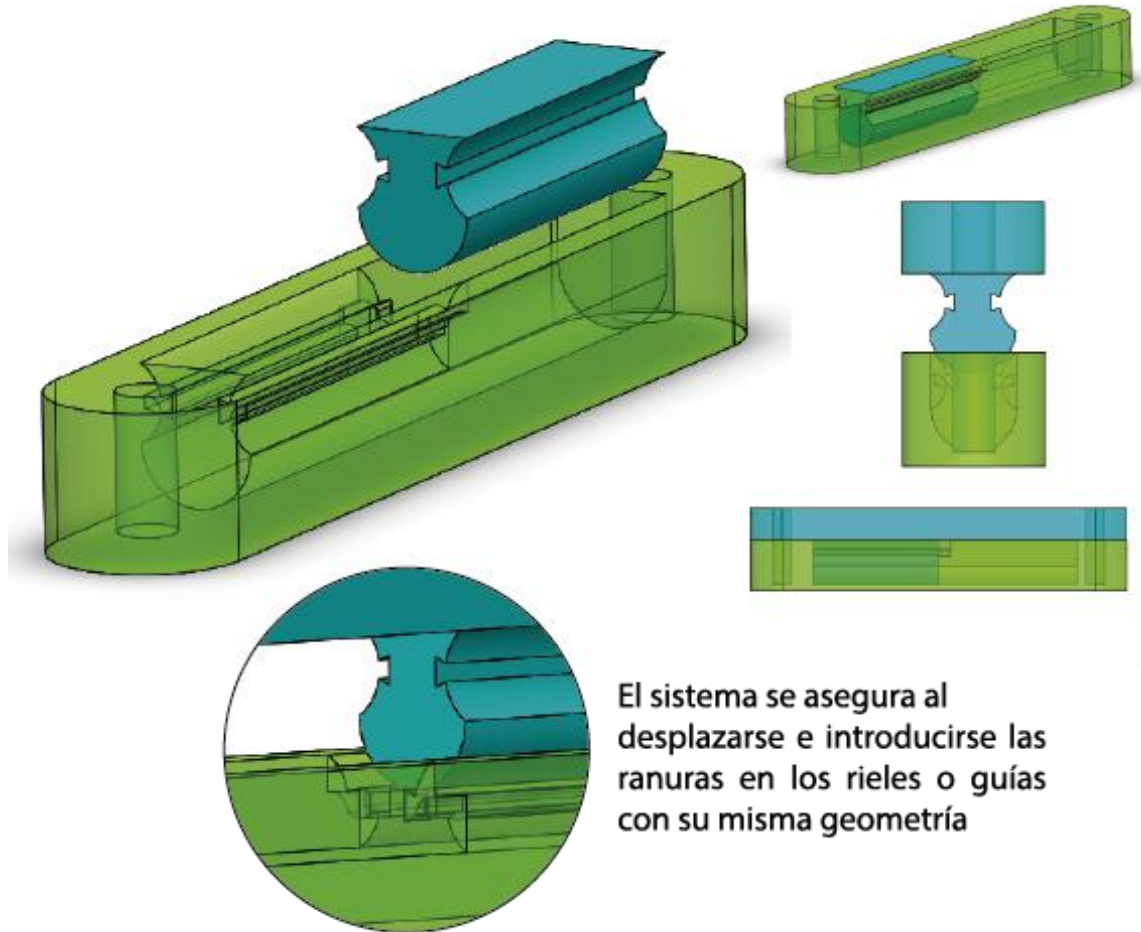
Cabeza de la parte inferior donde se da el ajuste a presión.

El concepto de cola de milano aplicado en las 3 dimensiones de la pieza, proponiendo una saliente que solo encaje de una forma y un seguro en la parte inferior que permita un ajuste a presión.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Saliente inferior para guiar el desplazamiento • Ajuste a presión • Pieza macho con cuerpo sólido • Lenguaje de uso claro debido a su geometría. 	<ul style="list-style-type: none"> • Zonas de concentración de esfuerzos en esquinas no redondeadas

5.3.10 CONCEPTO 9

Figura 45. Concepto 9.



El concepto se basa en la geometría de engranajes mecánicos. El ajuste se da mediante la geometría de la pieza macho con ranuras, la cual ingresa a la pieza hembra y mediante unas guías o rieles se desplaza hacia adelante hasta el tope permitido.

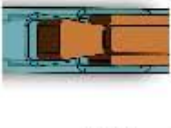
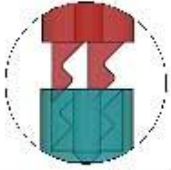
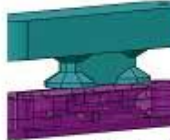

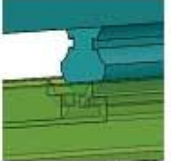
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Pieza macho con geometría sencilla que facilitaría el proceso de inyección.• Ajuste a presión.	<ul style="list-style-type: none">• Puntos críticos en esquinas no redondeadas• Volumen sobredimensionado.

5.4 SELECCIÓN DE CONCEPTOS

Para la clasificación y calificación de los conceptos generados se utiliza una matriz de selección en la que se proporciona porcentaje de importancia de cada requerimiento y se califican los conceptos con un valor numérico de 1 a 5 dependiendo del desempeño que tenga en cada requerimiento, siendo 1 el puntaje más bajo con el que se indica que el concepto no cumple con dicho requerimiento y 5 el más alto implicando que el concepto cumple a cabalidad con el requerimiento evaluado.

Tabla 14. Matriz de selección de Conceptos.

CRITERIOS DE SELECCIÓN	VALOR	CONCEPTOS							
		Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3		Concepto 4	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
REQUERIMIENTOS DE USO	35%								
Instalación por medio de máquina convencional y manual	8%	5	0,4	5	0,4	5	0,5	5	0,4
Elementos complementarios como tornillos se ajustan a la forma y materia	10%	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5
Facilidad de montaje y desmontaje de las piezas	10%	3	0,3	4	0,4	3	0,3	5	0,5
Leguaje de uso instintivo para el montaje	7%	5	0,35	4	0,28	2	0,14	7	0,25
REQUERIMIENTOS DE FUNCIÓN	36%								
Resistencia a esfuerzos cortantes, de tensión y flexión similares al del estado del arte	15%	2	0,3	3	0,45	4	0,6	2	0,3
El sistema de unión queda asegurado en el montaje	10%	4	0,4	5	0,5	4	0,4	3	0,3
Permite el montaje en "L", "T", y continuo en los tableros	11%	5	0,55	5	0,55	5	0,55	5	0,55
REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES	9%								
Laminado resaca con margen de seguridad en los tableros de mínimo 2 mm	4%	5	0,2	5	0,2	5	0,2	5	0,2
Sistema de unión por 2 piezas o "machihembrado"	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25
REQUERIMIENTOS TÉCNICO PRODUCTIVOS	5%								
Fabricación con tecnología y procesos de producción de la industria nacional	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25
REQUERIMIENTOS FORMAL ESTETICOS	15%								
Sistema de unión oculto	15%	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75
TOTAL	100%	49	4,25	51	4,33	48	4,11	49	4,29
¿Continuar?		NO		COMBINAR		NO		NO	

CONCEPTOS									
Concepto 5		Concepto 6		Concepto 7		Concepto 8		Concepto 9	
									
Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
5	0,4	5	0,4	5	0,4	5	0,4	5	0,4
5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5
5	0,5	5	0,5	4	0,4	5	0,5	5	0,5
5	0,25	4	0,28	4	0,28	5	0,35	7	0,28
4	0,6	3	0,15	4	0,6	7	0,6	7	0,6
3	0,3	3	0,3	3	0,3	5	0,5	7	0,7
5	0,55	5	0,55	5	0,55	5	0,55	5	0,55
5	0,2	5	0,2	5	0,2	5	0,2	5	0,2
5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25
5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25
5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75
57	4,65	50	4,43	50	4,28	54	4,57	57	4,68
COMBINAR		NO		NO		SI		SI	

De la matriz de selección se hallan los conceptos a continuar desarrollando, el concepto 8 y el concepto 9, con una evaluación ponderada de 4.67 y 4.68 respectivamente. De igual forma se obtienen aquellos que deben combinarse con otros para mejorar en ciertos aspectos en busca de cumplir los requerimientos, el concepto 2 y el concepto 5, con una evaluación ponderada de 4.53 y 4.65 cada uno.

5.5 MODELOS Y MAQUETAS DE CONCEPTOS SELECCIONADOS

Con el propósito de entender mejor la funcionalidad y geometría de los conceptos propuestos y evaluados anteriormente, se realizan los primeros modelos y maquetas de los ensambles. Para esto, a partir de los modelados en software 3D con las medidas y dimensiones estandarizadas según los parámetros de los tableros seleccionados, se realizan impresiones 3D de dos conceptos diferentes de sistemas de unión, en PLA (Poliácido láctico) a escala 1:1.

Figura 46. Modelo concepto 2.

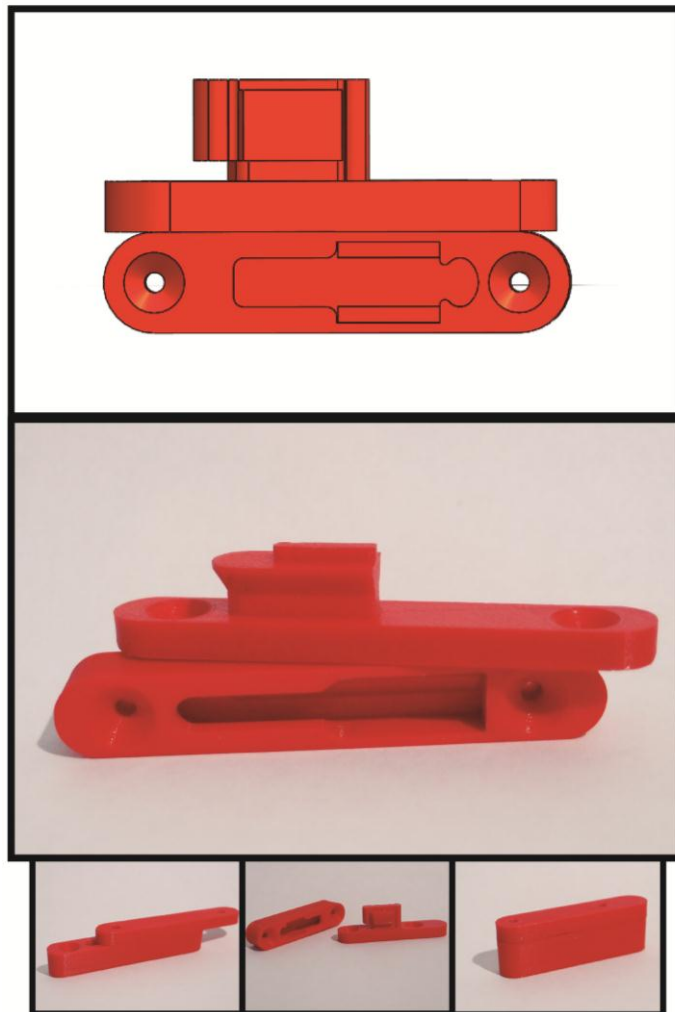
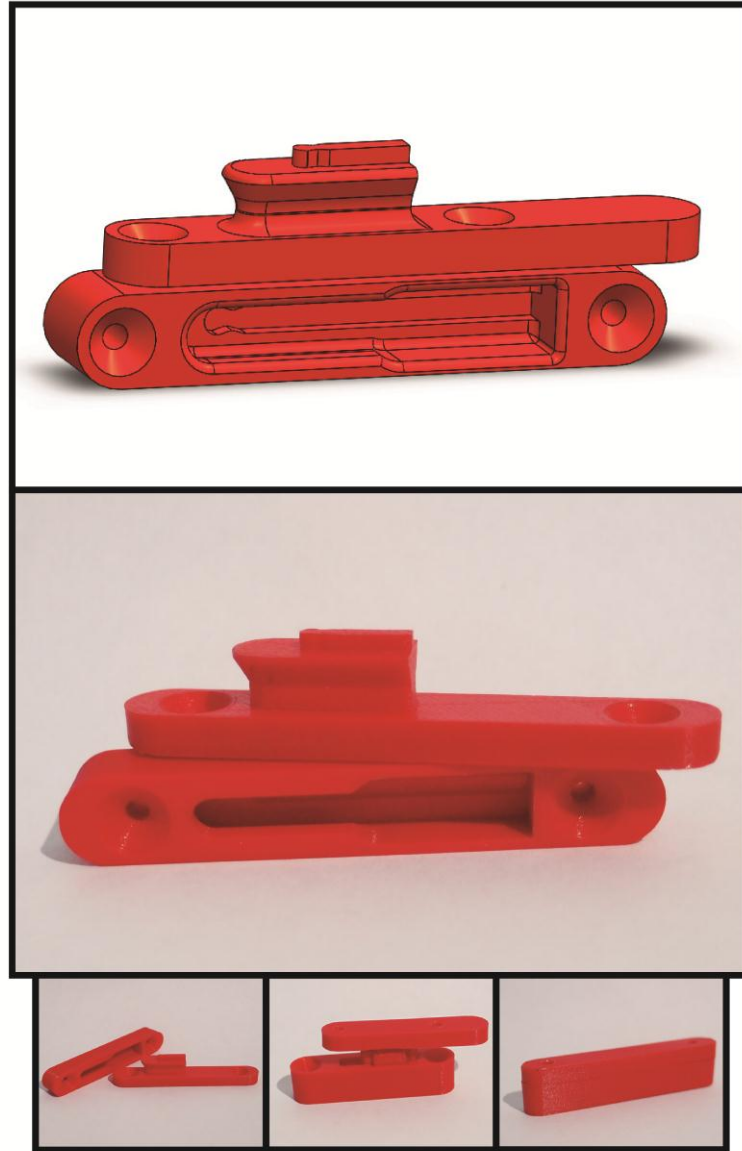


Figura 47. Modelo concepto 8.



A partir de los modelos de PLA impresos en 3D se pueden apreciar aspectos formales y geométricos de los primeros conceptos de sistemas de unión que antes no se habían tenido en cuenta. La distancia entre centros para la instalación de los

tornillos en el montaje del sistema de unión al tablero contrachapado, las esquinas no redondeadas de las salientes, el margen de tolerancia de las entradas y salidas. El volumen y dimensiones totales de la pieza para que se pueda ubicar dentro del tablero de calibre de 18 mm.

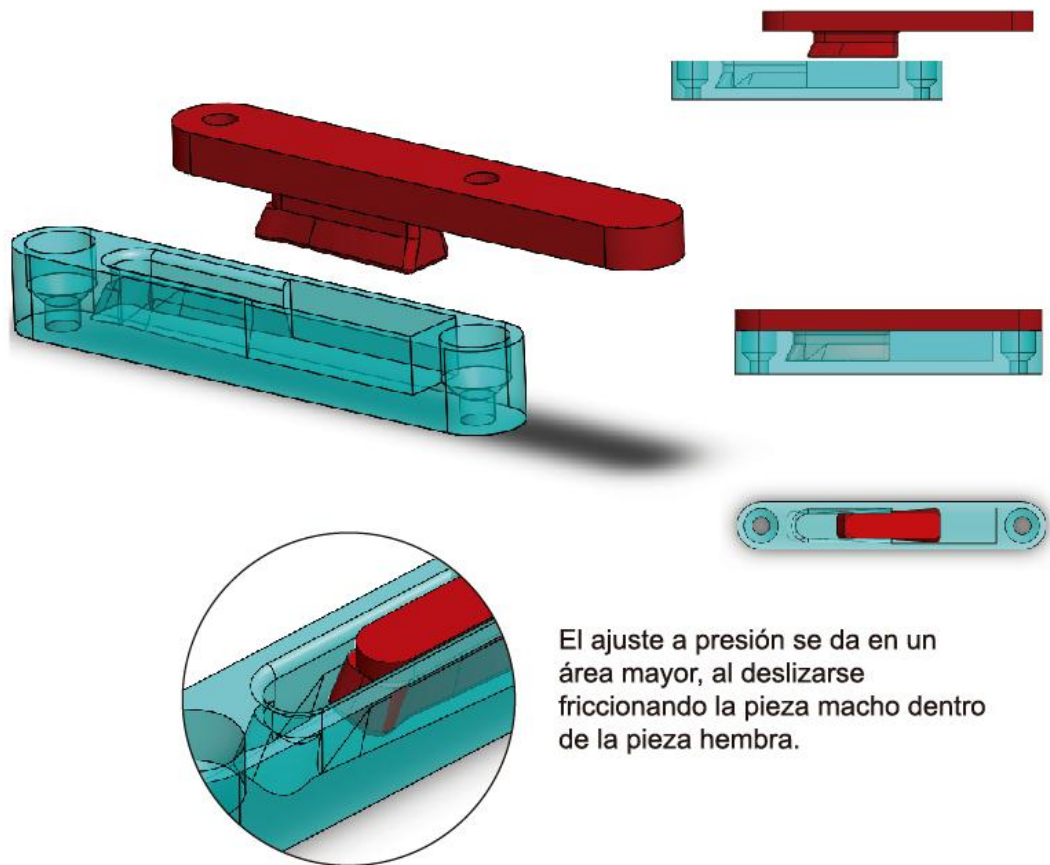
De igual forma, se realiza la socialización con posibles usuarios, expertos e inexpertos, para obtener opiniones relevantes en aspectos de montaje y maquinado de los tableros contrachapados, de igual forma, los usuarios inexpertos podrán valorar los sistemas de unión en términos de facilidad de uso, lenguaje de uso y valor formal-estético.

5.6 ALTERNATIVAS

Se desarrollan las alternativas con mayor potencial según la selección realizada anteriormente en los conceptos. Se busca realizar mejoras en los aspectos evaluados como la presencia de aristas sin redondear, geometrías demasiado complejas, falta de ajuste en el sistema, etc., los cuales no obtuvieron una buena puntuación en la matriz de selección.

5.6.1 ALTERNATIVA 1

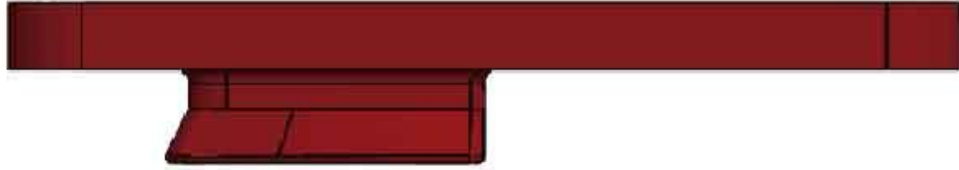
Figura 48. Alternativa 1.



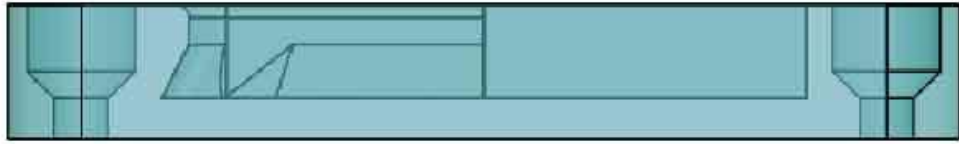
Esta alternativa nace de la fusión de los conceptos 2 y 5, en la cual se propone una geometría de menor complejidad y mayor volumen sólido para tener un mayor contacto entre las piezas macho y hembra. El ajuste se realiza una vez la pieza macho empieza a deslizarse dentro de la pieza hembra mediante una fricción en las paredes inclinadas de esta pieza y la punta saliente de la pieza macho.

Figura 49. Piezas alternativa 1.

Pieza macho



Pieza hembra

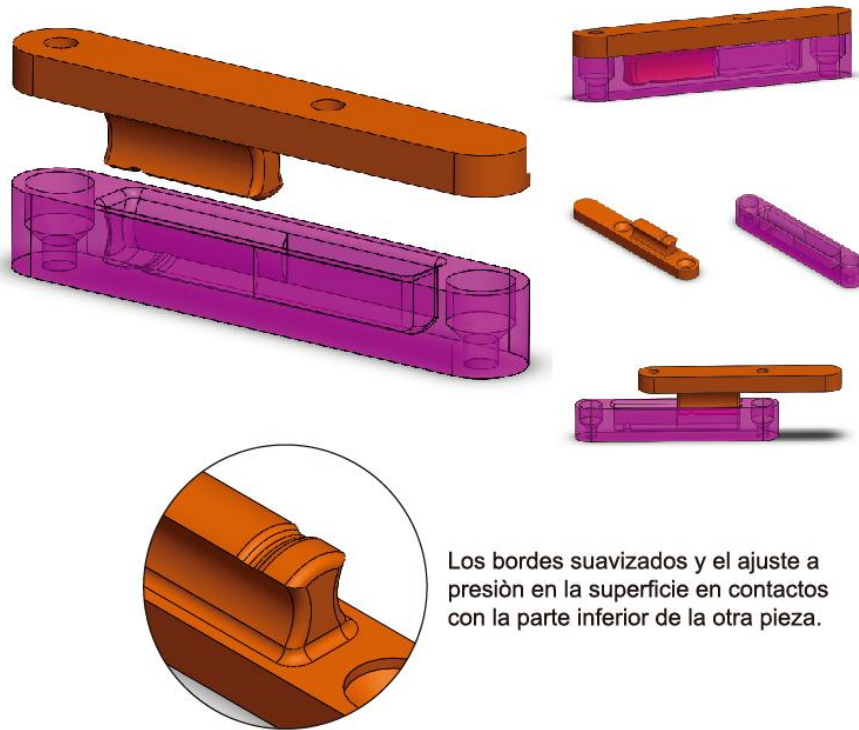


Como se muestra en la figura 49, la pieza macho cuenta con una geometría basada en los ensambles en cola de milano y una saliente en punta reflejando los principios de los ensambles japonés, en los que han sido redondeados todos los bordes y aristas.

El ensamble de las dos piezas se realiza al introducir los 7 mm de saliente de la pieza macho y desplazarla una distancia igual a su longitud total de 30 mm dentro de la pieza hembra, donde se irá ajustando a presión a medida que avanza.

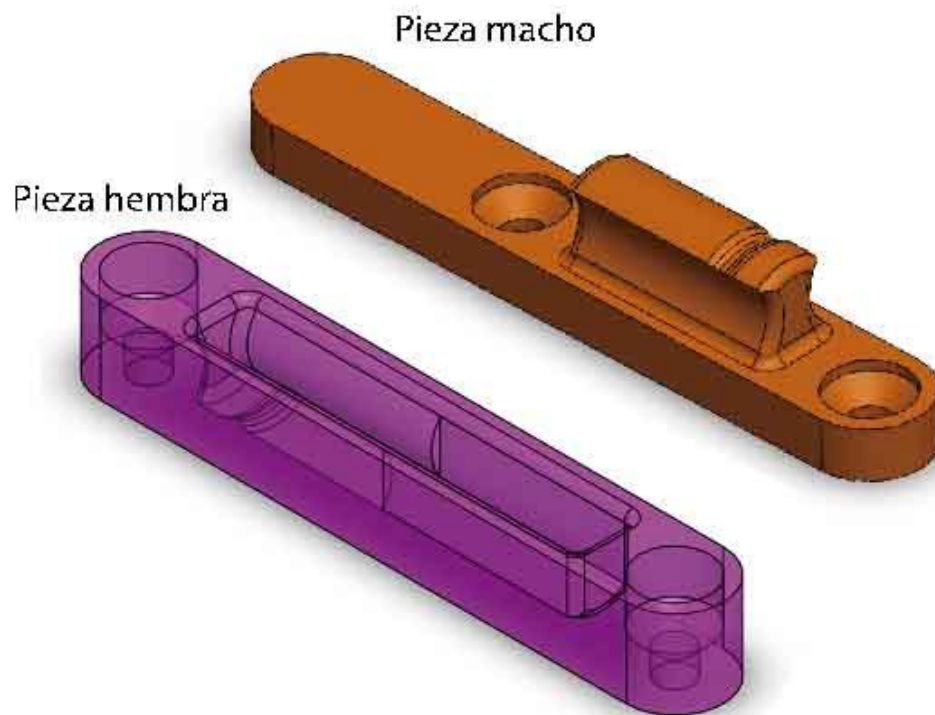
5.6.2 ALTERNATIVA 2

Figura 50. Alternativa 2.



La alternativa es el desarrollo del concepto 9 seleccionado para continuar, para el cuál se propone suavizar los ángulos cerrados y los bordes y aristas que podrían fallar en el momento de someterse a esfuerzos determinados. De igual forma se introduce un ajuste a presión en la superficie inferior de la pieza macho que encaja al deslizar la pieza en sentido horizontal, debido a una pequeña sustracción realizada a la pieza hembra. En la figura 50 se observan la pieza macho y hembra con la geometría de la saliente ondulada en los costados y el ajuste a ejercerse a presión en la superficie de la saliente de la pieza macho con la hendidura de la pieza hembra.

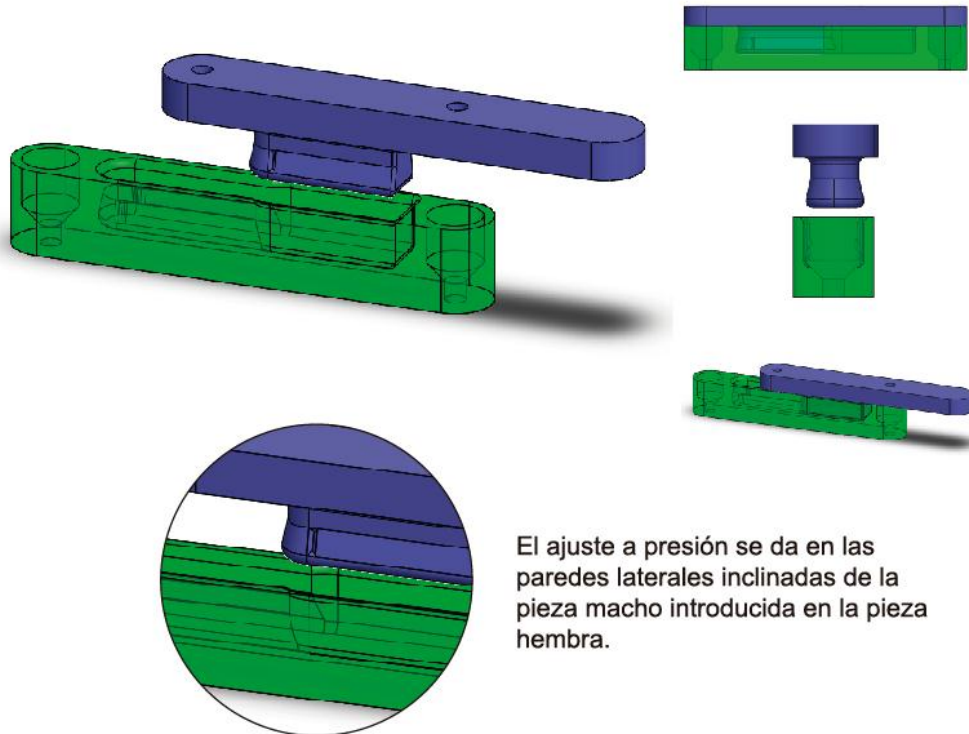
Figura 51. Piezas alternativa 2.



El ensamble se realiza al introducir los 9 mm de saliente de la pieza macho y desplazarla una distancia igual a su longitud total de 30 mm dentro de la pieza hembra, donde se ajustará a presión debido la forma de la saliente y la hendidura presente en la superficie inferior de las piezas a 3 mm del tope.

5.6.3 ALTERNATIVA 3

Figura 52. Alternativa 3.

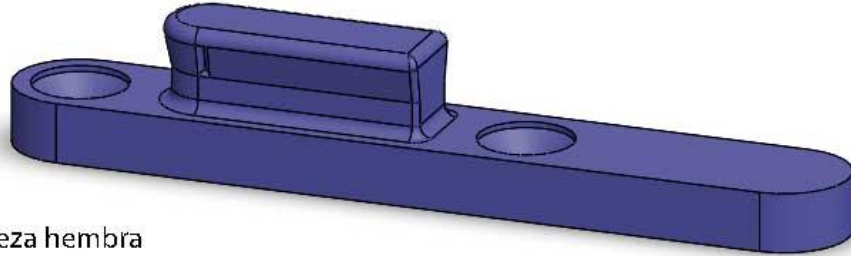


La alternativa 3 es el desarrollo del concepto 8 en el cuál se mejoraron aspectos como el ángulo de la saliente y los bordes y aristas que deben contar con un redondeo más significativo. El ajuste está incluido en la geometría de la saliente en la pieza macho como una hendidura de 0.3 mm, que en la pieza hembra se encuentra como una saliente de igual forma y dimensiones.

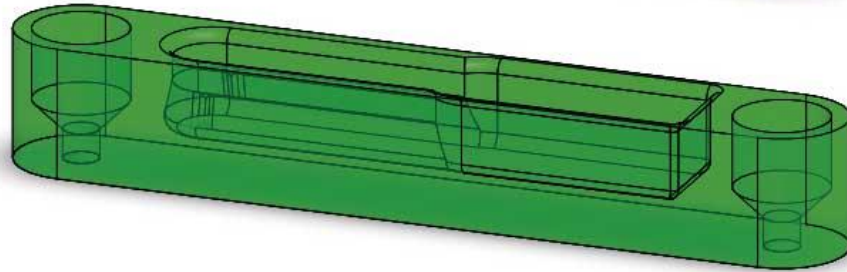
En la figura 52 se aprecia la geometría de las piezas que conforman el sistema de unión. La saliente de la pieza macho con una geometría fluida y los redondeos más significativos reduciendo así los puntos críticos en esquinas y bordes.

Figura 53. Piezas alternativa 3.

Pieza macho



Pieza hembra



El ensamble se realiza al introducir los 7 mm de saliente de la pieza macho y desplazarla una distancia igual a su longitud total de 30 mm dentro de la pieza hembra, donde se ajustará a presión debido a la saliente y hendidura presente en la superficie de los costados de las piezas a una distancia de 3 mm del tope.

5.7 DISEÑO EN DETALLE

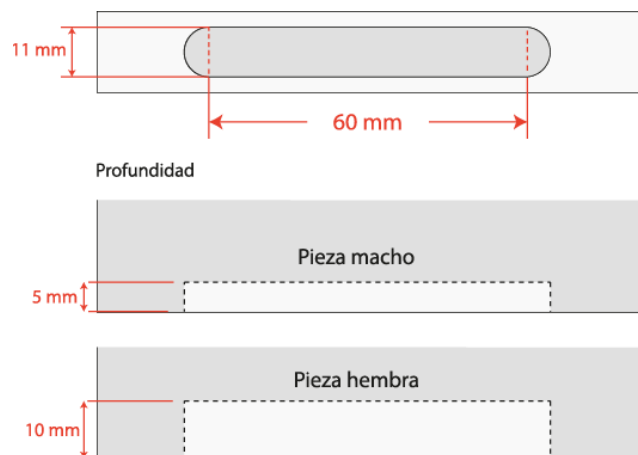
Las alternativas de sistemas de unión están compuestas por dos piezas, un macho y una hembra, las cuales deben tener las dimensiones adecuadas para el tablero de contrachapado en el que se ensamblaran. Se toman como constante en las propuestas, una longitud total de 71 mm, ancho de 11 mm y profundidad de 10 mm para la pieza hembra y 5 mm para la pieza macho.

El montaje de las piezas en los tableros se realiza por medio de un vaciado maquinado (también conocido como barrenado), bien sea en la cara o canto del contrachapado, según requiera el ensamble. De igual forma, se utilizan tornillos para unir cada pieza al tablero de contrachapado.

5.7.1 MAQUINADO DEL TABLERO

El tablero contrachapado de calibre de 18 mm seleccionado para probar el sistema de unión será maquinado por el usuario fabricante con el fin de ensamblar las piezas macho y hembra en la cara o canto del tablero. En la figura 54 se ilustra el vaciado a realizar sobre las caras o cantos del tablero contrachapado para el montaje del sistema de unión.

Figura 54. Vaciado a maquinar en los tableros.



5.7.1.1 Maquinaria

El barrenado de banco, máquina de común utilización en los talleres o carpinterías locales, se propone para la realización del maquinado de los tableros de contrachapado. La maquinaria debe permitir los ajustes necesarios de longitud y profundidad de las perforaciones a realizar. De tratarse de una herramienta rudimentaria en la que no exista dichas opciones, será tarea del operario el realizar los topes o límites necesarios para garantizar la correcta realización de la tarea de barrenado de las piezas de tablero contrachapado.

Figura 55. Barreno tradicional de carpintería.



El planteamiento del proceso de maquinado de los tableros puede realizarse con herramientas manuales, si se proponen las adaptaciones o dispositivos necesarios, que permitan la correcta y precisa realización del perforado requerido por el protocolo de montaje del sistema de unión.

5.7.1.2 Broca

Al seleccionar la maquinaria a utilizar para el maquinado de los tableros, se debe contar con una broca o fresa que permita la realización del perforado o barrenado

exacto que requieren las piezas del sistema de unión para su ensamble en los tableros. Para esto se trabaja con una broca hecha a medida de 11 mm de diámetro en el filo y con una medida estándar de 3/8 de pulgada para el vástago, de forma que pueda ser utilizada en diferentes tipos de maquinaria de banco o incluso de herramientas manuales sin necesidad de un adaptador.

Figura 56. Broca de barreno oscilante hecha a medida.



5.7.2 TORNILLOS

El tipo de tornillos seleccionados para unir las piezas del sistema de unión a los tableros de contrachapado es el tornillo autoperforante para madera, el cual permite un ajuste significativo al contar con una rosca más saliente y el cuerpo o alma del tornillo de mayor grosor que los tornillos de propósito general.

La ubicación y distanciamiento entre tornillos fue uno de los factores a evaluar según las características de las alternativas planteadas, con el fin de maximizar la sujeción que mediante los tornillos se requiere entre el tablero de contrachapado y las piezas del sistema de unión. Los tornillos a usarse serán los tornillos para lámina de madera 8 5/8 de pulgada, tanto para la pieza macho como para la pieza hembra; sin embargo, para la pieza hembra, por estar ubicada sobre el canto del

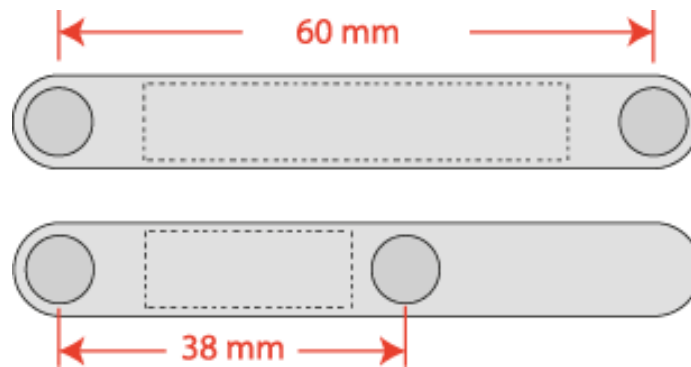
tablero contrachapado, podrá ser utilizado otro tornillo de mayor profundidad que cuente con una cabeza de 8 mm.

Figura 57. Tornillos 8 5/8 pulgada.



Después de evaluar en simulaciones CAD-CAE los tornillos previamente seleccionados a distancias determinadas, también se estudió la posibilidad de utilizar uno, dos y tres tornillos en cada pieza. Se puede concluir que la optimización del uso de los tornillos se da al utilizar dos en cada pieza, a una distancia máxima de 8 mm y mínima de 1 mm desde el extremo de la pieza. Para la pieza macho se propone dejar una perforación a un extremo y la otra a una distancia de máximo 5mm del extremo de la saliente sólida. Para la pieza hembra, las perforaciones se proponen a los extremos de la pieza con 1 mm de margen al borde exterior.

Figura 58. Ubicación de tornillos en las piezas.



Otro factor a tener en cuenta es la orientación en la que los tornillos se introducirán en la pieza y tablero, la cuál puede ser recta o a una inclinación determinada, siendo 45 grados el valor utilizado por excelencia. Tras el análisis realizado de las piezas del sistema de unión, utilizar tornillos a determinada inclinación significaría aumentar el volumen y dimensiones de las piezas tanto macho como hembra, por lo que se decide realizar un atornillamiento de forma recta convencional, perpendicular a la cara o canto del tablero sobre el que se vaya a ubicar el sistema de unión.

5.8 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Después del desarrollo de las alternativas y el diseño en detalle, se realizan comprobaciones que permitan determinar la viabilidad de las diferentes alternativas y observar el comportamiento de su geometría al someterse a determinados esfuerzos mecánicos, teniendo en cuenta que las características propias del material no serán evaluadas sino que se tomarán como una constante.

5.8.1 SIMULACIONES CAD-CAE DE ALTERNATIVAS

Se realizan simulaciones en el software de simulación de Solidworks, con el fin de apreciar los efectos al someter a esfuerzos determinados las piezas que conforman las diferentes alternativas planteadas. Mediante esta simulación se

pueden determinar valores de deformaciones unitarias, tensiones, desplazamientos y el factor de seguridad de diseño.

El material a simular es el Policarbonato, el cual presenta una de las mejores resistencias a tracción y módulo de elasticidad de entre los materiales termoplásticos, este se toma como constante en todas las alternativas. Sus propiedades se aprecian en la siguiente tabla.

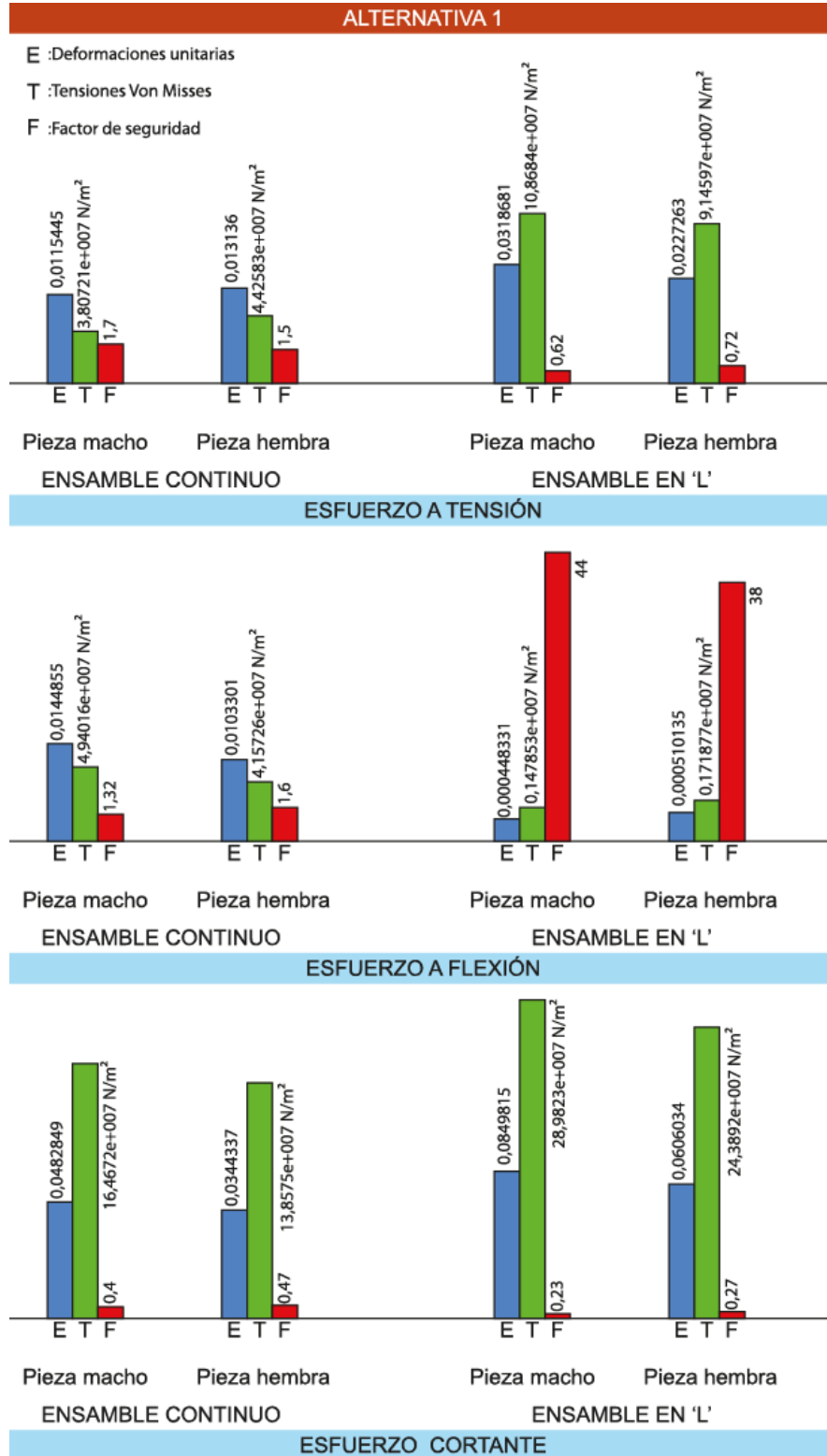
Tabla 15. Propiedades Policarbonato (PC).

POLICARBONATO	
Propiedades	Valor
Densidad (Kg/m	1190
Resistencia a la tracción (MPa)	62,7
Límite elástico (MPa)	65
Coefficiente de Poisson	0,3912
Módulo elástico (Mpa)	2320
Módulo cortante (Mpa)	829,1
Conductividad térmica (W/m-k)	0,189
Calor específico (J/(Kg-k)	1535
Alargamiento a la rotura (%)	120

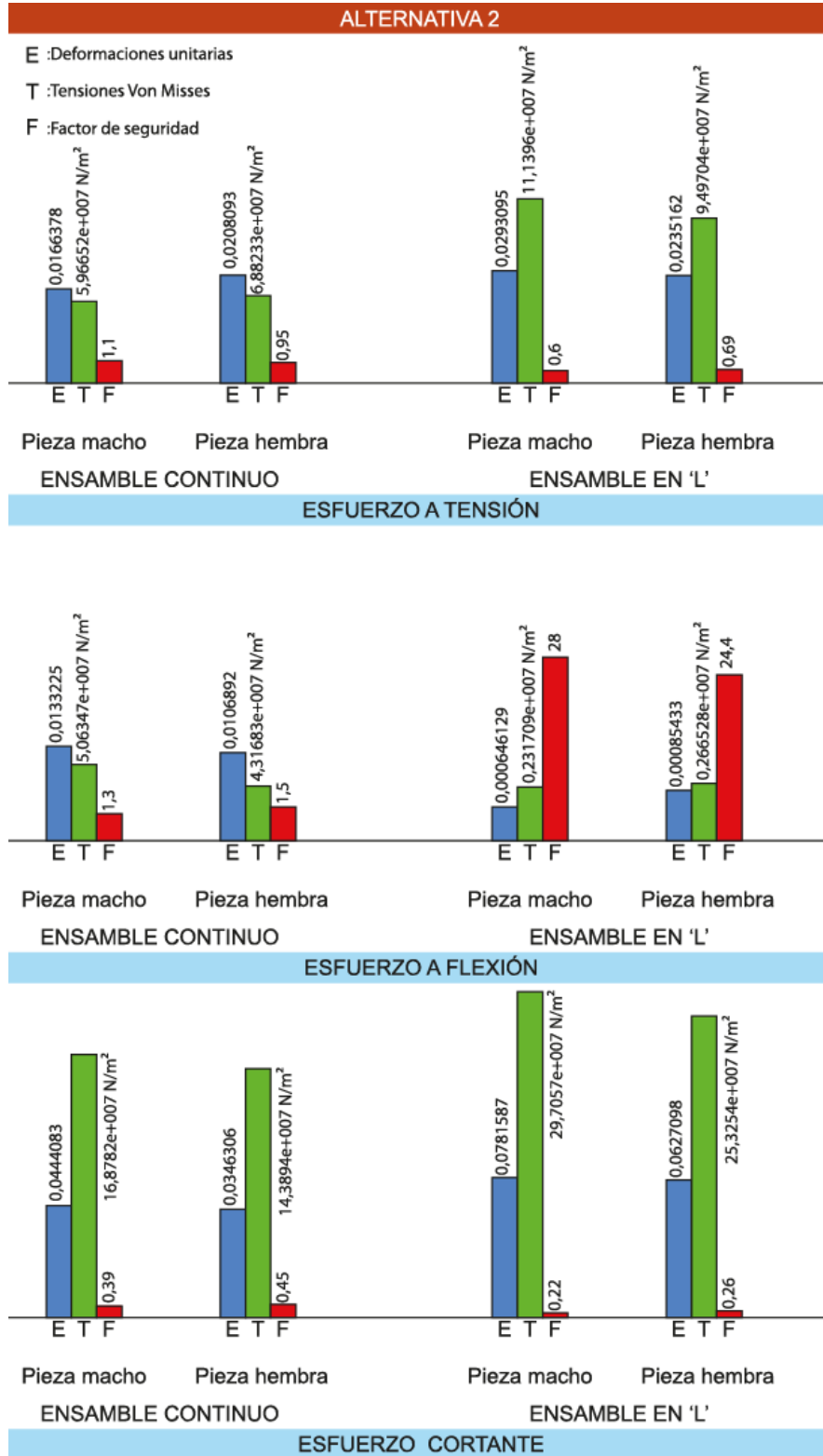
Las simulaciones se realizan aplicando los datos obtenidos al someter a esfuerzos máximos el herraje “minifix” en la etapa de evaluación del estado del arte. En este punto se presentaron las fallas del sistema de unión, de modo que al simular dichos esfuerzos en las alternativas planteadas, se espera apreciar cómo se comportarían estas piezas al ser sometidas al mismo esfuerzo máximo, las cuales, al ser propuestas en un material polimérico, muy diferente de la aleación de acero y zinc del “minifix”, se puede prever que los resultados muestren un comportamiento desfavorable.

Los resultados nos permiten realizar la clasificación de las alternativas según el comportamiento que registren a determinados esfuerzos máximos. En el Anexo C se pueden verificar los resultados para todas las alternativas propuestas.

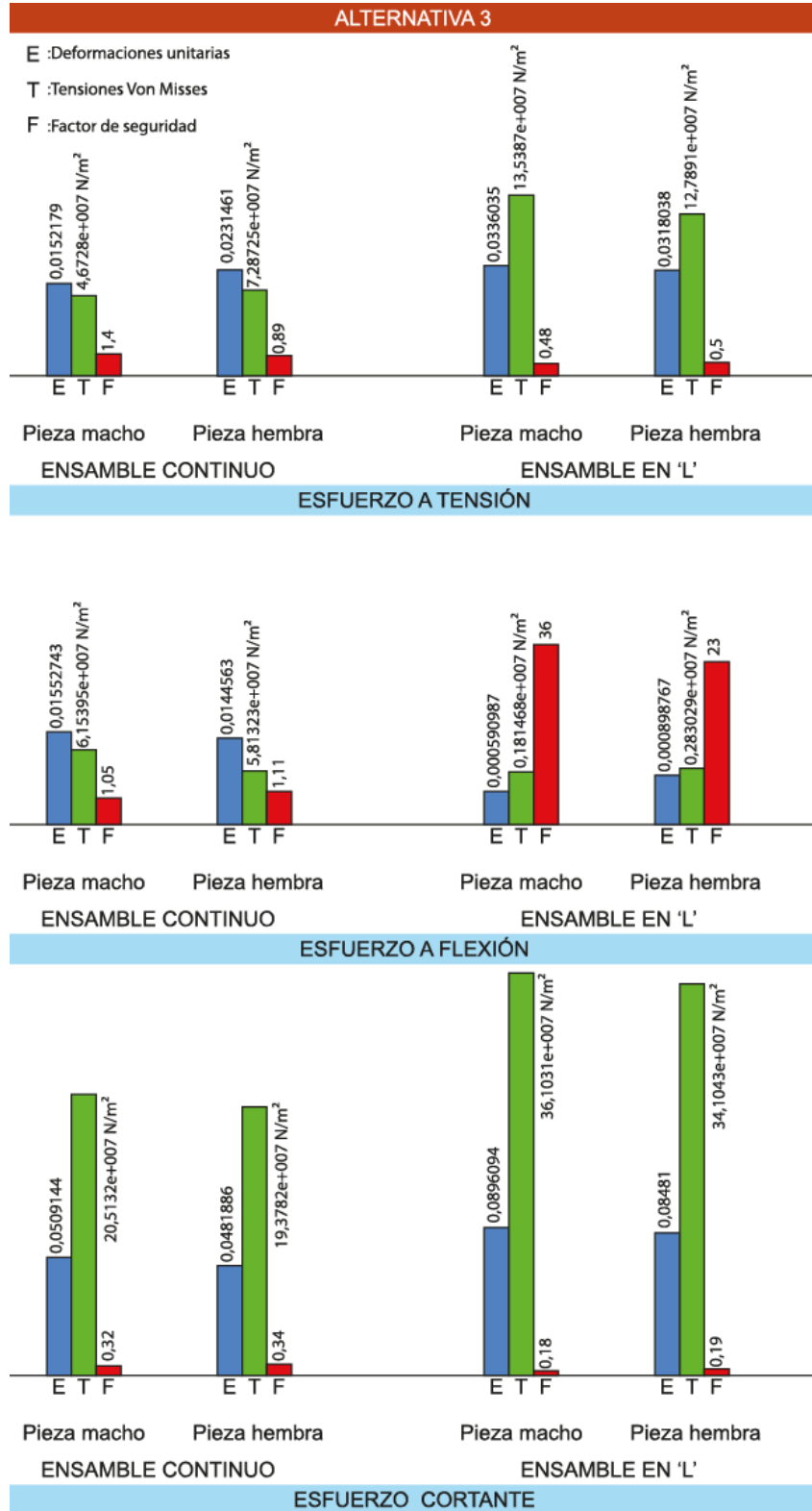
Gráfica 4. Resultados simulaciones alternativa 1.



Gráfica 5. Resultados simulaciones alternativa 2.



Gráfica 6. Resultados simulaciones alternativa 3.



5.8.2 MATRIZ DE SELECCIÓN

Se realiza la selección final de las alternativas planteadas teniendo en cuenta los requerimientos de diseño y los resultados de las simulaciones previamente realizadas.

Tabla 16. Matriz de selección de alternativas.

CRITERIOS DE SELECCIÓN	VALOR	CONCEPTOS					
		ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
REQUERIMIENTOS DE USO	28%						
Instalación por medio de maquinaria convencional y manual.	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25
Elementos complementarios como tornillos se ajustan a la forma y material	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25
facilidad de montaje y desmontaje de las piezas	10%	3	0,3	4	0,4	5	0,5
Lenguaje de uso instintivo para el montaje	8%	5	0,4	4	0,32	5	0,4
REQUERIMIENTOS DE FUNCIÓN	47%						
Resistencia a esfuerzos cortantes	10%	4	0,4	3	0,3	3	0,3
Resistencia a esfuerzos de tensión	10%	4	0,4	2	0,2	3	0,3
Resistencia a esfuerzos de flexión	15%	5	0,75	3	0,45	4	0,6
El sistema de unión queda asegurado en el montaje	6%	5	0,3	5	0,3	5	0,3
Permite el montaje en "L", "T", y continuo en los tableros	6%	5	0,3	5	0,3	5	0,3
REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES	10%						
Tamaño reducido con margen de seguridad en los tableros de mínimo 2 mm	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25
Sistema de unión por 2 piezas o "machihembrado"	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25
REQUERIMIENTOS TÉCNICO PRODUCTIVOS	5%						
Fabricación con tecnología y procesos de producción de la industria nacional	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25
REQUERIMIENTOS FORMAL ESTÉTICOS	10%						
Sistema de unión oculto	10%	5	0,5	5	0,5	5	0,5
TOTAL	100%	61	4,45	56	3,37	60	4,45
¿Continuar?		COMBINAR		NO		COMBINAR	

Como se puede apreciar en la selección realizada, las alternativas 2 y 3 obtienen el mismo puntaje ponderado de 4.45, lo cual evidencia que ambas opciones son viables para el desarrollo de la alternativa final y se plantea combinar dichas

alternativas para obtener lo mejor de cada una en cuanto a requerimientos de uso y requerimientos de función, aspectos en los cuales se evidencian algunas diferencias.

5.8.3 EXPLORACIÓN ENSAYOS MECÁNICOS

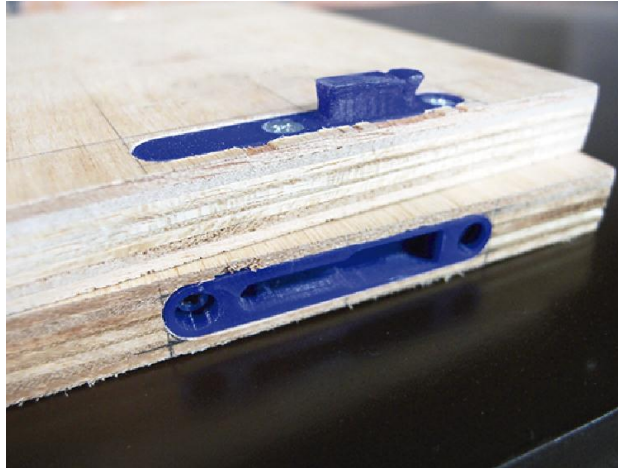
Para el correcto desarrollo y evaluación de las alternativas es importante conocer cómo se comportarían las piezas del sistema al someterlas a esfuerzos reales. Se realiza un ensayo de esfuerzos a flexión, por ser el más crítico y el cuál, en el momento de aplicar el sistema de unión en la fabricación de mobiliario, será el esfuerzo que requiera mayor resistencia, como se pudo comprobar en los ensayos mecánicos realizados con los herrajes “minifix” analizados en el estado del arte.

El ensayo se realiza con un prototipo de la alternativa seleccionada, impresa en 3D en PLA (Poliácido láctico). Las pruebas se realizan en un ensamble en L, bajo los mismos criterios y parámetros que las realizadas en el análisis del estado del arte, con una carga máxima de 4Kn, a 10 mm/ mín. De igual forma, se usan los mismos acoples y equipo empleados que en las pruebas anteriores.

Tabla 17. Propiedades ácido Poliláctico (PLA).

ÁCIDO POLILÁCTICO	
Propiedades	Valor
Densidad (Kg/m	1250
Resistencia a la tracción (MPa)	50
Límite elástico (MPa)	60
Coefficiente de Poisson	
Módulo elástico (Mpa)	3500
Módulo cortante (Mpa)	2400
Conductividad térmica (W/m-k)	0,13
Calor específico (J/(Kg-k)	1800
Alargamiento a la rotura (%)	6

Figura 59. Prototipo de piezas para ensayo de exploración.



- **Resultados**

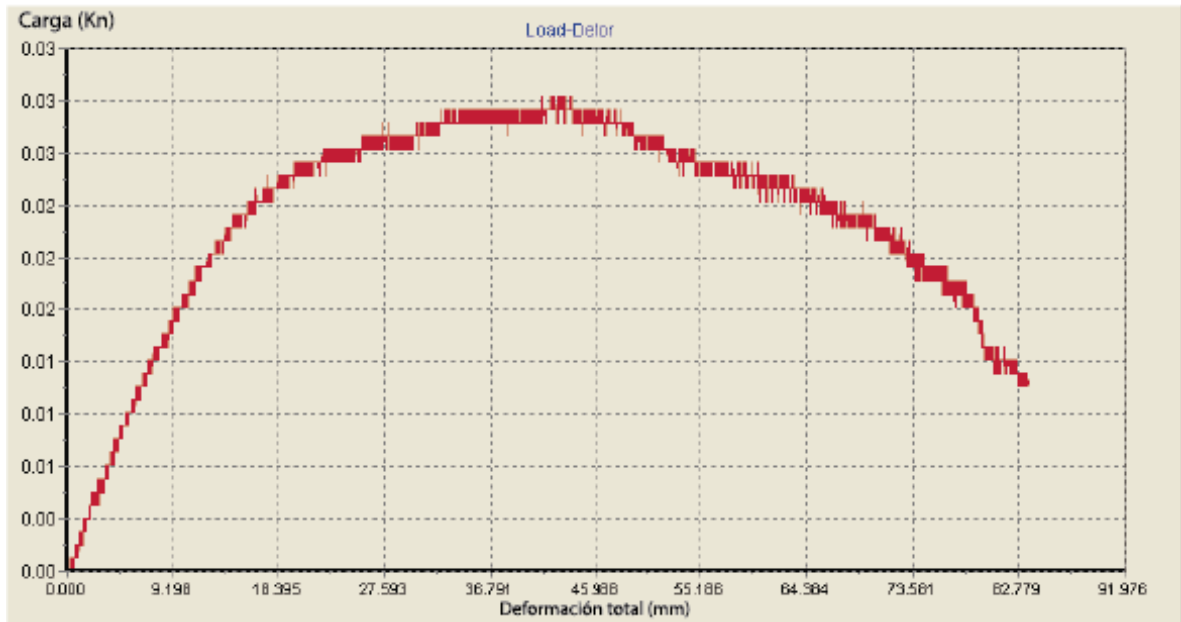
Tabla 18. Resultados prototipo 3D sometido a flexión.

FLEXIÓN- Prototipo 3D			
	Carga máx (KN)	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)
Prototipo 3D	0,03	39,23 mm	0,01

Tabla 19. Resultados promedio. Minifix en Ensamble en L sometido a flexión.

FLEXIÓN-Minifix			
	Carga máx (KN)	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)
Prototipo 3D	0,04	21,2 mm	0,05

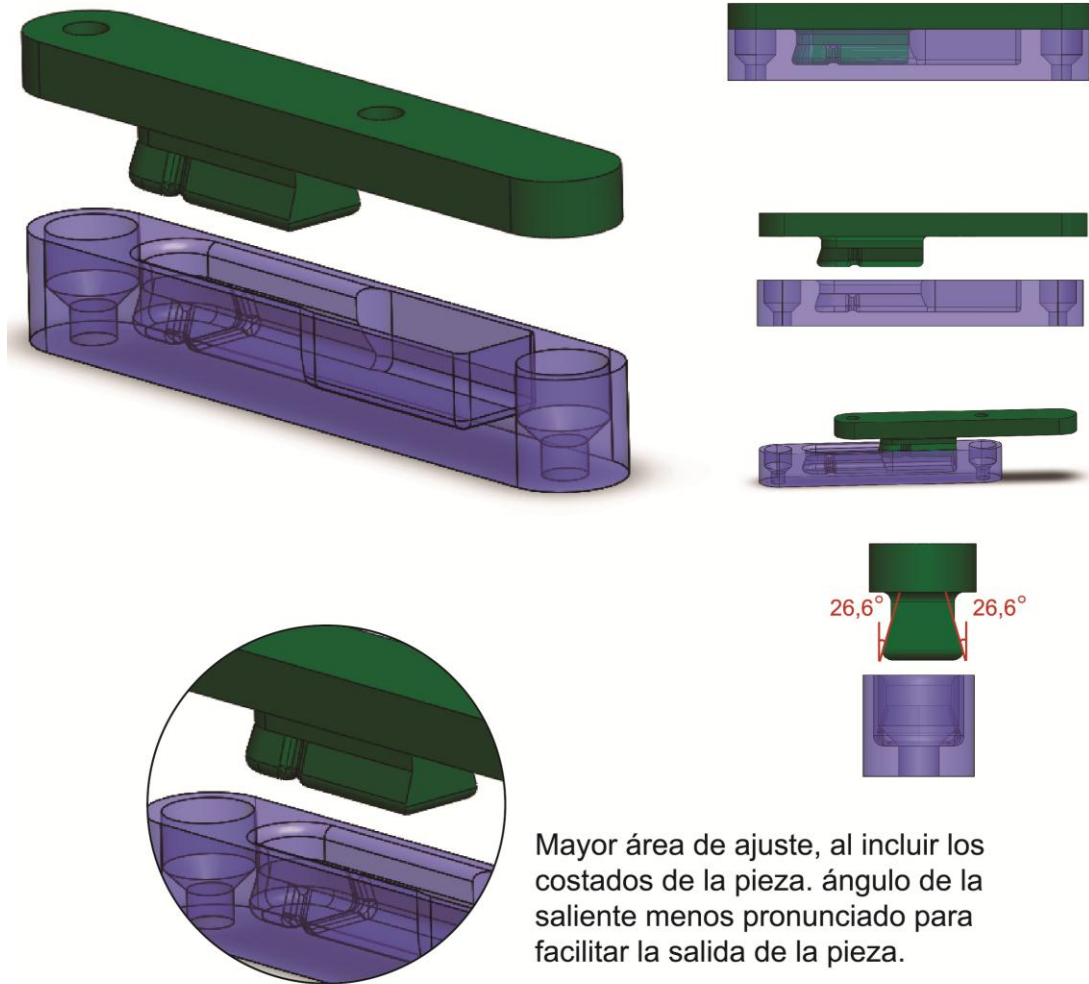
Figura 60. Gráfica carga vs deformación. Prototipo 3D



Se puede apreciar que la geometría del sistema de unión permite un ensamble seguro donde la parte que tiende a fallar es la pieza hembra, en las paredes que tienen un menor espesor. A pesar de que el material con el que están fabricadas las piezas (PLA) no es el ideal para soportar este tipo de ensayos, se aprecia una resistencia aceptable al obtener una carga máxima aplicada de 0,03 KN y compararla con los resultados obtenidos por el herraje “minifix” analizado en el estado del arte, el cuál resistió una carga máxima de 0,04 KN.

5.8.4 ALTERNATIVA FINAL

Figura 61. Alternativa final.



La alternativa seleccionada es corregida y mejorada al aplicar las conclusiones obtenidas de las simulaciones y ensayos exploratorios de laboratorio sobre las alternativas seleccionadas, en busca de mejorar sus cualidades al ser sometida a esfuerzos determinados. El ángulo de la pieza se ha hecho más notorio con un valor de 26,6 grados, de igual forma el ajuste se incorporó a la geometría de la saliente en las superficies laterales e inferior en la pieza macho con una

profundidad de 4,5 mm, dándole al sistema una forma más continua y fluida que permita una mayor área de ajuste y de esta manera, lograr mejores resultados.

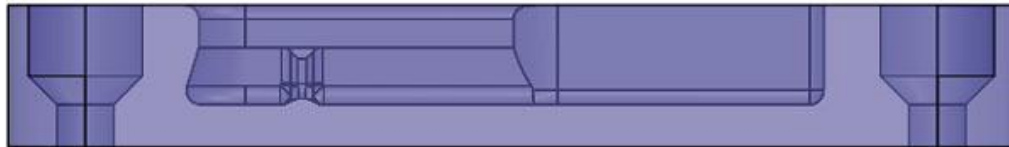
En la figura 62 se aprecia la hendidura con la que cuenta la pieza macho, la cual se encuentra no solo en la superficie inferior, sino en los costados de la saliente de la pieza. De igual forma la pieza hembra cuenta con la saliente correspondiente para el ajuste a presión.

Figura 62. Piezas alternativa final.

Pieza macho



Pieza hembra



El ensamble se realiza al introducir los 7 mm de saliente de la pieza macho y desplazarla una distancia igual a su longitud total de 30 mm dentro de la pieza hembra, donde se ajustará a presión debido a la saliente y hendidura presente en la superficie inferior y costado de las piezas a 3 mm del tope.

A continuación se muestran los renders finales de la alternativa final seleccionada:

Figura 63. Piezas hembra y macho del sistema de unión.



Figura 64. Piezas y tornillos a utilizar en el ensamble.

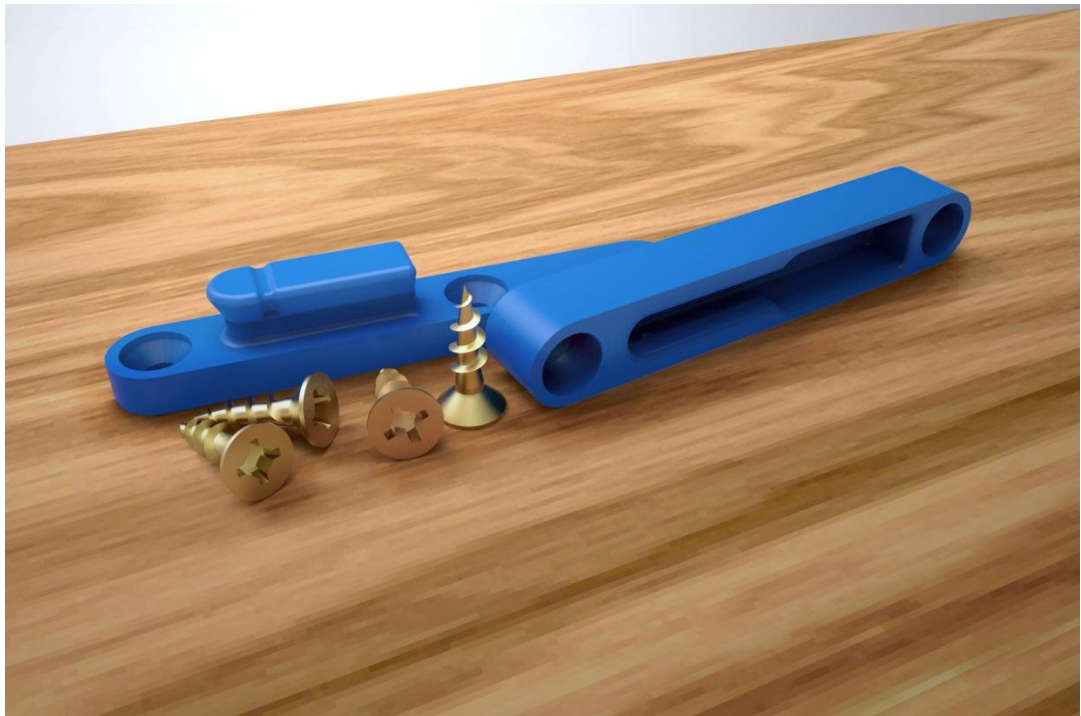


Figura 65. Variación de color del sistema de unión.



Figura 66. Montaje del sistema de unión en tableros de madera.



Los planos generales de las piezas macho y hembra del sistema de unión se encuentran en el Anexo D.

5.8.4.1 Nombre e imagen de producto

La imagen del producto está construida a partir del perfil de las piezas macho y hembra, que a su vez está basado en el ensamble en cola de milano, resaltando el aspecto de unión de machihembrado con el espacio negativo y positivo que se forma al relacionar las formas.

Figura 67. Imagen del sistema de unión DUOFIT.



El logotipo planteado se utilizará tanto para referirse al sistema de unión, como a las piezas de mobiliario fabricadas usando el sistema. De igual forma, se utilizará para todo el material visual que pueda requerirse para el desarrollo del producto final en etapas posteriores, por lo tanto es importante definir los parámetros de uso de la imagen. En el anexo E se encuentra el manual de imagen del sistema de unión “DUOFIT”.

5.8.4.2 Protocolo de montaje del sistema de unión

La propuesta de protocolo de montaje del sistema se encuentra ejemplificada a forma de manual de usuario (ver Anexo F), tanto para el fabricante, el cuál será quién haga el montaje del sistema de unión en los tableros de madera, y el usuario final, que utilizará el sistema de unión para ensamblar y armar los productos de mobiliario.

A continuación se presenta la tabla de operaciones a realizar por parte del fabricante y el usuario final:

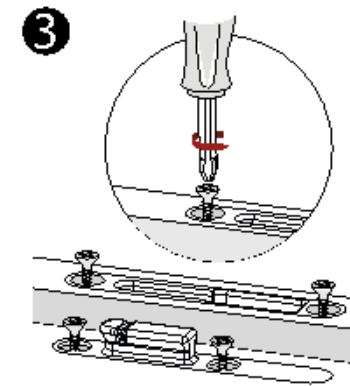
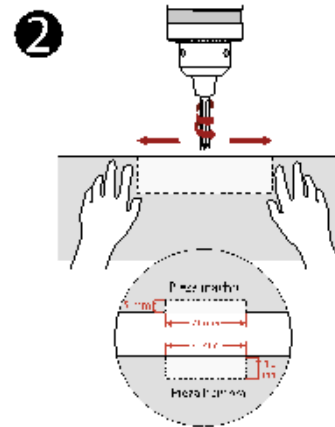
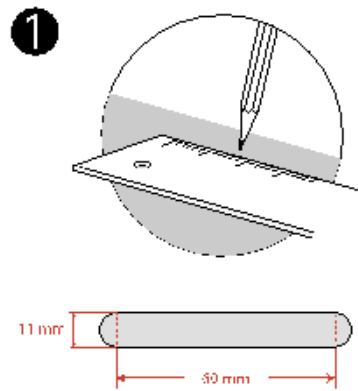
Tabla 20. Operaciones para fabricante y usuario.

TIPO DE USUARIO	OPERACIÓN
Fabricante	1. Medir centros y marcar distancias para las perforaciones en las caras y cantos de los tableros a utilizar.
	2. Realizar perforación y barrido con la longitud estándar de 71 mm y la profundidad establecida de 5 mm y 10 mm para la pieza macho y hembra respectivamente.
	3. Ubicar y atornillar las piezas macho y hembra en las perforaciones correspondientes.
Usuario final	1. Introducir la saliente de la pieza macho en la pieza hembra alineada en la dirección correspondiente para hacer el ensamble.
	2. Desplazar la pieza macho dentro de la pieza hembra hasta lograr asegurar el ensamble al escuchar un "click"

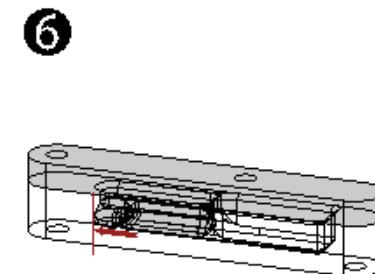
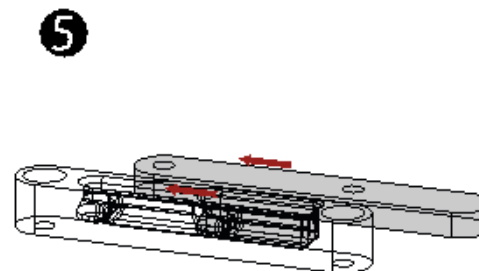
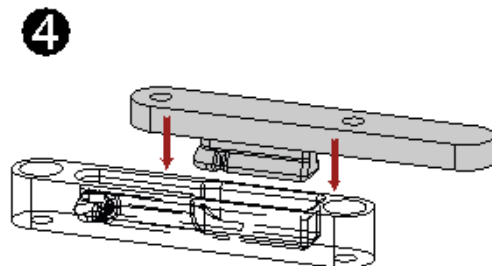
Figura 68. Manual de uso Sistema de unión.

 Sistema de unión
Manual de uso

Usuario fabricante



Usuario final



6. ETAPA DE FABRICACIÓN

6.1 ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

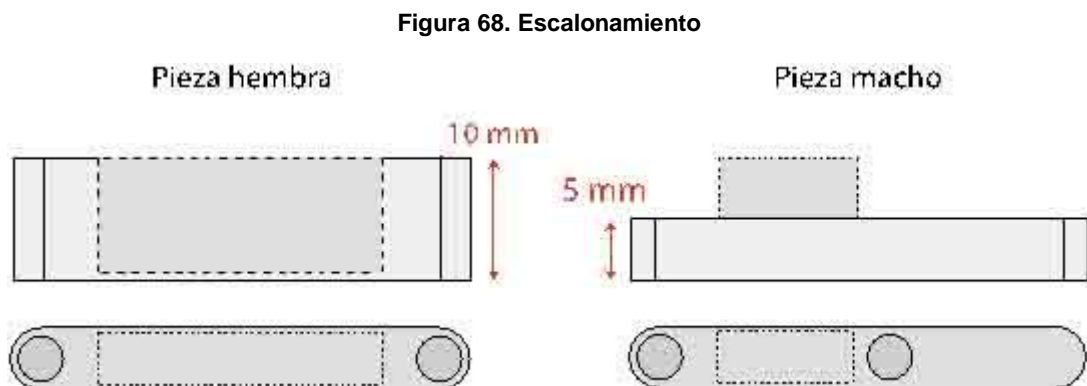
La arquitectura del sistema es un proceso que se ha desarrollado desde las primeras etapas del proyecto de diseño, adaptándose y modificándose en etapas posteriores, permitiendo cumplir con los requerimientos de diseño planteados.

6.1.2 PRINCIPIOS DE DISEÑO

De acuerdo a lo establecido en la metodología FDMA, los conceptos de diseño que aplican en la fabricación del sistema de unión son:

6.1.2.1 Escalonamiento

Productos que realizan la misma función, se basan en el mismo principio de funcionamiento e implican procesos de fabricación similares, pero se conciben en distintos tamaños para cubrir una amplia gama de aplicaciones. Este principio es aplicado en el cuerpo sólido de las piezas que conforman el sistema de unión, la pieza hembra cuenta con 10 mm de profundidad, mientras que la pieza macho cuenta con solo 5 mm.



6.1.2.2 Fabricación a medida

Estrategia según la cual, en la fabricación, algunos componentes pueden adoptar cualquier valor, continuo o discreto (dentro de ciertos límites), en una o más dimensiones de variedad. Aplicado en la fabricación de las piezas, las cuales serán obtenidas mediante un proceso de inyección, donde se puede variar el material a inyectar dependiendo de las necesidades específicas del usuario, así como el molde, siendo este obtenido de un proceso de corte CNC, donde se pueden variar las medidas y dimensiones de ser necesario.

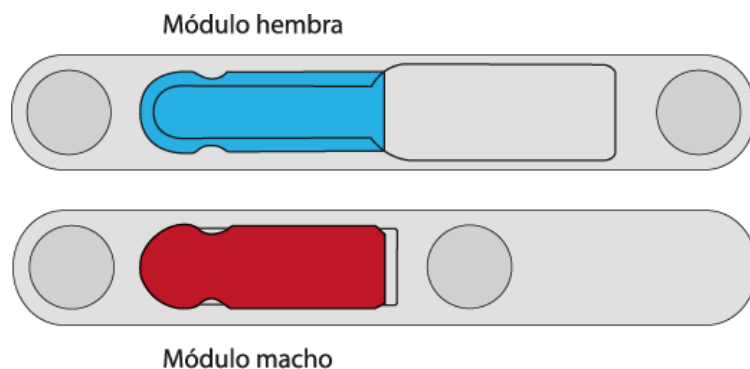
Figura 69. Fabricación a medida.



6.1.2.3 Modularidad de componentes compartidos

Un mismo módulo forma parte de varios miembros de una familia de productos. Concepto complementario de la modularidad de componentes permutados, si los módulos intercambiables se consideran más esenciales que el módulo invariante. Apreciable en la geometría de las piezas, las cuales al hacer un ensamble en forma de machihembrado o positivo/negativo, la pieza macho cuenta con una saliente con una geometría específica, la misma con la cual cuenta la pieza hembra, pero en forma de hendidura.

Figura 70. Modularidad de componentes compartidos.



6.2 MATERIALES

Como parte del proceso de fabricación final del sistema de unión, se analizan los posibles materiales a utilizar para la conformación de las piezas.

Se analizan diferentes materiales termoplásticos, siendo clasificados según sus propiedades y accesibilidad en la industria manufacturera local.

Tabla 21. Propiedades de materiales termoplásticos.

Propiedades	HDPE	PC	ABS	PLA
Densidad (Kg/m ³)	952	1190	1020	1250
Resistencia a la tracción (MPa)	21	62,7	30	50
Límite elástico (MPa)	79,5	65	36,75	60
Coefficiente de Poisson	0,46	0,3912	0,394	
Módulo elástico (Mpa)	1070	2320	2000	3500
Módulo cortante (Mpa)	377,2	829,1	318,9	2400
Conductividad térmica (W/m-k)	0,461	0,189	0,2256	0,13
Calor específico (J/(Kg-k))	1796	1535	1386	1800
Alargamiento a la rotura (%)	700	120	20	6

Se puede apreciar que uno de los materiales con mejores propiedades para la elaboración de las piezas es el Policarbonato (PC), con valores favorables de resistencia a la tracción, modulo y límite elástico y modulo cortante. De igual forma su amplio uso en la industria de construcción y automotriz evidencian su viabilidad en la resistencia a esfuerzos mecánicos.

6.3 FABRICACIÓN

El proceso de producción de las piezas que conforman el sistema de unión es uno de los aspectos de mayor relevancia al realizar la propuesta comercial del producto. Dentro de las tecnologías locales, el proceso de producción que mejor cumple con los requerimientos de la propuesta de diseño, en cuanto a geometrías exactas y producción en masa, es el moldeo por inyección de piezas termoestables.

El proceso da inicio con la fabricación de la pieza de referencia de la cual se obtendrán los moldes. Esta pieza es elaborada por lo general en madera o porcelana, pero dada la complejidad de las piezas que conforman el sistema de unión, un proceso de prototipado en 3d proporciona mayor precisión y fiabilidad al modelo final.

Los moldes son fabricados de diferentes tipos de aceros resistentes a altas presiones de cierre e inyección, varían dependiendo también de la cantidad de uso que se les vaya a dar y el material que será fundido y moldeado dentro de estos. Un molde es simulado por software con el propósito de lograr una optimización de material, geometría y disposición de los elementos inherentes al proceso, como son las entradas y salidas que debe tener el molde. La temperatura, presión, flujo y cristalización y deformación de las piezas, puede ser simulado en el software de forma que se minimicen al máximo los posibles errores al iniciar el proceso de moldeo.

El proceso de moldeo se puede dividir en 6 etapas principales:

- Molde cerrado y vacío. La unidad de inyección se carga de material y se llena de polímero fundido.
- Se inyecta el polímero abriendo la válvula y, con el husillo que actúa como un pistón, se hace pasar el material a través de la boquilla hacia las cavidades del molde.

- La presión se mantiene constante para lograr que la pieza tenga las dimensiones adecuadas, pues al enfriarse tiende a contraerse.
- La presión se elimina, la válvula se cierra y el husillo gira para cargar material, mientras va retrocediendo.
- La pieza en el molde termina de enfriarse, la prensa libera la presión y el molde se abre; las barras expulsan la parte moldeada fuera de la cavidad.
- La unidad de cierre vuelve a cerrar el molde y el proceso puede volver a iniciar.

6.3.1 MAQUINARIA

Existen diferentes máquinas utilizadas en este proceso de moldeo, las cuales pueden variar en dimensiones y esfuerzos realizados, dependiendo de su propósito y de los materiales a utilizar.

Figura 71. Mecanizado vertical CNC: Máquina para moldes VM3



www.pladesan.com

- **Unidad de inyección**

Cumple la función básica de fundir, mezclar e inyectar el polímero. Para lograr esto se utilizan husillos de diferentes características según el polímero a utilizar.

La unidad de inyección es en origen una máquina de extrusión con un solo husillo, teniendo la cámara calentadores y sensores para mantener una temperatura programada constante. La profundidad del canal del husillo disminuye de forma gradual (o drástica, en aplicaciones especiales) desde la zona de alimentación hasta la zona de dosificación. De esta manera, la presión en la cámara aumenta gradualmente. El esfuerzo mecánico, de corte y de compresión añaden calor al sistema y funden el polímero más eficientemente.

- **Unidad de cierre:**

Es una prensa hidráulica o mecánica, con una fuerza de cierre suficiente para contrarrestar la fuerza ejercida por el polímero fundido al ser inyectado en el molde.

El parámetro fundamental para dimensionar una unidad de cierre es su fuerza para mantener el molde cerrado. Otros parámetros importantes a tener en cuenta son la distancia mínima entre placas, la distancia máxima de apertura, las dimensiones de las placas y la distancia entre columnas, la carrera del sistema de expulsión. Son estos datos los de mayor importancia para establecer las dimensiones finales de los moldes.

6.4 COSTOS DE PRODUCCIÓN

Si bien el aprovechamiento de recursos tecnológicos, de materiales y comerciales no es uno de los objetivos del proyecto, se plantea la utilización de tecnologías disponibles en la industria local que permitan una fabricación viable en todos los ámbitos, con un valor total de producción cercano a las realidades de la industria del mueble en el país.

La empresa santandereana PLADESAN Ltda. Dentro de su portafolio de productos y servicios, ofrece el servicio de moldeado e inyección de diversas piezas en

materiales poliméricos. La empresa ofrece 3 opciones diferentes de moldeo de las piezas, optimizando procesos según el volumen de producción deseado.

Tabla 22. Costos proceso de inyección. Molde 1

MOLDE 1: Molde semiautomático colada fría.				
Dos (2) cavidades: 1 Kit completo.				
Insertos en acero especial con tratamiento térmico: Paquete dados seis (6) pulgadas, placa soporte y paquete expulsión estudio de diseño de pieza.				
ETAPAS DE PROCESO DE INYECCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
MODELO:				
Impresión 3D de modelo CAD-Solidworks	2	\$350xmin	\$ 37.100	\$ 37.100
MOLDE:				
Simulación de modelo en software	1	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 4.500.000
Material para elaboración del molde (acero IMPAX SUPREME)	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	
Mecanizado en CNC del positivo y negativo del molde	1	\$ 4.000.000	\$ 2.500.000	
Optimización de entradas y salidas del molde	1	\$ 500.000	\$ 500.000	
INYECCIÓN:				
Material para el proceso de inyección (Policarbonato PC)	5,4 Kg	\$ 7.300	\$ 39.300	\$ 79.000.000
Proceso de inyección - 2 cavidades 2 piezas	1000	\$ 1.935	\$ 967.500	
Proceso de inyección - 2 cavidades 2 piezas	10000	\$ 1.815	\$ 9.075.000	
Proceso de inyección - 2 cavidades 2 piezas	50000	\$ 1.695	\$ 42.375.000	
Proceso de inyección - 2 cavidades 2 piezas	100000	\$ 1.580	\$ 79.000.000	
TRANSPORTE:				
Transporte de piezas hasta su planta en Bucaramanga	1	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000
			VALOR TOTAL x 1000 piezas	\$ 5.543.900

Tabla 23. Costos de proceso de inyección. Molde 2

MOLDE 2 : Molde semiautomático colada fría. Cuatro (4) cavidades: 2 Kit completos. Insertos en acero especial con tratamiento térmico: paquete dados ocho (8) pulgadas, placa soporte y paquete expulsión estudio de diseño de pieza.				
ETAPAS DE PROCESO DE INYECCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
MODELO:				
Impresión 3D de modelo CAD-Solidworks	2	\$350xmin	\$ 37.100	\$ 37.100
MOLDE:				
Simulación de modelo en software	1	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 6.000.000
Material para elaboración del molde (acero IMPAX SUPREME)	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	
Mecanizado en CNC del positivo y negativo del molde	1	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000	
Optimización de entradas y salidas del molde	1	\$ 500.000	\$ 500.000	
INYECCIÓN:				
Material para el proceso de inyección (Policarbonato PC)	5,4 Kg	\$ 7.300	\$ 39.300	\$ 27.000.000
Proceso de inyección - 4 cavidades 4 piezas	1000	\$ 1.317	\$ 329.250	
Proceso de inyección - 4 cavidades 4 piezas	10000	\$ 1.220	\$ 3.050.000	
Proceso de inyección - 4 cavidades 4 piezas	50000	\$ 1.155	\$ 14.437.500	
Proceso de inyección - 4 cavidades 4 piezas	100000	\$ 1.080	\$ 27.000.000	
TRANSPORTE:				
Transporte de piezas hasta su planta en Bucaramanga	1	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000
			VALOR TOTAL x 1000 piezas	\$ 6.455.650

El proceso de moldeado automático es el más ideal para la inyección de las piezas del sistema de unión, ya que evita posibles errores en la retirada de los contramoldes y la expulsión de las piezas, que de otra forma podrían verse afectadas. De igual forma el molde contiene 4 cavidades que permiten sacar 2 pares (4 piezas) por inyección.

Tabla 24. Costos de proceso de inyección. Molde 3

MOLDE 3 : Molde Automático colada fría.				
Cuatro (4) cavidades: 2 Kit completos.				
Insertos en acero especial con tratamiento térmico: paquete dados ocho (8) pulgadas, placa soporte y paquete con sistema de expulsión automática estudio de diseño de pieza.				
ETAPAS DE PROCESO DE INYECCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL	TOTAL
MODELO:				
Impresión 3D de modelo CAD-Solidworks	2	\$350xmin	\$ 37.100	\$ 37.100
MOLDE:				
Simulación de modelo en software	1	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 12.000.000
Material para elaboración del molde (acero IMPAX SUPREME)	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	
Mecanizado en CNC del positivo y negativo del molde	1	\$ 4.000.000	\$ 7.000.000	
Automatización de entradas y salidas del molde	1	\$ 2.000.000	\$ 3.000.000	
Optimización de entradas y salidas del molde	1	\$ 500.000	\$ 500.000	
INYECCIÓN:				
Material para el proceso de inyección (Policarbonato PC)	5,4 Kg	\$ 7.300	\$ 39.300	\$ 18.250.000
Proceso de inyección - 4 cavidades 4 piezas	1000	\$ 895	\$ 223.750	
Proceso de inyección - 4 cavidades 4 piezas	10000	\$ 860	\$ 2.150.000	
Proceso de inyección - 4 cavidades 4 piezas	50000	\$ 790	\$ 9.875.000	
Proceso de inyección - 4 cavidades 4 piezas	100000	\$ 730	\$ 18.250.000	
TRANSPORTE:				
Transporte de piezas hasta su planta en Bucaramanga	1	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000
			VALOR TOTAL x 1000 piezas	\$ 12.350.150

6.5 PROTOTIPOS FINALES

Figura 72. Prototipos finales



7. ETAPA DE COMPROBACIONES

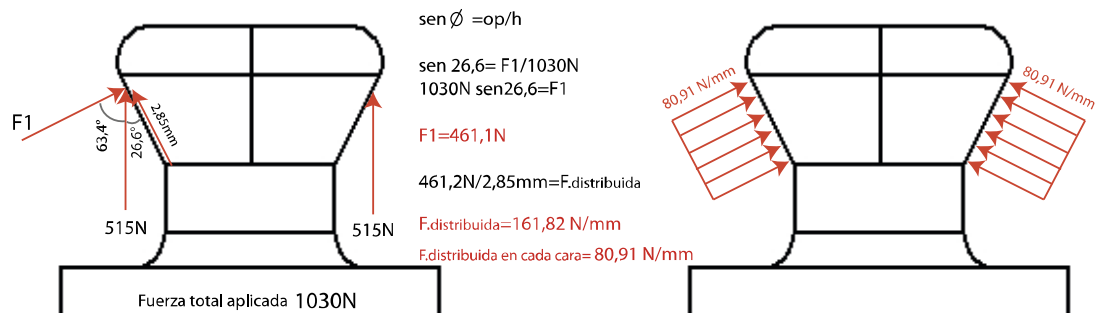
7.1 ANÁLISIS ESTÁTICO – DIAGRAMA DEL CUERPO LIBRE

Teniendo definida la geometría y dimensiones finales del sistema de unión, se realiza el análisis estático y diagramas de cuerpo libre de las fuerzas aplicadas según el esfuerzo al que es sometido el ensamble, tomando los valores de resistencia máximos obtenidos en las pruebas de laboratorio realizadas al herraje “minifix”, que permite obtener el valor correcto de la fuerza aplicada en la superficie de las piezas del sistema de unión.

Figura 73. DCL Esfuerzos a tensión.

Esfuerzo en tensión

en ensambles continuos



en ensambles en L

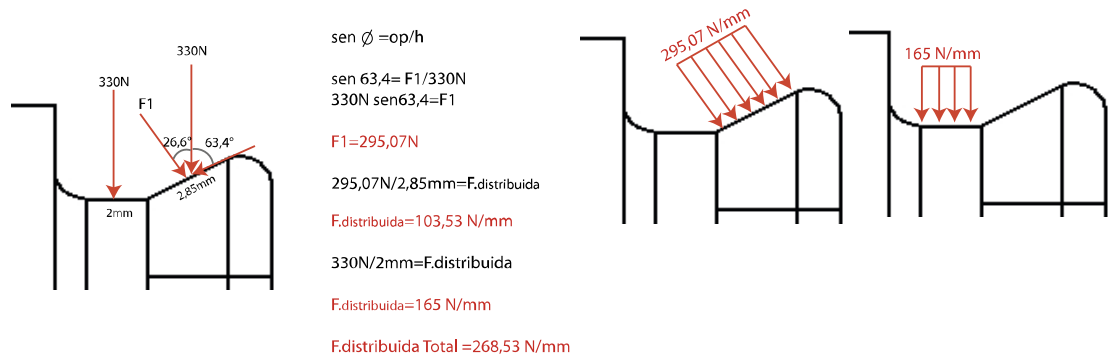
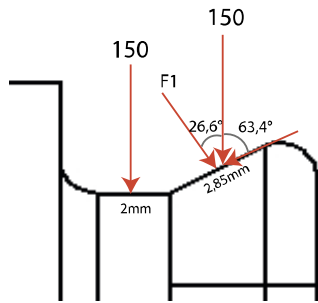


Figura 74. DCL Esfuerzos a flexión.

Esfuerzo en flexión

en ensambles continuos



$$\text{sen } \varnothing = \text{op}/\text{h}$$

$$\text{sen } 63,4 = F1/150\text{N}$$

$$150\text{N} \text{ sen}63,4 = F1$$

$$F1 = 134,12 \text{ N}$$

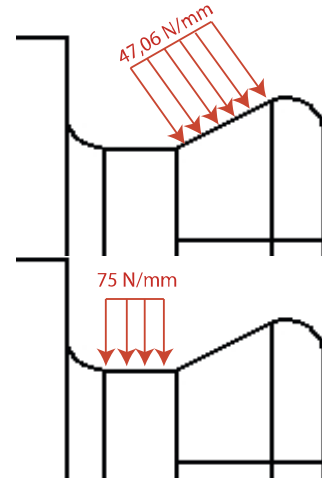
$$134,12 \text{ N}/2,85\text{mm} = \text{F.distribuida}$$

$$\text{F.distribuida} = 47,06 \text{ N/mm}$$

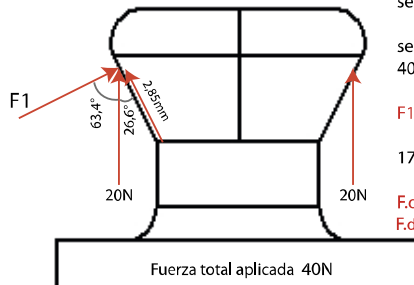
$$150 \text{ N}/2\text{mm} = \text{F.distribuida}$$

$$\text{F.distribuida} = 75 \text{ N/mm}$$

$$\text{F.distribuida Total} = 120,06 \text{ N/mm}$$



en ensambles en L



$$\text{sen } \varnothing = \text{op}/\text{h}$$

$$\text{sen } 26,6 = F1/40\text{N}$$

$$40\text{N} \text{ sen}26,6 = F1$$

$$F1 = 17,91 \text{ N}$$

$$17,91\text{N} / 2,85\text{mm} = \text{F.distribuida}$$

$$\text{F.distribuida} = 6,28 \text{ N/mm}$$

$$\text{F.distribuida en cada cara} = 3,14 \text{ N/mm}$$

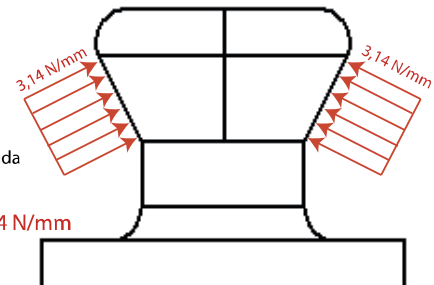
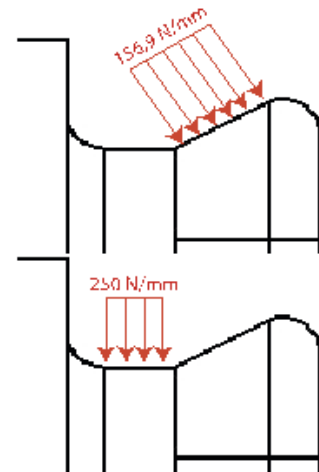
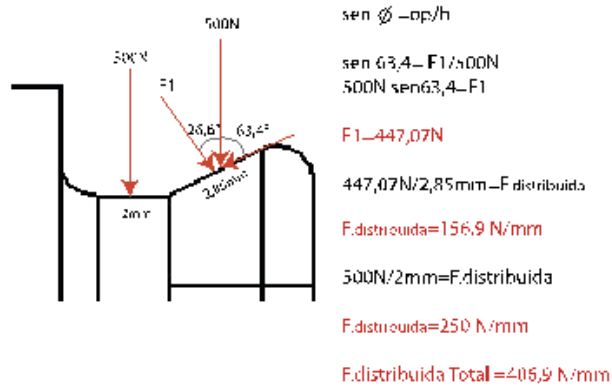


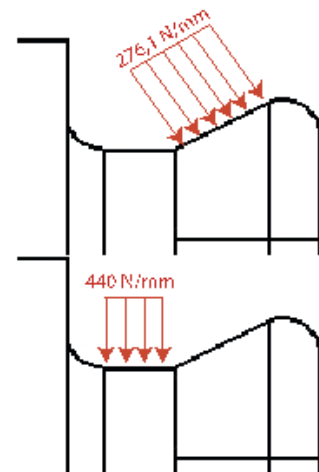
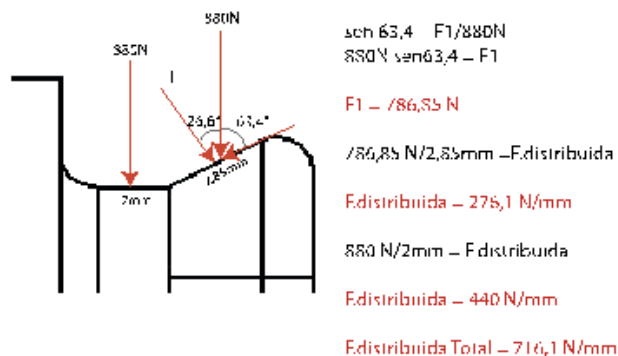
Figura 75. DCL esfuerzos a cortante.

Esfuerzo en cortante

en ensambles continuos



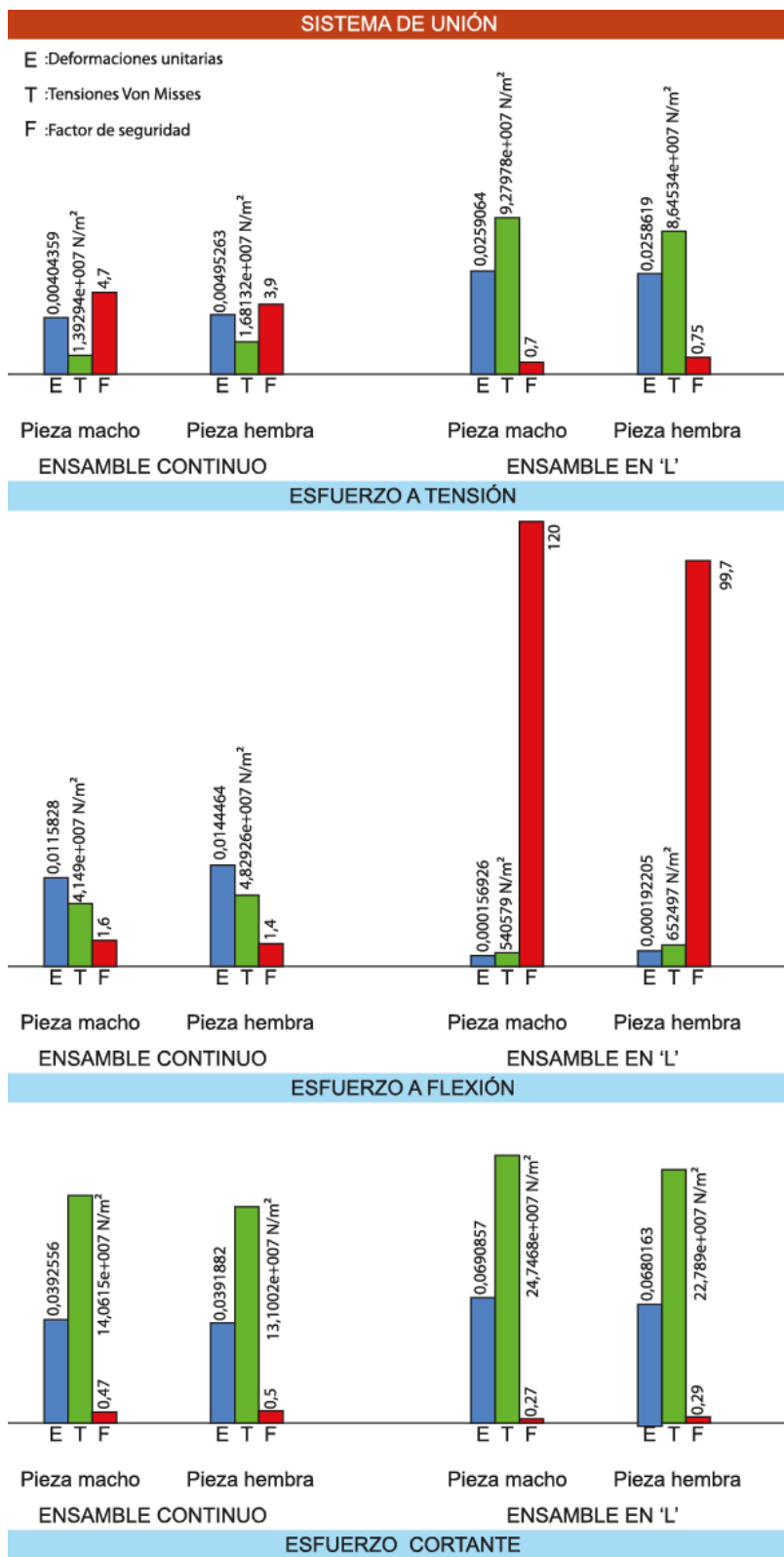
en ensambles en L



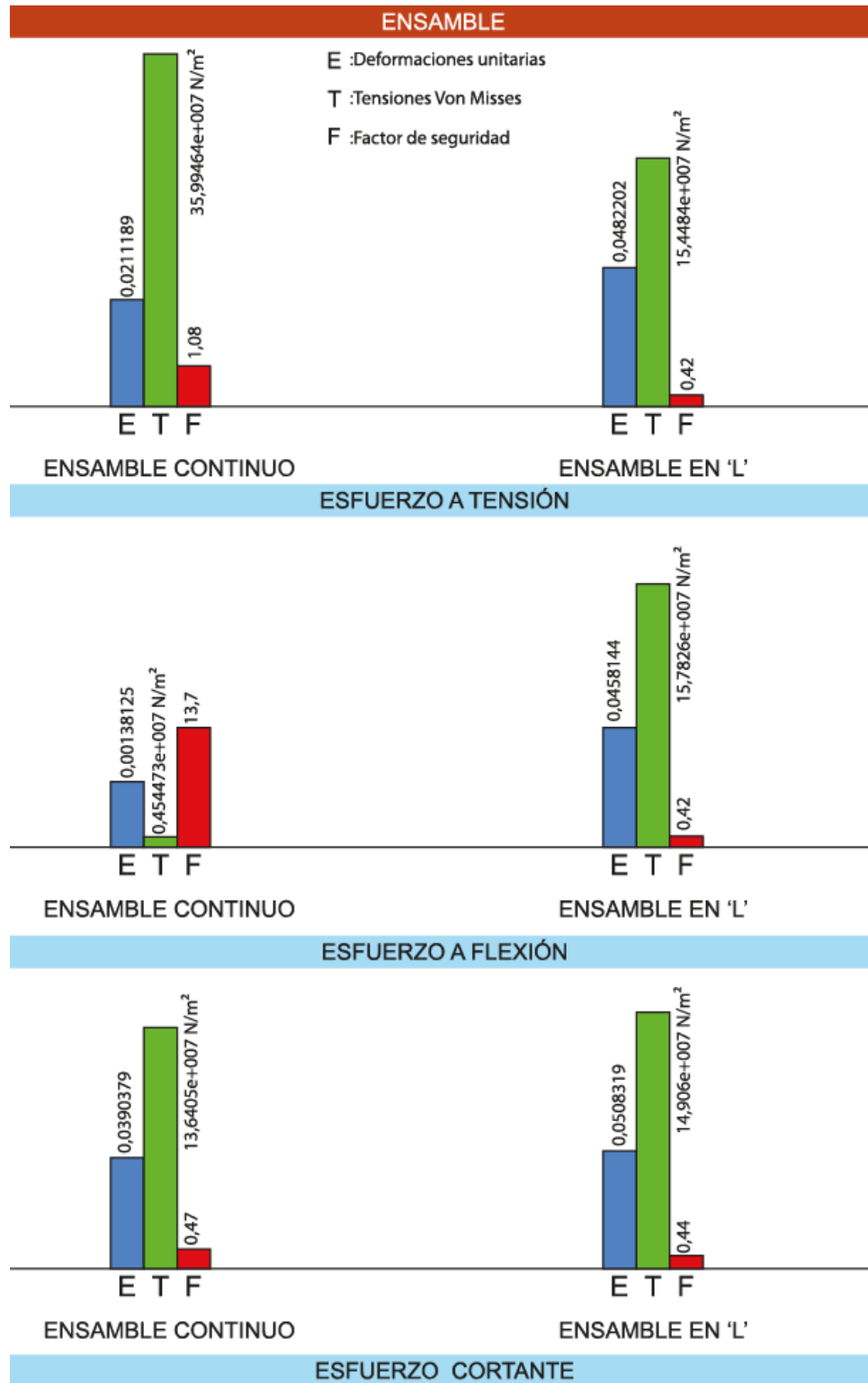
7.2 SIMULACIONES CAD-CAE

Como parte de la etapa de comprobaciones, se realizan las simulaciones de los esfuerzos mecánicos en el software CAD-CAE de Solidworks Simulation del sistema de unión realizando estudios a esfuerzos de tensión, flexión y cortantes tanto a las piezas macho y hembra por separado, como al ensamble general que incluye los tableros de contrachapado. En el anexo G se encuentran todas las simulaciones realizadas al sistema de unión y el ensamble.

Gráfica 7. Resultados simulaciones en Sistema de Unión.



Gráfica 8. Resultados simulaciones en ensambles,



En los resultados de las simulaciones obtenidos se puede apreciar que el esfuerzo crítico tanto en las piezas macho y hembra del sistema de unión, como en el ensamble, es el esfuerzo cortante, en el que se obtienen los mayores desplazamientos y el menor factor de seguridad con valores menores a 1.

El comportamiento del sistema de unión determinado en las simulaciones realizadas, asignando policarbonato como material de las piezas y someténdolas a las cargas máximas de rotura en esfuerzos de tensión, flexión y cortante, nos permite determinar la viabilidad del diseño al presentar factores de seguridad en los ensayos de flexión con valores superiores a 1, lo cual indica que se puede aplicar una carga mayor para llevar el sistema de unión a la rotura. Sin embargo, al usar cargas máximas, las simulaciones de esfuerzos cortantes presentan el factor de seguridad más bajo con valores de 0.47, lo cual indica que los ensambles sometidos a este tipo de esfuerzo serían los más propensos a fallar.

7.3 COMPROBACIONES MECÁNICAS

Para completar la etapa de comprobaciones se hace necesaria la realización de pruebas de laboratorio con ensambles reales, que permita evidenciar el comportamiento real del sistema de unión sometido a esfuerzos con cargas máximas determinadas, que a pesar de no estar fabricado con el proceso de producción ni el material real, sirva de aproximación a futuras comprobaciones en el producto terminado.

Se realizan las pruebas con probetas de ensambles de madera contrachapada unidas mediante prototipos del sistema de unión, sometido a esfuerzos de flexión, por ser el más crítico y el cuál, al momento de aplicar el sistema de unión como producto final en la fabricación de mobiliario, será el esfuerzo que requiera mayor resistencia.

Las comprobaciones finales se realizan con 5 prototipos impresos en 3D en PLA (Poliácido láctico o ácido polilactico). Las pruebas se realizan en un ensamble en “L”, bajo los mismos asignada a la máquina de 4Kn, a 10 mm/ mín. De igual forma, se usan los mismos acoples para el ensamble en “L” y el mismo equipo empleado para el desarrollo de las pruebas anteriores.

El registro de datos y gráficas obtenidas en los ensayos mecánicos realizados a los prototipos del sistema de unión se encuentran en el Anexo H.

Figura 76. Ensayo de flexión ensamble en L. Prototipos finales

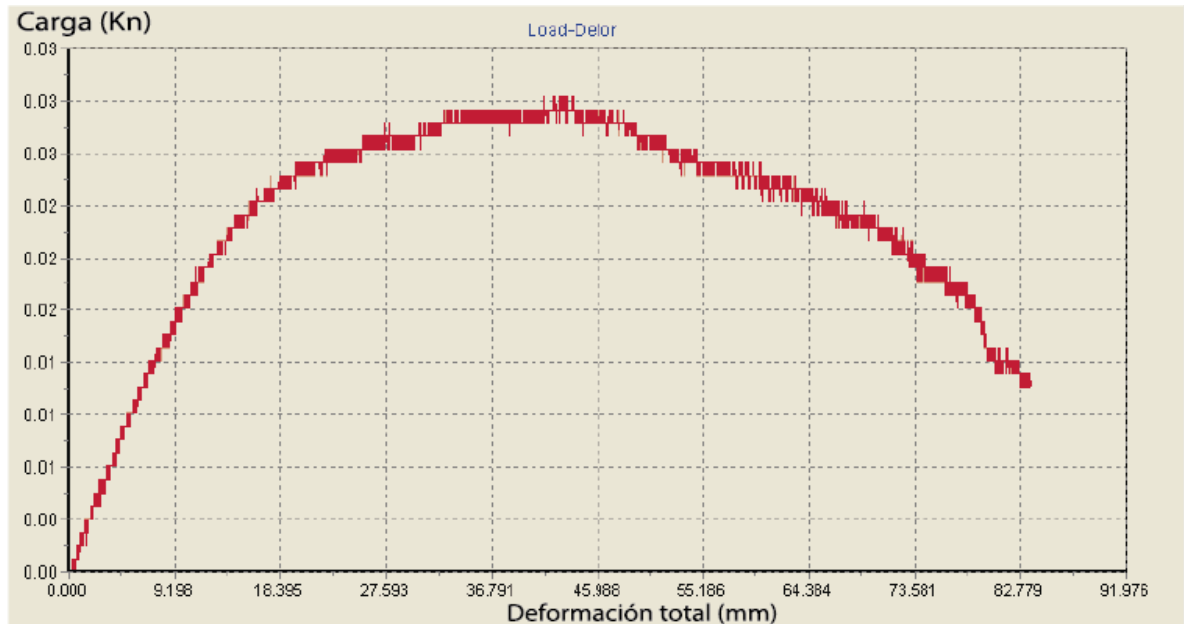


- **Resultados**

Tabla 25. Resultados prototipo final sometido a flexión.

ESFUERZO FLEXIÓN – Ensamble en “L” Prototipos finales			
	Carga máx (KN)	Deformación (mm)	Esfuerzo (MPa)
Probeta 1	0,0288	14,03	0,01
Probeta 2	0,0274	7,328	0,01
Probeta 3	0,032	14,78	0,01
Probeta 4	0,034	42,82	0,01
Probeta 5	0,0272	26,292	0,01
Probeta 6 (10 usos)	0,0152	11,32	0,01

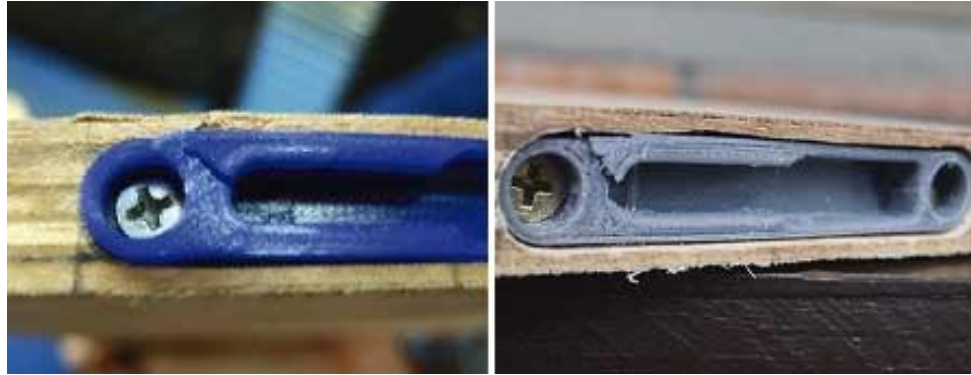
Gráfica 9. Carga vs Deformación. Esfuerzos a flexión en ensamble en L. Prototipo final



Con los resultados obtenidos por las probetas sometidas a esfuerzos de flexión, se puede promediar la carga máxima resistida en 0,03 KN, lo cual indica un valor aceptable para el ensamble a utilizarse en mobiliario modular, a pasar de estar fabricada en PLA (poliácido láctico o ácido poliláctico), el cual tiene un límite elástico y una resistencia a la tracción inferior al PC (Policarbonato), material seleccionado para la fabricación por inyección del sistema de unión.

Se realiza una prueba adicional a una probeta con un sistema de unión utilizado 10 veces con el fin de observar el comportamiento mecánico del sistema de unión al ser ensamblado y desensamblado 10 veces. La probeta 6 evidencia una reducción de casi la mitad de carga máxima soportada comparada con el promedio obtenido por las 5 probetas iniciales, lo cual puede ser explicado por el desgaste del material con el que se fabricaron los prototipos, sin embargo, es un indicio a tener en cuenta en futuras experimentaciones de desgaste realizadas a al producto final fabricado con el material y el proceso de producción correctos.

Figura 77. Rotura en la pieza hembra de prototipos finales



Con los ensayos realizados se puede determinar el punto de rotura real de las piezas del sistema de unión en la pieza hembra en el costado donde se aplican las fuerzas, al ser el punto de menor grosor y por ende el más débil de todo el sistema.

7.3.2 OBSERVACIONES DE LAS COMPROBACIONES MECÁNICAS EN PROTOTIPOS

- La carga máxima promedio soportada por los prototipos en ensamble en L sometidos a esfuerzos de flexión es de 0,03 KN.
- Las deformaciones varían considerablemente, lo cual es de esperarse al considerar variables de precisión en las piezas del sistema de unión impresas en 3d, los tableros de madera contrachapada y el proceso de montaje de las piezas en los tableros.
- La probeta ensamblada y desensamblada 10 veces muestra una reducción de casi la mitad en la carga máxima resistida, al presentar rotura a 0,0152 KN.
- Los tornillos utilizados para unir las piezas del sistema de unión a los tableros de contrachapado no evidencian desgaste alguno al realizar las pruebas, validando su ubicación y profundidad.

- El ensamble tiende a fallar en la pieza hembra, la cual presenta fractura en el costado más delgado de la pieza, donde se están aplicando las cargas.
- Las piezas del producto final en Policarbonato, fabricadas mediante el proceso de inyección, presentarán un mejor comportamiento mecánico que los prototipos fabricados en PLA impreso en 3D.

7.4 PRUEBAS DE EFICIENCIA

Para la realización del análisis del protocolo de montaje y ensamblaje del sistema de unión propuesto, al igual que con el herraje “minifix”, se parte de la teoría de la Ingeniería de Métodos y Tiempos de Niebel. La medición de tiempos por cada tarea y registro en video facilita el análisis comparativo de las operaciones a realizar en el sistema de unión y las realizadas en el análisis del herraje “minifix”.

De igual forma se sigue el modelo planteado por la empresa TITUS sobre la aceptación del consumidor también brinda una herramienta útil de medición sobre el usuario final de un producto de mobiliario. La información es cuantificada en la fórmula del factor de aceptación del consumidor (FAC), lo que facilita el análisis comparativo.

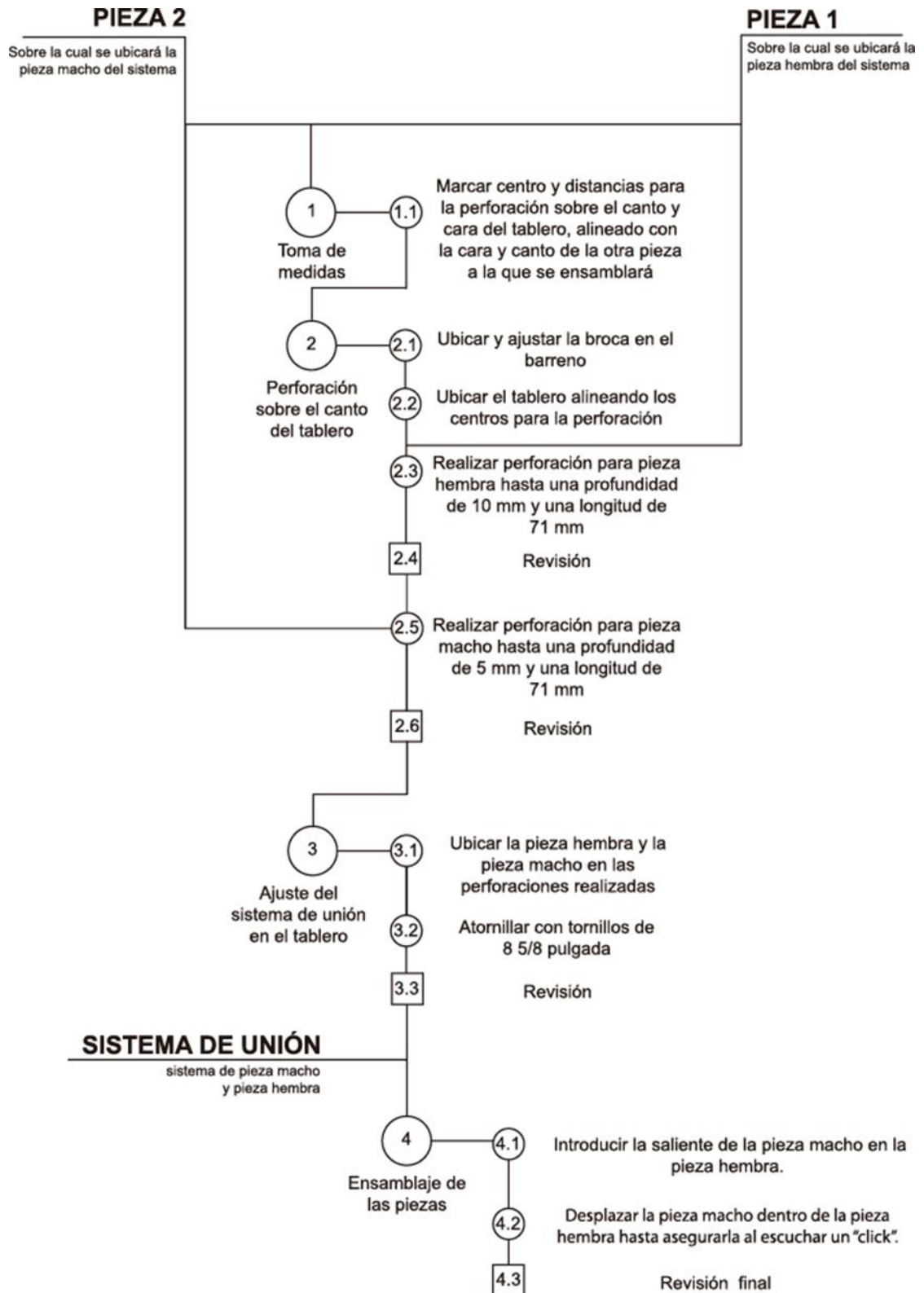
7.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

Para el análisis de operaciones y tareas se tiene en cuenta que el uso del sistema de unión propuesto está dividido en dos etapas: instalación del sistema de unión y ensamble de las piezas usando el sistema de unión. De igual forma existen dos usuarios: el Usuario fabricante, quien instala el sistema de unión en los tableros de madera; y el Usuario final, quien ensambla los tableros de madera utilizando el sistema de unión previamente instalado.

La utilización de diagramas hombre/máquina no se tiene en cuenta en este proceso debido a que se presentan variables que no se pueden controlar como lo

es el tipo de maquina barrenadora utilizada para el montaje del sistema de unión y el uso de herramientas manuales adicionales como el taladro, destornillador, etc.

Gráfica 10. Diagrama de flujo de procesos Sistema de unión.



En el diagrama de flujo de procesos podemos apreciar que el número de operaciones ha disminuido significativamente a 4, en comparación con el diagrama de operaciones del herraje “minifix” anteriormente desarrollado, en donde debían realizarse 7 operaciones diferentes para concluir la labor. Esto se debe a la homologación de operaciones idénticas para la pieza 1 y pieza 2, en donde la toma de medidas, perforación y ajuste del sistema de unión a los tableros son iguales para ambas piezas.

7.4.2 MEDICIÓN DE TIEMPOS

Se realiza la toma y análisis de tiempos empleados en cada operación para el maquinado de los tableros en donde será ubicado el sistema de unión y los procedimientos de ensamblaje de las piezas.

La medición de tiempos se divide en las piezas macho y hembra y su instalación en los respectivos tableros de contrachapado, de igual forma el ensamblaje final de dichas piezas mediante el sistema de unión instalado.

Selección de trabajadores

Al igual que en la medición de tiempos del herraje “minifix” realizada anteriormente, se requiere la participación de dos tipos de usuarios: Un usuario experto o conocedor de la labor, para realizar la medición de tiempos en cuanto a maquinado de las piezas de contrachapado y montaje de las piezas del sistema de unión. Un usuario inexperto o novato es requerido para analizar los tiempos finales del ensamblaje de los tableros de contrachapado mediante el sistema de unión.

Muestreo

El cálculo del número de observaciones o tamaño de la muestra a tomar para validar la medición de tiempos, como se plantea en la teoría de la Ingeniería de Métodos y Tiempos, y tal como se realizó en la medición de tiempos del herraje “minifix”, se realiza mediante el método estadístico.

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - \sum (x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra que se desea hallar

n' = Número de observaciones del estudio preliminar

Σ = Sumatoria de los tiempos del estudio preliminar

X = Valor de tiempos en las observaciones

40 = Constante para un nivel de fidelidad del 95%

- Se realizan 5 observaciones preliminares, y se obtienen los tiempos con los cuales se hallan las sumatorias y cuadrados requeridos para hacer el cálculo:

$$\Sigma x = (372 + 274 + 216 + 332 + 270) = 1364$$

$$\Sigma x^2 = (73984 + 75076 + 46656 + 110224 + 72900) = 378840$$

- Se reemplazan los valores en la fórmula para obtener el número final de observaciones a realizar para la validación de los tiempos

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{5(378840) - (1364)^2}}{1364} \right)^2 = 5$$

El resultado es de un número de 5 observaciones a realizar para validar el estudio, por lo tanto, se obtiene que el número de observaciones preliminares realizado abarca el número de observaciones hallado mediante la fórmula del método estadístico.

En el anexo I se encuentra el protocolo de la prueba planteada para medir los tiempos de los usuarios seleccionados.

Esquema de proceso y tiempos

Tabla 26. Esquema de procesos y tiempos promedios de montaje y ensamblaje con sistema de unión.

			TIEMPO	PROMEDIO
PIEZA 1	Toma de medidas	Marcar centro y distancias para la perforación sobre el canto y cara del tablero, alineado con la cara y canto de la otra pieza a la que se ensamblará	32,6 seg	120,8 seg
	Perforación del tablero	Ubicar y ajustar la broca en el barreno	13,4 seg	
		Ubicar el tablero alineando los centros para la perforación	18,6 seg	
		Realizar perforación para pieza macho hasta una profundidad de 5mm y una longitud de 71mm	18 seg	
	Ajuste del sistema de unión en el tablero	Ubicar la pieza macho en las perforaciones realizadas	2 seg	
		Atornillar con tornillos de 8 5/8	31,6 seg	
		Revisión	4,6 seg	

PIEZA 2	Toma de medidas	Marcar centro y distancias para la perforación sobre el canto y cara del tablero, alineado con la cara y canto de la otra pieza a la que se ensamblará	32,8 seg	141,9 seg
	Perforación del tablero	Ubicar y ajustar la broca en el barreno	13,6 seg	
		Ubicar el tablero alineando los centros para la perforación	18,4 seg	
		Realizar perforación para pieza hembra hasta una profundidad de 10mm y una longitud de 71mm	38,6 seg	
	Ajuste del sistema de unión en el tablero	Ubicar la pieza hembra en las perforaciones realizadas	3,4 seg	
		Atornillar con tornillos de 8 5/8	29,6 seg	
		Revisión	5,5 seg	
SISTEMA DE UNIÓN	Ensamblaje de las piezas	Introducir la saliente de la pieza macho en la pieza hembra	2 seg	11,2 seg
		Desplazar la pieza macho dentro de la pieza hembra hasta asegurarla al escuchar un "click"	4,4 seg	
		Revisión final	4,8 seg	
TOTAL TIEMPO DE OPERACIONES			272,9 segundos	
			4 minutos : 33 segundos	

Figura 78. Medición de tiempos. Montaje y ensamblaje del sistema de unión



Como se puede ver en el esquema de procesos y tiempos de montaje y ensamblaje de las piezas de contrachapado mediante el sistema de unión, el tiempo promedio es de 4 minutos y 33 segundos, evidenciando una reducción en comparación con el tiempo promedio del montaje y ensamblaje de las piezas utilizando el herraje “minifix” analizado en el estado del arte, donde el tiempo promedio era de 6 minutos y 11 segundos, garantizando así un montaje más eficiente en términos de tiempos y número de operaciones.

Es importante tener en cuenta que en el análisis de tiempos y operaciones no se incluyeron desplazamientos ni aquellas tareas inherentes a la utilización de una maquinaria específica ya que el estudio se realiza en diferentes talleres, con maquinarias diferentes que plantean a su vez, diferentes ajustes para su utilización. En la realización de un estudio enfocado a un solo espacio y maquinarias específicas, la diferencia de tiempo será más notoria entre el sistema de unión y el herraje “minifix”, pues al utilizar una sola herramienta en donde solo varía el ajuste de profundidad, los tiempos disminuirán en mayor proporción a favor del sistema de unión propuesto.

Factor de aceptación del consumidor

Teniendo como punto de comparación el resultado de la fórmula planteada por la empresa TITUS para detectar el factor de aceptación del consumidor con el herraje minifix analizado en el estado del arte tenemos:

$$(Cantidad\ total\ de\ piezas + Acciones) \times N\ \text{de tipos de partes} = FAC$$

$$(T+A) \times N = FAC$$

$$(2 + 4) \times 2 = 12$$

Aplicando esta fórmula a las operaciones del ensamble de las piezas de contrachapado mediante el sistema de unión, tal como se le entregaría al usuario final para el ensamblaje de su producto mobiliario. 2 piezas del sistema de unión, macho y hembra, para un total de 3 acciones, como se aprecia en el esquema de procesos y tiempo.

$$(T+A) \times N = FAC$$

$$(2 + 2) \times 2 = 10$$

De esta forma obtenemos un valor de aceptación del consumidor de 8 para el sistema de unión “Duofit”, el cual es menor que el obtenido en el análisis del herraje “minifix”, por lo que se puede concluir que el sistema de unión planteado

es mejor aceptado por el consumidor final al presentarse de forma sencilla, reduciendo la cantidad de piezas y operaciones para lograr el ensamblaje.

7.4.3 OBSERVACIONES DE MEDICIÓN DE TIEMPOS EN “DUOFIT”

- El análisis realizado, teniendo como base la ingeniería de métodos y tiempos nos permite concluir que el sistema de unión “Duofit” es efectivamente más eficiente que las uniones y herrajes convencionales, al realizar el estudio comparativo con el herraje de caja y excéntrica “minifix”.
- Existe una disminución considerable en términos de tiempos para realizar el montaje del sistema de unión en los tableros y al realizar el ensamble entre los tableros usando el sistema, pasando de 6 minutos y 11 segundos, tiempo promedio obtenido por el herraje “minifix”, a 4 minutos y 33 segundos, tiempo obtenido por el sistema de unión planteado. Además, es apreciable la disminución de tareas y operaciones que debe realizar el usuario fabricante y usuario final, utilizando menos herramientas y maquinaria para montar las piezas del sistema de unión y requiriendo solo dos operaciones manuales, sin herramienta alguna para ensamblar las piezas.
- Al realizar el análisis del factor de aceptación del consumidor (FAC) de la empresa TITUS, se muestra favorable hacia el sistema de unión “Duofit”, al disminuir el valor obtenido por el herraje “minifix”, pasando de 12 a 10.
- El uso de herramientas y maquinaria rústica o artesanal dificulta el maquinado que debe realizarse sobre los cantos y caras de los tableros en el montaje de las piezas del sistema, de forma que, para obtener perforaciones precisas, de las cuales depende el correcto funcionamiento

del sistema de unión, se hace necesario la utilización de maquinaria adecuada o la implementación de un dispositivo que garantice dicha precisión.

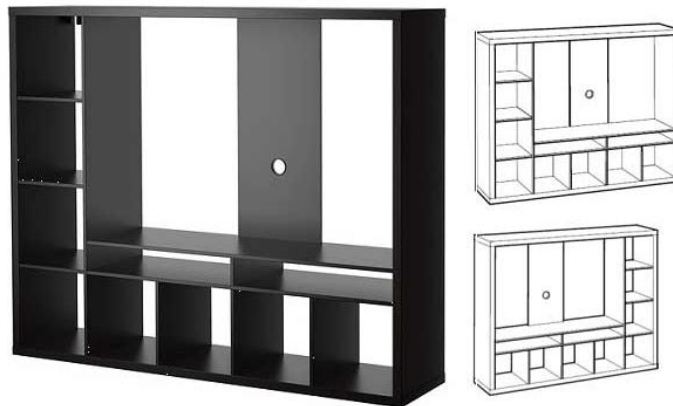
8. APLICACIÓN EN MOBILIARIO MODULAR

8.1 MOBILIARIO ACTUAL

Como parte del planteamiento de intervención del diseño industrial, se propone la aplicación del sistema de unión en un mobiliario modular actual, de tipo RTA, que utilice para su ensamblaje diferentes herrajes, tornillos, o cualquier otro tipo de unión convencional, que permita evidenciar la diferencia entre el protocolo de montaje planteado por el sistema de unión en comparación al utilizado actualmente para el montaje de dicho mobiliario.

El mobiliario “Lapland”, diseñado y comercializado en Europa y América por la marca IKEA, está concebido como librería y mueble para TV:

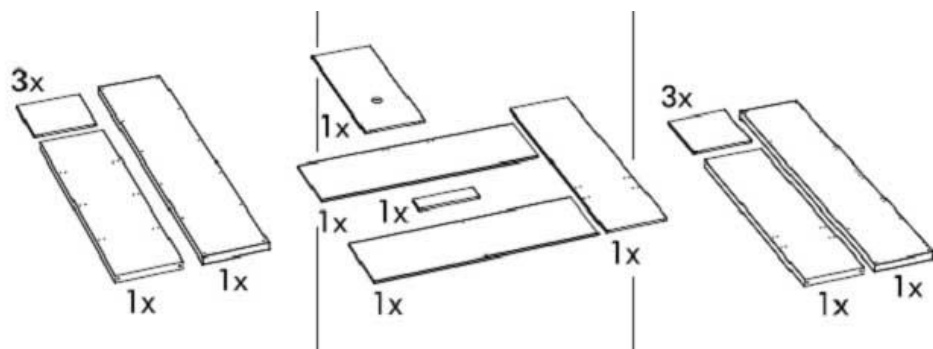
Figura 79. Lanpland TV furniture



Fuente: www.ikea.com/es/catalog

- Las tablas se pueden ubicar a la derecha o izquierda.
- Panel trasero reforzado para sostener una pantalla plana de TV.
- 2 compartimentos abiertos para un reproductor de DVD, etc.
- La abertura de la parte trasera es muy práctica para tener los cables recogidos y organizados.

Figura 80. Piezas de madera Lapland.

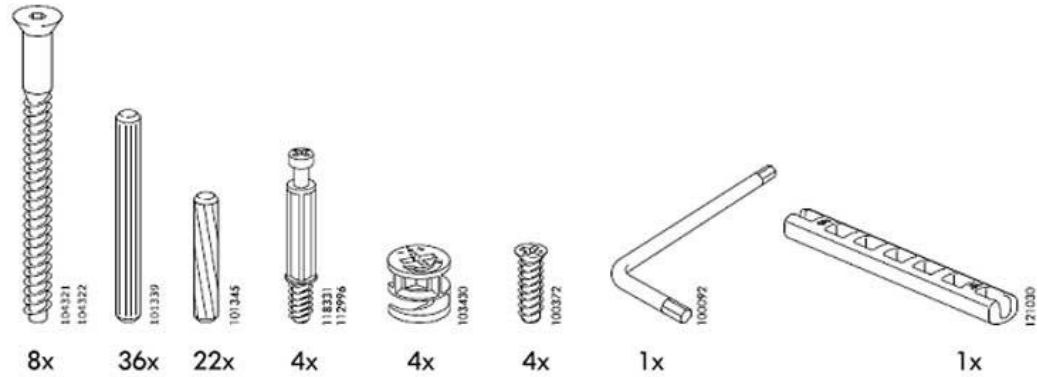


Fuente: www.ikea.com/es/catalog

El análisis a realizar estará enfocado en el factor de aceptación del consumidor (FAC), que permita establecer para el usuario final, quien es el encargado de ensamblar el mobiliario utilizando las piezas y uniones proporcionadas por el fabricante, el nivel de complejidad y facilidad de los diferentes protocolos de montaje mediante el comparativo numérico que establece la fórmula planteada por la empresa TITUS.

Factor de aceptación del consumidor con uniones IKEA

Figura 81. Piezas de unión IKEA.



Fuente: www.ikea.com/es/catalog.

La cantidad de piezas diferentes a utilizarse para el ensamblaje del mobiliario planteado por IKEA puede resultar en un alto número de operaciones diferentes, lo cual dificultaría la labor para el usuario final.

Tabla 27. Cantidad de piezas con unión IKEA

#	PIEZAS	CANTIDAD
1	Tablas	15
2	Perno	8
3	Tarugo	36
4	Tarugo estriado	22
5	minifix	4
6	tornillo	4
7	llave/atornillador	2
	Total	91

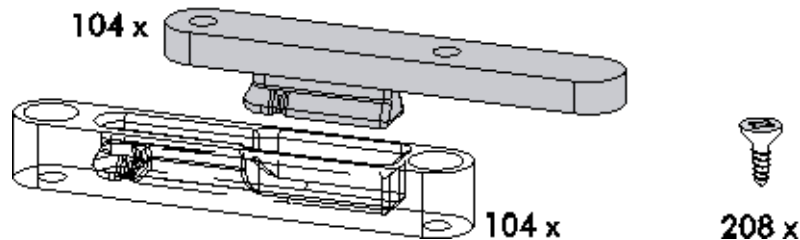
$$FAC = (T+A) \times N$$

(Cantidad total de piezas + Acciones) x Número de tipos de partes = **FAC**

$$(91 + 84) \times 7 = 1225$$

Factor de aceptación del consumidor con sistema de unión DUOFIT

Figura 82. Piezas de sistema de unión.



A pesar de que el número total de piezas usando el sistema de unión “Duofit” es considerablemente mayor, la cantidad de piezas diferentes disminuye considerablemente, no se requieren herramientas y el producto se adquiriría con el sistema ya instalado en los cantos y caras de los tableros, disminuyendo también el número de operaciones a realizar por parte del usuario final.

Tabla 28. Cantidad de piezas con sistema de unión.

#	PIEZAS	CANTIDAD
1	Tablas	15
2	Sistema de unión	104
	Total	119

$$FAC = (T+A) \times N$$

(Cantidad total de piezas + Acciones) x Número de tipos de partes = **FAC**

$$(119 + 24) \times 2 = \mathbf{286}$$

Como puede evidenciarse al aplicar la fórmula correspondiente, el ensamblaje del mobiliario “Lapland” usando el sistema de unión DUOFIT tiene una mejor aceptación del usuario final, dando como resultado un valor de 286, menor que el resultado de 1225 obtenido al analizar el ensamblaje usando las uniones y herrajes originales de IKEA.

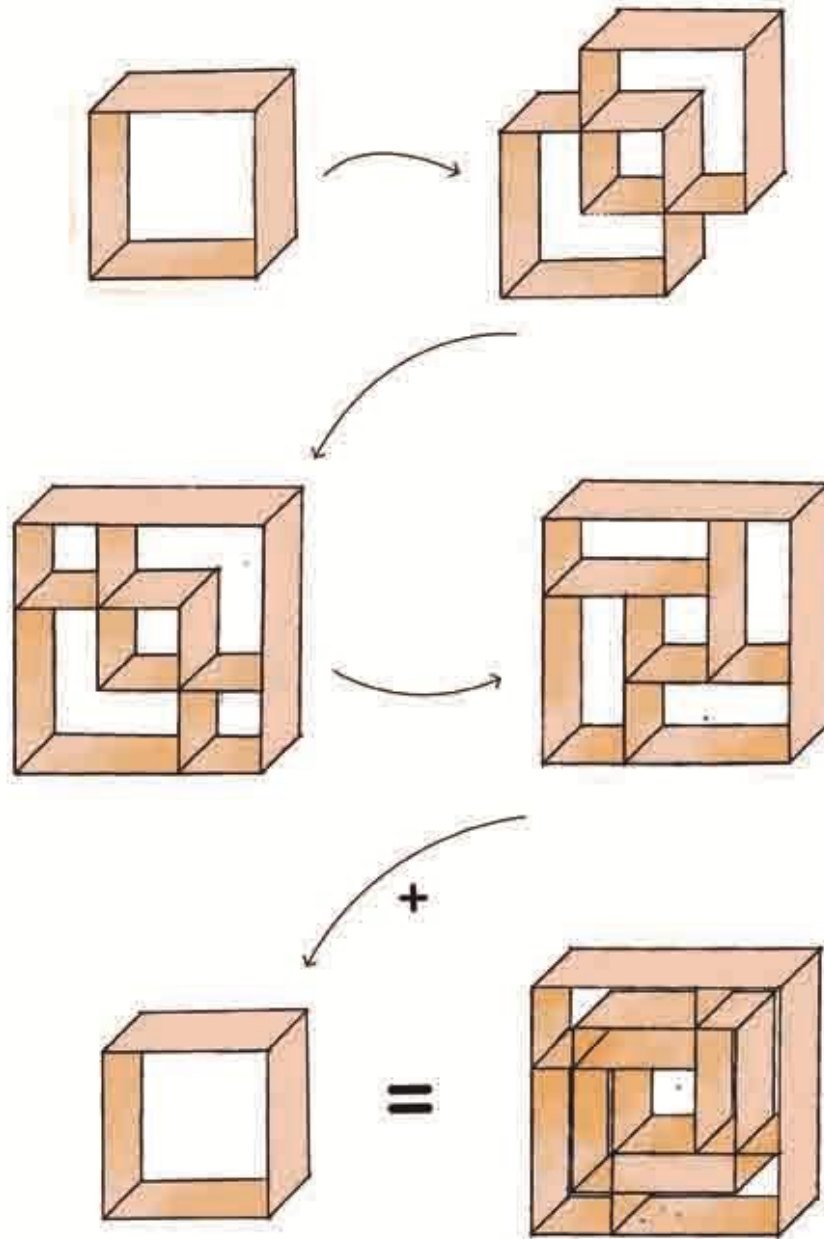
8.2 PROPUESTA DE MOBILIARIO

Se realiza la propuesta de un nuevo mobiliario modular, que permita ser ensamblado completamente por el sistema de unión diseñado, como parte de la intervención propuesta en la industria del mobiliario nacional, de forma que se evidencia las ventajas que tiene el desarrollar productos de esta manera.

Partiendo de los primeros ejemplos de mobiliario modular que salieron al mercado, en donde los ángulos rectos y formas geométricas dominaban la estética y daban un sentido más funcional y limpio, se realiza el diseño de una pieza de mobiliario del tipo biblioteca de almacenamiento, en donde se puedan combinar los aspectos característicos del mobiliario modular: las formas rectas y geométricas y la alta funcionalidad de sus piezas.

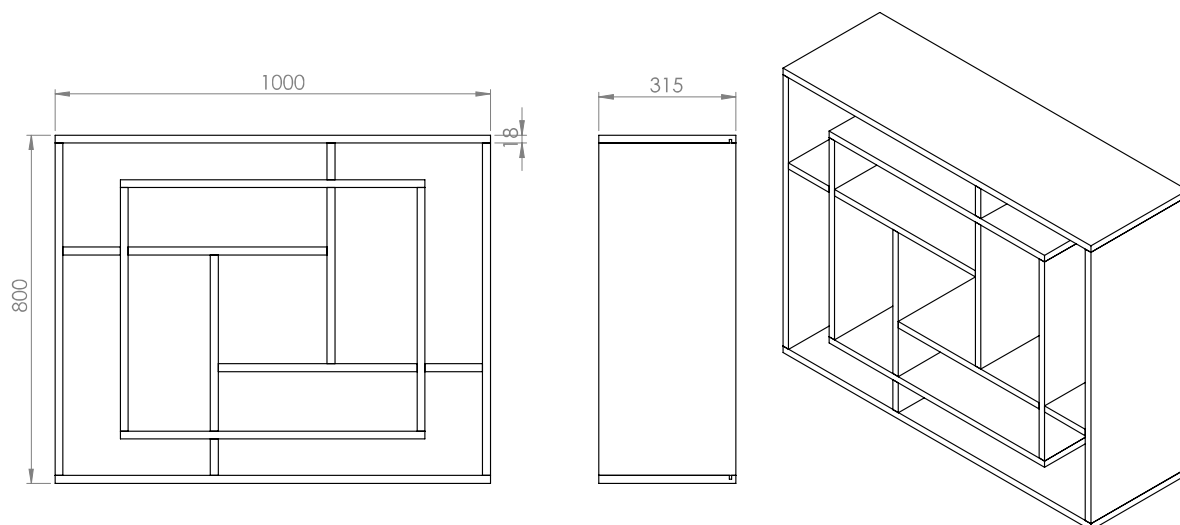
De igual forma, se concibe el mobiliario para aprovechar las características del sistema de unión diseñado, permitiendo un ensamble más sencillo y la opción de desensamblar sus componentes, tanto para facilitar su transporte y almacenamiento, como para cambiar y modificar el mobiliario según las necesidades de su usuario final.

Figura 83. Desarrollo concepto de propuesta de mobiliario.

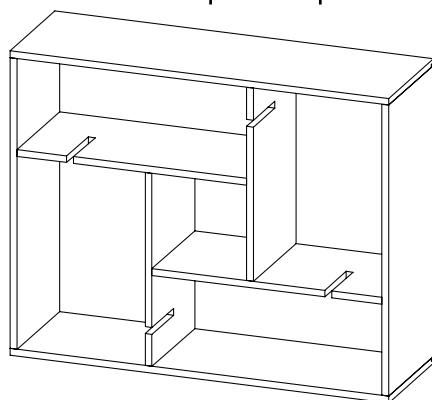


La propuesta de mobiliario modular consta de dos módulos encajados entre sí, cada uno ensamblado por medio del sistema de unión “DUOFIT”, de forma que puede ser usado de forma horizontal, vertical y separando un módulo del otro. Los planos técnicos del mobiliario se encuentran en el Anexo J.

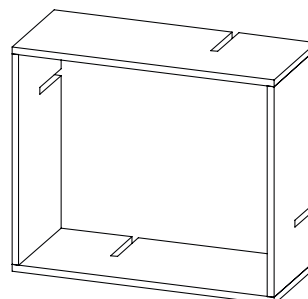
Figura 84. Vistas generales del mobiliario.



Módulo principal



Módulo secundario



Es posible optimizar el uso del mobiliario modular al usar los módulos de diferentes formas que se adapten a las necesidades del usuario. De esta forma, la propuesta de mueble biblioteca puede ser usada tanto de forma horizontal como vertical, de esta forma las divisiones pueden aprovecharse, dependiendo del uso final que se le vaya a dar a la pieza de mobiliario.

Figura 85. Vista general mobiliario.



Figura 86. Mobiliario en uso horizontal.



Figura 87. Mobiliario en uso vertical.



El uso de soportes adicionales para el mobiliario se deja planteado como piezas adicionales, las cuales no estarían concebidas dentro del planteamiento conceptual del mobiliario modular, las cuales pueden variar según el uso final que el usuario disponga para el producto. El acople o ensamble entre el mueble biblioteca “Duofit” y el soporte en su parte inferior puede realizarse mediante el mismo sistema de unión ubicando las piezas macho y hembra en las caras de los

tableros, maximizando el uso y versatilidad del sistema en la fabricación de productos de mobiliario.

Figura 88. Soporte auxiliar



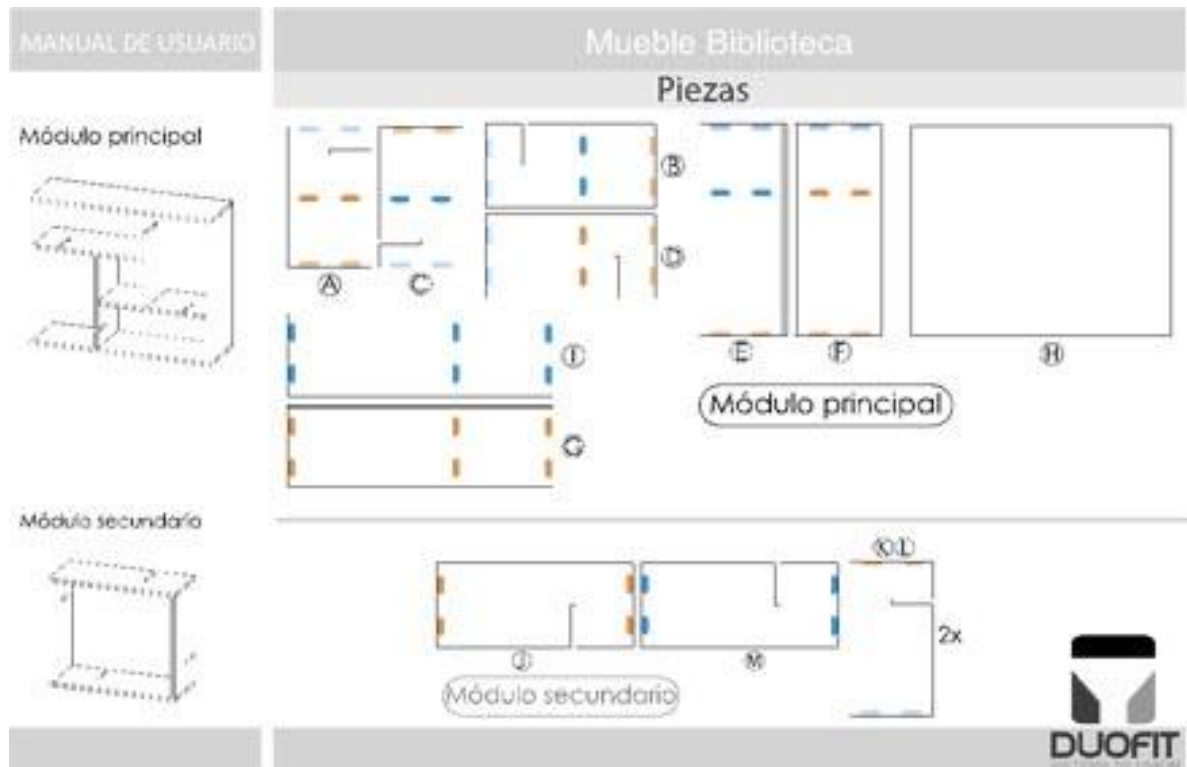
8.2.3 PROTOCOLO DE MONTAJE DE MOBILIARIO

Para el ensamblaje de las piezas de mobiliario se plantea el protocolo en forma de manual de uso (Anexo I), en el cuál se resumen las piezas y pasos a seguir de forma que el usuario final pueda realizar la labor sin necesidad de asesoría del fabricante.

El modelo de mobiliario propuesto plantea su comercialización de forma que todas las piezas de mobiliario se encuentran separadas, y el sistema de unión ya se encuentra instalado sobre las caras y cantos de los tableros, de forma que el usuario final solo debe ensamblar las piezas sin la necesidad de herramientas. El manual de uso del sistema de unión puede anexarse para que exista mayor

claridad sobre cómo está haciéndose el ensamble de las piezas que conforman el mobiliario.

Figura 89. Despiece en manual de usuario del mobiliario "Duofit".



Con el fin de facilitar la labor del usuario final al ensamblar las piezas de mobiliario, estas están clasificadas y ordenadas alfabéticamente en cada paso a seguir del modelo de ensamblaje propuesto. De igual forma, el sistema de unión cuenta con un código de color en el que la mitad de las piezas son color azul y la otra mitad naranja, colores complementarios, los cuales se usaran para indicar con mayor claridad las piezas a ensamblar en cada cara y canto de los tableros.

Figura 90. Código de color en piezas del sistema de unión "Duofit".



La propuesta de protocolo de ensamblaje de las partes que conforman el mueble biblioteca se encuentra como manual de uso de mobiliario en el Anexo K.

8.2.4 PROTOTIPO DE PROPUESTA DE MOBILIARIO

Como parte del desarrollo del proyecto y de la aplicación del sistema de unión en un producto de mobiliario, se construye el prototipo final del mueble biblioteca propuesto, usando para su ensamblaje los prototipos impresos en PLA de las piezas macho y hembra que conforman el sistema.

Las piezas del sistema de unión son instaladas en los cantos y caras de los tableros de MDP usando un barreno de carpintería y la broca de 11 mm diseñada a la medida para dicho fin. De igual forma, los tornillos de 8 5/8 de pulgada son usados para asegurar las piezas en las perforaciones realizadas en los tableros.

Al realizar dichas perforaciones se resalta la importancia de la exactitud en el largo y profundidad total de las perforaciones, así como el distanciamiento entre estas, de las cuales depende el correcto funcionamiento del sistema de unión. Con este fin, se propone la utilización de una plantilla predeterminada en donde se

encuentren las medidas y proporciones correctas para evitar posibles errores por parte del usuario fabricante.

Figura 91. Perforaciones realizadas en los tableros.



Figura 92. Prototipo del sistema de unión "DUOFIT" montado en los tableros



Para el ensamblaje de los tableros, se usa como guía el manual de uso propuesto, en donde se han clasificado los tableros y numerado las operaciones a realizar por parte del usuario final. De esta forma se puede comprobar la efectividad y facilidad del ensamblaje realizado con el sistema de unión "DUOFIT".

En el prototipo de Mueble Biblioteca, los tableros de MDP se unen por medio de los prototipos del sistema de unión "DUOFIT" impresos en 3D en PLA. Con el propósito de facilitar la tarea de ensamblaje de las piezas, se requiere la asistencia de dos usuarios finales para que el peso del material elegido y las dimensiones de los tableros no sean un impedimento para el correcto ensamblaje de las partes.

Figura 93. Ensamblaje de piezas del prototipo de mobiliario.



El maquinado y ensamblaje de un prototipo final de mobiliario usando el sistema de unión “DUOFIT” permite evidenciar las ventajas del sistema. De igual forma, al observar el desarrollo de las tareas del usuario fabricante y el usuario final, es posible determinar los aspectos que podrían verse beneficiados con etapas posteriores del proceso de diseño industrial, en donde se facilite la tarea de maquinado de las caras y cantos de los tableros, proveyendo mayor exactitud en las medidas y proporciones para realizar las perforaciones, de las cuales dependerá el correcto funcionamiento del sistema de unión. En la tarea de ensamblaje de las piezas del mobiliario, es necesario considerar las dimensiones y el peso total de las partes para proponer el correcto protocolo de ensamblaje de un producto final de mobiliario.

Figura 94. Prototipo de mueble biblioteca construido.



9. CONCLUSIONES

- La realización de una investigación completa del estado del arte y el mercado actual de herrajes y uniones para madera, permitió concluir que no existen suficientes alternativas nacionales para este segmento en particular, frente a un mercado en crecimiento. De igual forma, analizar el protocolo de montaje y ensamblaje propuesto por estas uniones facilitó su evaluación, resaltando las ventajas y desventajas que estos productos plantean en términos de eficiencia, facilidad de uso y aceptación por parte del usuario. La evidente falta de alternativas de solución, se presenta como un campo de acción ideal para la intervención del diseño industrial en la industria del mueble nacional, en la cual los métodos tradicionales de unión de piezas de madera y los herrajes importados limitan y condicionan aspectos formales y funcionales de los productos de mobiliario.
- Se diseñó el prototipo final del sistema de unión, objetivo planteado al inicio del proyecto, mediante el planteamiento y desarrollo de una metodología propia, partiendo de los principios establecidos por la metodología DFMA (Diseño para la Manufactura y el Ensamble), Diseño y Desarrollo de Productos, y la Ingeniería de Métodos y Tiempos, lo cual permitió realizar un enfoque en las etapas del proceso que presentan mayor relevancia para el desarrollo del proyecto, estableciendo así un marco teórico para las comprobaciones requeridas y la fabricación del producto final, pensando en un aprovechamiento de las tecnologías locales, mediante un proceso de moldeo por inyección de material polimérico.
- Para el sistema de unión oculto propuesto se diseñó un modelo de ensamblaje de las piezas de un mobiliario sin la utilización de herramientas

y la posibilidad de desensamblar sus componentes con el fin de facilitar su transporte y optimizar la multifuncionalidad del mobiliario modular, con un protocolo de uso más eficiente que los propuestos por herrajes importados, disminuyendo los tiempos de montaje en un 13% para el usuario fabricante, al montar las piezas en los tableros de madera y un 81% para el proceso de ensamblaje de estas piezas, realizado por el usuario final, en comparación a los tiempos obtenidos por el herraje “minifix” analizado.

- El análisis y comprobaciones realizadas en el herraje “minifix”, permitió estandarizar valores de comportamiento mecánico viables para la implementación del sistema de unión en mobiliario modular, al comprobar una resistencia de una carga aplicada de 30 N en el ensamble en “L” realizado en piezas de contrachapado con los prototipos impresos en PLA. De igual forma, se planteó un marco de comparación para la evaluación del sistema de unión diseñado y su protocolo de montaje y ensamblaje, en el que se evidencia una mayor eficiencia, disminuyendo en un 28 % el tiempo total requerido para su montaje y ensamblaje, el número de operaciones se disminuye en un 50%, el número de piezas no aumenta y el factor de aceptación del consumidor (FAC) del sistema disminuye en un 17% mientras que en el mueble ensamblado disminuye hasta en un 77% , evidenciando un mayor interés hacia los productos de mobiliario fabricados con el sistema de unión “DUOFIT”.
- El desarrollo del proyecto propicia nuevas alternativas de investigación y comprobaciones que permitan ampliar el alcance del sistema de unión y el modelo de montaje aquí planteado de la siguiente manera: El maquinado del tablero en donde se ubicarán las piezas del sistema de unión, realizado mediante un dispositivo auxiliar que permita la utilización de maquinarias y herramientas manuales convencionales para este propósito; la aplicación

del sistema de unión en otro tipo de materiales de base celulósica, realizando las comprobaciones correspondientes, siguiendo el modelo planteado en este trabajo; el uso de otro material para la fabricación de las piezas que conforman el sistema de unión, con el fin de optimizar recursos e incluir el estudio de impacto ambiental en el proceso de manufactura; las diferentes aplicaciones que el sistema de unión podría ofrecer como uniones angulares, articuladas, de estructura, etc. Todo lo anterior, con el fin de generar un nuevo campo de acción para la aplicación del diseño industrial, en busca de brindar nuevas alternativas a la industria del mueble y la madera nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) COLOMBIA, PROEXPORT. Promoción de turismo, inversión y exportaciones. Sector forestal en Colombia. Datos 2011. 2010.
- (2) INSTITUTO ESPAÑOL DE COMERCIO EXTERIOR. El sector Muebles y Decoración en Colombia. Notas sectoriales. 2005.
- (3) SCHNEIDERMAN, Deborah. Furniture as Prefabricator. Design Principles and Practices: An International Journal. 2011. p. 248-257.
- (4) VLOSKY, Richard; POKU, Kofi y WILLE, Stefan. A market analysis of the Ready to Assemble furniture Industry. Working Paper #49. Baton Rouge, Louisiana. Louisiana Forest Products Laboratory. Louisiana State University. 2001.
- (5) NEUBERT, Richard. Herrajes de unión. Desarrollo y ventajas industriales. Revista M&M. (En línea). Disponible en: (<http://www.revista-mm.com/ediciones/rev29/herrajes.htm>). (Recuperado el 30 de Agosto de 2014).
- (6) IES AZCONA, Almería. Tecnología en madera. Juntas y empalmes. (En línea). Disponible en: (http://www.maderapaloma.com/html/apuntes_tecnologicos.html). (Recuperado el 30 de Agosto de 2014).
- (7) TITUS Herrajes. Connectors catalogue 2012. (En línea). Disponible en: (<http://www.titusplus.com/en/products/furniture-connectors/>). (Recuperado el 30 de Agosto de 2014).
- (8) SALAZAR, Antonio. Herramientas para el Ingeniero Industrial. Ingeniería de métodos. (En línea). Disponible en: (<http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/estudio-de-tiempos/>). (Recuperado el 8 de Agosto de 2014).

- (9) OBSERVATORIO INDUSTRIAL DE LA MADERA. FEDIT, Centros Tecnológicos de España. Análisis de materiales utilizados en la fabricación de mobiliario y tendencias. Madrid: Aidima. 2011.
- (10) ANFTA, Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros. Tableros de fibra. (En línea). Disponible en: (<http://www.anfta.es/?q=node/22>). (Recuperado el 1 de Septiembre de 2014).
- (11) NEOTURE, Innovación ecológica. Madera plástica. Generalidades de la madera plástica. (En línea). Disponible en: (<http://maderaplastica.es/madera-plastica/.html>). (Recuperado el 11 de Marzo de 2015).
- (12) Fundación PRODINTEC. Centro Tecnológico para el Diseño y la Producción Industrial de Asturias. Diseño para la fabricación y ensamblaje. Gijón Asturias.: Avilés, Rigel. 2012.
- (13) ULRICH, Karl. T., EPPINGER, Steven. D., & ALVAREZ, R. V. M. Diseño y desarrollo de productos: enfoque multidisciplinario. México D.F.: McGraw-Hill. 2004.
- (14) NIEBEL, B. W., FREIVALDS A. Ingeniería Industrial, Métodos estándares y diseño del trabajo. México D.F.: Ed. Alfaomega. Ed. 11a. 2004.
- (15) REVISTA M&M: Revista especializada de la Industria Maderera en Colombia. Feria M&M. (En línea). Disponible en: (http://www.feriamm.com/es/index.php?option=com_content&view=article&id=21&Itemid=41). (Recuperado el 4 de Marzo de 2015).
- (16) LAMELLO. Uniones de madera. Clamex P-14. (En línea). Disponible en: (<http://www.lamello.com/es/home/uniones-de-madera.htmlclamex>). (Recuperado el 1 de Septiembre de 2014).

- (17) LAMELLO. Uniones de madera. Sistema Invis. (En línea). Disponible en: (<http://www.lamello.com/es/home/uniones-de-madera/sistema-invis-mx2.html>). (Recuperado el 1 de Septiembre de 2014).
- (18) LAMELLO. Uniones de madera. Tenso P-14. (En línea). Disponible en: (<http://www.lamello.com/es/home/uniones-de-madera/p-system/tenso-p-14.html>). (Recuperado el 1 de Septiembre de 2014).
- (19) SHERPA Connectors. Sherpa connections systems. Products. (En línea). Disponible en: (<http://es.sherpa-connector.com/products>). (Recuperado el 1 de Septiembre de 2014).
- (20) ECKELMAN, Carl A. *Strength design of furniture*. West Lafayette, IN: Tim Tech , 1978.
- (21) INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Madera Contrachapada. NTC 698. Bogotá D.C.: El Instituto. 2003.
- (22) NANDANWAR, Anand; VENUGOPAL NAIDU, Motupalle y PANDEY, Chhabi Nath. Development of test methods for wooden furniture joints. *Wood Material Science & Engineering*. (2013). P. 188-197.
- (23) RODRÍGUEZ, Gerardo. Manual de diseño industrial: curso básico UAM-A GG. México D.F.: Ediciones G. Gili. 2011. p. 54 -74.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for End-Joints in Structural Wood Products. D 7469-12. West Conshohocken, PA: ASTM, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood. D 1761-12. West Conshohocken, PA: ASTM, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Determining the Mechanical Properties of Externally and Internally Threaded Fasteners, Washers, Direct Tension Indicators, and Rivets. F 606-07. West Conshohocken, PA: ASTM, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. D 1037-06a. West Conshohocken, PA: ASTM, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Plastic Lumber and Shapes. D 6117-13. West Conshohocken, PA: ASTM, 2013.

ARRIAGA, f; GONZALEZ, M.A.; MEDINA, G. Guía de la madera para la construcción, el diseño y la decoración. Madrid: Ed. AITIM. 1994.

BARBOUTIS, Ioannis y VASSILIOU, Vassilios. Holding strength of insert fittings compared to bending strength of their furniture corner joints. En: International conference: "Wood science and and engineering in the third millennium" (5: 7-9, Noviembre, 2009: Brasov, Romania). Memorias. Universitatea Transilvania din Brasov, 2009.

BARBOUTIS, Ioannis y VASSILIOU, Vassilios. Tension strength of furniture middle joints constructed with biscuits. Scientific paper, Thessaloniki: Aristotle University of Thessaloniki, School of Forestry and Natural Environment, Department of Harvesting and Forest Products Technology. 2008.

BOOTHROYD, G. Product design for manufacture and assembly. New York: Marcel Deeker, Inc. 1994. 339 p.

BOSTICH, STANLEY. Fasteners: A complete guide. East Greenwich, Rhode Island. 2012.

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL; SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE (SENA). Estudio sobre la Industria del mueble en Colombia. Medellín. SENA, 1978.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Maderas. Método de determinación de la compresión perpendicular al grano. COPANT 466. La Paz, Bolivia: COPANT, 1972.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Maderas. Método de determinación de la compresión axial o paralela al grano. COPANT 464. La Paz, Bolivia: COPANT, 1972.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Maderas. Método de ensayo de flexión estática. COPANT 555. La Paz, Bolivia: COPANT, 1973.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Maderas. Método de ensayo de tracción paralela al grano. COPANT 742. La Paz, Bolivia: COPANT, 1975.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Maderas. Método de ensayo de tracción perpendicular al grano. COPANT 743. La Paz, Bolivia: COPANT, 1975.

CONFEDERACIÓN ESPAÑOLA DE EMPRESAS DE LA MADERA (CONFEMADERA HABITAT). Uniones en estructuras de madera. Madrid: Confemadera hábitat. 2013.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Design of timber structures. EN 1995-1-1. Bruselas: CEN, 2004.

EUROPEAN ORGANIZATION FOR TECHNICAL APPROVALS. Three-dimensional nailing plates. ETAG 015. Bruselas: EOTA, 2012.

FINNISH FOREST INDUSTRIES FEDERATION; UPM, The Biofore Company. Handbook of Finnish plywood. Lahti, Finland: Kirjapaino Markprint Oy. 2007.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Tableros de fibra. Determinación de la resistencia a la flexión. NTC 2912. Bogotá D.C.: El Instituto. 1991.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones interiores no estructurales. NTC 2261. Bogotá D.C.: El Instituto. 2003.

KORENY, Adam y SIMEK, Milan. Experimental testing of cam fittings. Scientific paper. Brno: Mendel University in Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology, Department of Furniture Design and Habitation. 2011.

RUIZ, Paola Andrea. Ensamble Japonés: técnica milenaria, discreta y segura. Revista M&M. (En línea). Disponible en: (http://www.revista-mm.com/ediciones/rev66/Ensamble_Japones.htm). (Recuperado el 15 de Mayo de 2015).

SAAR, K.; KERS, J.; LUGA, Ü. y RESIKA, A. mechanical properties of connecting fittings for plywood furniture. En: International DAAAM Baltic Conference (9: 24-26, Abril, 2014: Tallinn, Estonia). Memorias. Tallinn University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, 2014.