

**SISTEMA DE CUBIERTA ECOLOGICA PARA VIVIENDA RURAL
DISEÑO Y CONSTRUCCION**

LUIS FERNANDO ARENAS HERRERA

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

2014

**SISTEMA DE CUBIERTA ECOLOGICA PARA VIVIENDA RURAL
DISEÑO Y CONSTRUCCION**

LUIS FERNANDO ARENAS HERRERA

Proyecto de grado como requisito para optar al título de Diseñador Industrial

DIRECTOR

ARQ. JULIO CESAR PINILLOS FONSECA

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

2014

DEDICATORIA

Dedicado a Dios padre todopoderoso, al señor Jesucristo y al Espíritu Santo, por ser incondicionales, por darme apoyo y sabiduría a todo momento, y recordarme su infinita misericordia.

A la Virgen María, madre de Jesús, por su intercesión y su presencia a cada instante.

A mi madre Emilce, por su esfuerzo, sus consejos, su fuerza y su valentía, y por ser mi heroína. A mi padre Carlos Julio, por su paciencia y buenos consejos.

A Carlos Julio "Tonycat" Arenas H. (QEPD), por su confianza, por creer en mí más que nadie, y por enseñarme que con esfuerzo y sacrificio se puede lograr todas las metas, vencer cualquier obstáculo y lograr todos nuestros sueños.

A mi esposa Leidy Diana, por su sacrificio, compañía, confianza y amor, y enseñarme que con perseverancia se construye el futuro.

A mi hija María Fernanda, por ser el regalo más hermoso que Dios me ha dado, y por ser mi motor, por impulsar a vencer los obstáculos y querer llegar más allá cada día.

AGRADECIMIENTOS

A los señores Jorge Cagua y Ruth Lozada de Cagua, por apoyarme en mis estudios, en mi hogar y mi trabajo.

A la señora Yolanda Ladino, por su confianza y la oportunidad laboral que durante años me ha brindado.

Al señor Saúl Alexander Infante A., por los sabios consejos industriales, por la amistad que me ha brindado y la oportunidad de desempeñarme profesionalmente en la empresa SIMAR CNC., a Oscar Páez y al señor Cristian Jaimes por su confianza.

A la Organización Azuero SAS, por las oportunidades laborales que durante años me han brindado.

A los docentes de la Universidad Industrial de Santander, quienes han aportado durante años su experiencia profesional, han compartido sus vivencias y han hecho de mi un mejor ser humano, un mejor hijo y un mejor profesional.

Al profesor Julio César Pinillos Fonseca, por sus consejos, por ser el faro guía en este proyecto y por su excelente calidad personal.

Al profesor José Carlos Gutiérrez, quien con su experiencia y entrega total a la Química, ha sido un pilar fundamental en el desarrollo y resultados de este proyecto.

A todos mis amigos, compañeros, y todas las personas que han creído en mi talento, en mi perseverancia y mi arduo trabajo, gracias totales.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	20
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE DISEÑO	21
2. JUSTIFICACION	23
3. OBJETIVOS	24
3.1 OBJETIVO GENERAL	24
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	24
4. ALCANCES DEL PROYECTO	25
5. METODOLOGIA DEL PROYECTO	26
5.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO	27
5.2 DETECCION DE NECESIDADES	28
5.3 DEFINICION DEL PROBLEMA	28
5.4 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	29
5.5 PROPUESTAS DE DISEÑO	29
5.6 ALTERNATIVAS DE DISEÑO	29
5.7 EVALUACION DE ALTERNATIVAS	30
5.8 DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	30
5.9 ELABORACION DEL MODELO FUNCIONAL	30
5.10 PRESENTACION Y SUSTENTACION DEL PROYECTO	31
6. MARCO TEORICO	32

6.1 CUBIERTAS	32
6.2 FUNCIONES EXIGIBLES A UNA CUBIERTA	36
6.3 PARTES PRINCIPALES DE UNA CUBIERTA	42
6.4 ELEMENTOS DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DE UNA CUBIERTA	43
6.5 CLASIFICACIÓN DE LAS CUBIERTAS	45
6.6 CUBIERTAS SEGÚN SU PENDIENTE	55
6.7 VIVIENDA DE INTERES SOCIAL RURAL EN COLOMBIA.....	57
6.7.1 Reglamentación colombiana para la vivienda de interés social rural.....	58
6.8 GENERALIDADES DEL PRODUCTO	62
6.9 LA CASCARILLA DE ARROZ COMO SUSTITUTO DE LA MADERA	65
7. ESTADO DEL ARTE.....	68
8. METODOLOGIA EXPERIMENTAL DEL PROYECTO.....	71
8.1 RECOLECCION DE MATERIALES	72
8.2 OBTENCION DEL MATERIAL BASE PARA LAS CUBIERTAS	73
8.3 PREPARACION DE PROBETAS	75
8.3.1 Probetas de tracción.....	77
8.3.2 Probetas de Flexión.....	77
8.3.3 Probetas de Compresión.....	78
8.4 CARACTERIZACION MECANICA.....	79
8.4.1 Ensayos de tracción.....	79
8.4.2 Ensayos de flexión.....	81
8.4.3 Ensayos de compresión.....	84
8.5 MATERIALES	85
8.5.1 Resina poliéster	85
8.5.2 Cascarilla de arroz	88
8.5.3 Fibras naturales	89
9. ETAPA DE DISEÑO	93

9.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.....	94
9.1.1 Requerimientos del sistema de cubiertas	95
9.1.2 Requerimientos del elemento de fijación del sistema de cubiertas a la estructura de soporte de cubiertas.....	97
10. ALTERNATIVAS DE DISEÑO	99
10.1 DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS	99
10.1.1 Alternativas de cubiertas.....	99
10.1.2 Alternativas de fijación del sistema de cubierta a estructura de soporte...	102
10.2 EVALUACION DE ALTERNATIVAS	109
10.2.1 Evaluación del sistema de cubiertas.....	111
10.2.2 Evaluación del elemento de fijación del sistema de cubiertas	113
11. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CUBIERTA ECOLOGICA.....	115
11.1 DESCRIPCION DE LOS PRODUCTOS DESARROLLADOS	116
11.1.1 Descripción de la cubierta.....	116
11.1.2 Descripción del caballete	117
11.1.3 Descripción de la limatesa	118
11.1.4 Descripción de la limahoya	119
11.1.5 Descripción del lucernario.....	119
11.1.6 Descripción de la junta a muro.....	120
11.1.7 Descripción del elemento de fijación del sistema.....	121
11.2 DESARROLLO FUNCIONAL DEL SISTEMA DE CUBIERTA	121
11.3 ANALISIS DE USO DEL SISTEMA DE CUBIERTA	122
11.3.1 Uso de la cubierta	122
11.3.2 Uso del caballete	125
11.3.3 Uso de la limatesa	126
11.3.4 Uso de la limahoya	127
11.3.5 Uso del lucernario	129
11.3.6 Uso de la junta a muro.....	129

11.3.7	Uso del elemento de fijación del sistema	131
11.4	DESARROLLO FORMAL ESTETICO DEL SISTEMA DE CUBIERTA	133
11.4.1	Desarrollo formal de la cubierta	134
11.4.2	Desarrollo formal del caballete.....	136
11.4.3	Desarrollo formal de la limatesa.....	137
11.4.4	Desarrollo formal del lucernario	138
11.4.5	Desarrollo formal de la junta a muro	138
11.4.6	Desarrollo formal del elemento de fijación de la cubierta.....	138
11.5	ANALISIS ERGONOMICO DEL SISTEMA DE CUBIERTAS.....	139
11.5.1	Análisis ergonómico de los elementos del sistema de cubierta	140
11.5.2	Análisis ergonómico del elemento de fijación de la cubierta	143
11.5.3	Análisis del color de los elementos del sistema diseñado.....	143
12.	PRUEBAS REALIZADAS A LA CUBIERTA.....	145
12.1	PRUEBA DE FLAMABILIDAD	145
12.2	PRUEBA DE RESISTENCIA A LA INTEMPERIE	146
13.	DISEÑO FINAL	149
13.1	MONTAJE DEL SISTEMA DE CUBIERTA PASO A PASO	150
13.2	PROCESOS DE PRODUCCION	152
13.3	TRANSPORTE	158
13.4	MARCADO Y ROTULADO	159
14.	CONCLUSIONES	161
	BIBLIOGRAFIA.....	164
	ANEXOS	167

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Cubiertas en la historia	33
Figura 2. Cubiertas en la historia	34
Figura 3. Partes de una cubierta	42
Figura 4. Ejemplo de cubierta reticular mono direccional	45
Figura 5. Ejemplo de cubierta curva	46
Figura 6. Detalle de cubierta tipo sándwich con manta de lana de vidrio	47
Figura 7. Parque biológico de Madrid	48
Figura 8. Tipos de cubiertas sencillas	49
Figura 9. Cubierta de teja de barro	50
Figura 10. Cubierta de Pizarra	51
Figura 11. Cubierta de fibrocemento	52
Figura 12. Sistema en policarbonato Topgal para cubiertas	53
Figura 13. Ejemplo de chapas metálicas lisas	54
Figura 14. Diversos tipos de cubiertas inclinadas	56
Figura 15. Probeta hecha con cascarilla de arroz y resina poliéster	65
Figura 16. Alternativa cubierta ecológica a base de bambú corrugado	68
Figura 17. Cubierta ecológica Techoline dispuesta sobre las correas de la estructura de cubierta	69
Figura 18. Panel Polibambú, propuesta por Arkosistemas	70
Figura 19. Metodología utilizada en el proceso de investigación	71
Figura 20. Cascarilla de arroz	72
Figura 21. Molino de aspas	72
Figura 22. Obtención del material base	73
Figura 23. Tamices y clasificador de muestras	74
Figura 24. Moldes para vaciado del material	75
Figura 25. Mezclado del tamo y la resina poliéster	75

Figura 26. Moldes para vaciado del material	75
Figura 27. Máquina de ensayos no destructivos GIMAT – UIS	76
Figura 28. Medidas de la probeta para ensayo de tracción	77
Figura 29. Probetas de tracción de tamo y resina poliéster	77
Figura 30. Medidas para probeta de flexión	78
Figura 31. Material para la obtención de probetas de flexión y tracción y probetas de flexión	78
Figura 32. Medidas probeta de ensayo a compresión	78
Figura 33. Probetas para ensayos de compresión	79
Figura 34. Fibras de Fique	89
Figura 35. El estropajo	91
Figura 36. Alternativa formal módulo triangular	100
Figura 37. Alternativa formal módulo triangular	100
Figura 38. Alternativa no. 2 planos triangulares	101
Figura 39. Alternativa no. 2 planos triangulares	101
Figura 40. Alternativa no. 3 planos trapezoidales y oblicuos	102
Figura 41. Alternativa no. 3 planos trapezoidales y oblicuos	102
Figura 42. Fijación de cubierta a estructura con tornillo autoperforante	103
Figura 43. Tipos de ganchos templetes metálicos según norma NTC 275	104
Figura 44. Fijación de cubiertas macho hembra por encastre a presión	104
Figura 45. Fijación por ajuste de la teja al elemento de fijación	105
Figura 46. Encastre a presión, adaptado a las correas mediante tornillería	106
Figura 47. Encastre a presión, adaptado a las correas mediante tornillería	106
Figura 48. Fijación por encastre a presión. Elemento hembra acanalado	107
Figura 49. Encastre a presión, adaptado mediante tornillería	108
Figura 50. Encastre a presión, adaptado mediante tornillería	108
Figura 51. Boceto del concepto de la cubierta Teknorooft	116
Figura 52. Caballete articulado	117
Figura 53. Limatesa	118
Figura 54. Limahoya	119

Figura 55. Lucernario	120
Figura 56. Junta a muro sencilla	120
Figura 57. Junta a muro de montaje sobre muro	120
Figura 58. Vista superior cubierta TeknorooF	123
Figura 59. Vista isométrica cubierta TeknorooF	123
Figura 60. Limatesa terminal y limatesa funcionando sobre cubiertas	123
Figura 61. Montaje de las cubiertas	124
Figura 62. Diagrama de instalación en línea continua	124
Figura 63. Detalle del traslapo longitudinal	125
Figura 64. Caballete TeknorooF	126
Figura 65. Detalle del traslapo	126
Figura 66. Ejemplo de limatesa	127
Figura 67. Ejemplo de limatesa terminal	127
Figura 68. Limatesa terminal TeknorooF	127
Figura 69. Limatesa TeknorooF	127
Figura 70. Ejemplo de limahoya	128
Figura 71. Ejemplo de instalación de limahoya	128
Figura 72. Ejemplo de instalación de limahoya	128
Figura 73. Cubierta lucernario o claraboya TeknorooF	129
Figura 74. Junta a muro convencional TeknorooF	130
Figura 75. Junta para protección de muro TeknorooF	130
Figura 76. Detalle de montaje del caballete de protección a muro	130
Figura 77. Detalle del caballete de protección y cubiertas TeknorooF	130
Figura 78. Sistema de encastre a presión Clipstech en T	131
Figura 79. Vista frontal ubicación del sistema de fijación en las cubiertas	132
Figura 80. Vistas del elemento de fijación del sistema de cubierta	132
Figura 81. Patrón formal para el sistema de cubierta	134
Figura 82. Evolución formal de la cubierta	135
Figura 83. Alternativas formales del caballete TeknorooF	136
Figura 84. Limatesa terminal y limatesa TeknorooF	138

Figura 85. Relación postural e interacción operario – cubierta	140
Figura 86. Diferentes posturas en obra	141
Figura 87. Probetas de la prueba de flamabilidad del material	146
Figura 88. Probeta de exposición a la intemperie	147
Figura 89. Instalación del elemento de fijación del sistema	150
Figura 90. Principios de instalación de los elementos del sistema	151
Figura 91. Mecanizado cnc de los moldes y moldes curados con sellador	153
Figura 92. Prensa hidráulica Tongan TA 48 100T	154
Figura 93. Sierra sin fin marca Skill para corte de polímeros	155
Figura 94. Molino de martillo serie SFSP	156
Figura 95. Apilamiento de las cubiertas en 2 tipos de vehículos de carga	158
Figura 96. Ejemplo de etiqueta para cubiertas Teknorooft	160

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Área mínima de lote para VIS Tipo 1 y 2	62
Tabla 2. Lista de porcentajes de residuos recibidos en El Carrasco	62
Tabla 3. Datos de la prueba de Tracción	81
Tabla 4. Datos de la prueba de Flexión	83
Tabla 5. Datos de la prueba de Compresión	85
Tabla 6. Especificaciones de la resina ecoline 2836	87
Tabla 7. Propiedades mecánicas de las fibras de fique	90
Tabla 8. Composición química de las fibras de fique	90
Tabla 9. Temperatura quemado de fibras de estropajo impregnada con diferentes soluciones	92
Tabla 10. Porcentajes de lignina y celulosa de diversos materiales lignocelulósicos	92
Tabla 11. Requerimientos de diseño para los elementos del sistema de cubiertas	95
Tabla 12. Requerimientos de diseño para los elementos de fijación del sistema de cubiertas a la estructura de soporte de la cubierta	97
Tabla 13. Diagrama de explicación de las matrices de evaluación de requerimientos	110
Tabla 14. Evaluación de requerimientos del sistema de cubiertas	111
Tabla 15. Evaluación de requerimientos del elemento de fijación	113
Tabla 16. Costos de producción de la cubierta	157
Tabla 17. Costos de inversión para un valor inicial de 10000 unidades	157

LISTA DE GRAFICOS

	pág.
Gráfico 1. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de tracción probeta tamo molido (66% resina poliéster y 33% tamo).	80
Gráfico 2. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de tracción probeta tamo clasificado (66% resina poliéster y 33% tamo)	80
Gráfico 3. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de flexión probeta tamo molido (66% resina poliéster y 33% tamo)	81
Gráfico 4. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de flexión probeta tamo clasificado (66% resina poliéster y 33% tamo)	82
Gráfico 5. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de flexión probeta tamo molido (74,5% resina poliéster, 25% tamo y 0,5% fique)	82
Gráfico 6. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de flexión probeta tamo clasificado (74,5% resina poliéster, 25% tamo y 0,5% fique)	83
Gráfico 7. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de compresión probeta tamo molido (66% resina poliéster, 33% tamo)	84
Gráfico 8. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de compresión probeta tamo molido (66% resina poliéster, 33% tamo)	84
Grafico 9. Temp. promedio en B/manga 30/12/2013 hasta 3/03/2104	147
Grafico 10. Temp. máxima en B/manga 30/12/2013 hasta 3/03/2104	148

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Plano cubierta	168
Anexo B. Plano caballete	169
Anexo C. Plano limatesa	170
Anexo D. Plano junta a muro	171
Anexo F. Plano elemento de fijación del elemento de cubiertas	172

RESUMEN

TITULO: SISTEMA DE CUBIERTA ECOLOGICA PARA VIVIENDA RURAL; DISEÑO Y CONSTRUCCION*

AUTOR: ARENAS HERRERA, Luis Fernando**

PALABRAS CLAVES: Cascarilla de arroz, material compuesto, resina poliéster, cubierta ecológica, vivienda rural

DESCRIPCION

El objetivo principal de este proyecto es proponer un material compuesto, a partir de resina poliéster rígida reforzada con cascarilla de arroz y fibra de fique, con el fin de aplicar este nuevo material en la fabricación de cubiertas para viviendas de interés social, y brindar una nueva alternativa de este producto y reducir el impacto ambiental que genera la cascarilla de arroz.

Este nuevo material se obtuvo mediante la técnica de laminado, es decir, mediante capas de cada uno de los materiales, y al cual se le aplicaron ensayos mecánicos de compresión, tracción y flexión, y pruebas físicas como resistencia a la llama y de carga transversal. Con estos ensayos se comprobó su comportamiento y resistencia, proponiendo así un material para la fabricación de sistemas de cubiertas para vivienda social.

En la fabricación de los elementos del sistema se utiliza resina poliéster reforzada con cascarilla de arroz molida y fique, ya que la resistencia a la flexión mejora notablemente con la fibra de fique, además, la resina poliéster es un gran aislante térmico, que junto a la cascarilla de arroz ofrecen confort térmico, acústico y lumínico, así como una baja absorción de humedad y alta resistencia a la intemperie, siendo indispensable estas propiedades para el desarrollo de este tipo de productos para la vivienda del futuro.

Esta clase de proyectos necesita el total apoyo de la industria y la academia para ser desarrollado, ya que representa una alternativa viable y sostenible en la fabricación de sistemas de cubiertas ecológicas para vivienda.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Diseño Industrial. Director: M.D.I. PINILLOS, Julio César

ABSTRACT

TITLE: ECOLOGICAL ROOFING SYSTEM FOR RURAL HOUSING; DESIGN AND CONSTRUCTION*

AUTHOR: ARENAS HERRERA, Luis Fernando**

KEYWORDS: Rice hull, composite materials, polyester resin, green roof, rural housing

DESCRIPTION

The main objective of this project is to propose a composite material from rigid polyester resin reinforced with rice hull and fique fiber, in order to apply this new material in the manufacture of roofs for social housing, and provide new alternative product and reduce the environmental impact generated rice hull.

This new material was obtained by laminating technique, i.e. by layers of each material, and to which is applied compression tests, tension and flexural tests, and physical tests such as flame resistance and transverse load. With these tests the behavior and strength were found, proposing a material for the manufacture of roofing systems for social housing.

In the manufacture of the system elements used polyester resin reinforced with ground rice hull and fique, since the flexural strength improves markedly with fique fiber, is used also polyester resin is a high thermal insulation, which together with rice hulls provide thermal, acoustic and lighting comfort, as well as low moisture absorption and high resistance to weathering, these properties for the development of such products for the home of the future to be indispensable.

Such projects need the full support of the industry and academia to be developed, as a viable and sustainable alternative for the production of ecological roofing systems for housing.

* Graduation project

** Faculty of Physical Mechanical Engineering. School of Industrial Design. Project manager: M.D.I. PINILLOS, Julio César

INTRODUCCION

En el mercado local encontramos diferentes tipos de cubiertas para vivienda, ya sea para vivienda rural o urbana, de diferentes materiales, perfiles y de diversos acabados superficiales y colores, pero poco encontramos cubiertas con materiales amigables con el medio ambiente, con los procesos industriales, que mediante su proceso de fabricación tiendan a disminuir el impacto ambiental que genera las materias primas y la transformación de estas a un producto final.

La disposición, utilización irresponsable y la poca búsqueda de aplicaciones industriales de algunos materiales orgánicos, ha llevado al desarrollo de un material compuesto, utilizando resina poliéster y cascarilla de arroz en la fabricación de cubiertas para vivienda rural, dándole un nuevo uso a un material orgánico rico en dióxido de silicio, lo que hace que la cascarilla de arroz sea de difícil biodegradación y de bajo nivel de absorción de agua, cualidades que son ideales para ser resistentes a todas las condiciones de intemperie, además de convertir a este material reforzado en una nueva posibilidad para fabricar comercializar sistemas de cubierta al alcance del bolsillo de los más necesitados.

El diseño industrial es una gran herramienta que permite el desarrollo de productos, de procesos industriales, y permite proponer nuevos productos con tecnología de punta y artesanales, haciendo una simbiosis entre la manufactura de la región y la apropiación de nuevas tecnologías vitales en el desarrollo de la industria local.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE DISEÑO

Uno de los principales objetivos del diseño industrial se centra en dar solución a las necesidades básicas de los seres humanos, también se dedica a la proyección y mejora del entorno en todos los ámbitos del hombre, razón por la cual nos apoyamos profundamente al desarrollo de alternativas que mejoren la calidad de vida.

En este proyecto el problema de diseño es mejorar la calidad de la habitabilidad de las viviendas de interés social, más enfáticamente las viviendas de interés social rural, gracias a una alternativa de cubierta ecológica para estos hogares, que garantice la protección de clima variable de nuestro país, los proteja de la radiación solar y haga del ambiente interior del hogar un digno hábitat para vivir.

Entrando en la necesidad general de nuestro planeta en reciclar y reutilizar materiales industriales, nos hemos dedicado al estudio y recopilación de datos que nos lleven a dar una solución real a la problemática del medio ambiente, creando una solución de cubierta ecológica que reduzca el impacto ambiental que está generando la acumulación de dichos materiales.

Contamos a favor con la presencia de estos materiales en nuestro hogar, en nuestros lugares de trabajo, están presentes en nuestro diario vivir, es una gran ventaja que la materia prima esté a nuestro alcance, además, que los materiales usados como carga se estén abarrotando en bodegas de la región, tales como los residuos del maquinado de madera, el residuo del secado del arroz o mejor conocido como tamo, etc.

Estamos ante la inmejorable oportunidad que nos brinda la Escuela de Diseño Industrial, en aportar un grano de arena al desarrollo de nuevas soluciones que den como resultado un mejor mañana, pensando en el futuro, en el mundo que le dejamos a nuestra descendencia, mediante un diseño sostenible y una conciencia responsable.

2. JUSTIFICACION

En nuestro país, la Constitución política se refiere en el artículo 51 al derecho que todo ciudadano deba tener una vivienda digna, fijando las condiciones de habitabilidad necesarias para hacer efectivo este derecho, promoviendo planes de interés social y sistemas adecuados de financiación a largo plazo.

Pero, lastimosamente, estos planes de vivienda no son económicamente viables para los elevados costos de construcción en el país, ya que el programa de VIS (vivienda de interés social) rural solo subsidia hasta un techo de 24 SMMLV, equivalentes a \$14'148.000 millones.¹

En vista que el presupuesto que el gobierno aporta para la construcción de vivienda de interés social rural es tan bajo, las personas se ven en la obligación de recurrir a la compra de materiales convencionales de menor costo, generando unas condiciones muy precarias de habitabilidad en sus hogares.

La mayoría de hogares en Colombia, de estratos 0,1 y 2 adquieren para sus viviendas cubiertas de bajo costo, siendo estas las cubiertas de zinc, de aluminio o hierro galvanizado, las cuales no aíslan la temperatura exterior totalmente, y además generan una elevada concentración de esta al interior de la vivienda.

Esta realidad nos impulsa a la búsqueda de nuevos materiales para la fabricación de cubiertas, desarrollando un material no convencional que contribuya a mejorar la habitabilidad de un sin número de personas de escasos recursos en el país, y aportar una solución a gran escala mediante la reutilización de materiales.

¹ PROGRAMA DE VIS RURAL PARA COLOMBIA. Artículo 107 Ley 813 de 2003. Consultado 14/ 08/2013. Disponible en <http://www.bancoagrario.gov.co/Vivienda/Paginas/Convocatoria.aspx>

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema de cubierta de tipo ecológico a partir de materiales compuestos de carácter reciclable, como una alternativa de protección a las viviendas rurales de interés social.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer las clases de cubiertas existentes en el mercado de la región, su instalación y materiales, con el propósito de analizar y proponer una solución de diseño para la vivienda de interés social rural.
- Analizar la resistencia de la cubierta a las condiciones climáticas y a la intemperie, al sol y a la dilatación debido a la radiación solar, la absorción y el aislamiento al calor.
- Determinar el material compuesto por un polímero y un material orgánico a utilizar en la construcción de la cubierta ecológica.
- Evaluar las propiedades físico mecánicas del material propuesto, mediante las pruebas respectivas de laboratorio.
- Definir una alternativa económicamente viable para la sustitución de cubiertas a los propietarios de vivienda de interés social rural.
- Aplicar criterios de Diseño Industrial para el mejoramiento de la calidad en los sistemas de cubiertas para techos de viviendas de interés social.
- Fabricar un producto con tecnología de la región y materiales existentes en nuestro medio.

4. ALCANCES DEL PROYECTO

- Construcción del modelo funcional de la cubierta.
- Realización de pruebas físico mecánicas del material de la cubierta, mediante los respectivos ensayos y probetas.
- Realización de pruebas de resistencia a la intemperie y radiaciones solares de la cubierta.

5. METODOLOGIA DEL PROYECTO

Las metodologías existentes que han sido propuestas por los expertos en diseño industrial e investigación, nos han dado una serie de elementos útiles aplicables al análisis y la estructuración de los proyectos. Conforme a ello, se ha generado un esquema de trabajo adecuado a las necesidades, mediante un proceso de investigación y desarrollo del producto.

La metodología del proyecto consta de tres partes, la primera consiste en la recolección y análisis de información, donde se obtiene el conocimiento necesario sobre los sistemas de cubiertas existentes en la construcción, lo cual nos permite identificar necesidades, materiales, ventajas y desventajas de las cubiertas, realizando un diagnóstico de diseño que nos permite definir el problema.

En la segunda etapa se plantearán posibles soluciones al problema de diseño, mediante propuestas de carácter evaluativo y creativo, que nos permitan analizar y seleccionar la mejor solución.

En la tercera etapa se desarrollan las alternativas finales, previamente seleccionadas, dando así una solución real al problema de diseño, teniendo en cuenta factores funcionales, formales, productivos, ergonómicos y económicos.

5.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

Luego del análisis de las características del entorno socio-económico de la región, y teniendo en cuenta el sector de la población a la cual está dirigida la vivienda de interés social rural, nos damos cuenta que el diseño industrial es una herramienta fundamental en la creación de soluciones a la problemática de vivienda, acogida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural, y el Banco Agrario de Colombia, quienes han emitido diversas normativas para el desarrollo de proyectos de construcción de vivienda rural. Las propuestas de diseño de cubiertas para este sector son altamente acogidas por los entes gubernamentales, por los propietarios de vivienda, y por industriales de la región, más específicamente del sector arrocero, quienes ven en este tipo de proyectos una propuesta real de creación de empresa y un producto final adaptable a las necesidades de la problemática regional.

Teniendo una completa recopilación de datos y bibliografía se procede a la realización del marco teórico, donde se amplía el conocimiento sobre la construcción de la vivienda rural en Colombia, las clases de cubiertas en nuestro mercado y el mercado mundial, y la imperiosa necesidad de desarrollar un producto basado en la reutilización de productos industriales.

5.2 DETECCION DE NECESIDADES

Después de conocer las diferentes clases de cubiertas en el mercado, y sus procesos de producción, se ha realizado diferentes visitas para conocer la realidad de las viviendas rurales, sus sistemas de cubiertas, y la comparación con las charlas y los productos por parte del personal a cargo de los sistemas de cubiertas de las empresas Arkos Center y Homecenter, quienes se han especializado en cubiertas de Policarbonato, fibrocemento, polietileno, cubiertas gravilladas, entre otras, y construcciones ecológicas, realizando un diagnóstico sobre las clases de cubiertas, los métodos de montaje de las mismas, materiales y procesos de producción, detectando problemas y necesidades que tiene el problema de diseño.

5.3 DEFINICION DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta el diagnóstico realizado, se plantea abordar el problema de las cubiertas de las viviendas rurales con los materiales con que se pueden fabricar, utilizando materiales compuestos, entre material reciclado como el PET (Tereftalato De Polietileno), Las Resinas de Tipo Poliéster, y material de carga orgánica como lo son los residuos del maquinado de madera o aserrín, o la cascarilla de arroz o tamo, logrando con estos materiales una respuesta a las necesidades de cubiertas que poseen las viviendas rurales, en cuanto a sistemas de cubiertas, materiales y precios. Esta es una industria en crecimiento constante, ya que en el mercado se puede encontrar cubiertas y tejas ecológicas, las que para su montaje se utilizan métodos convencionales.

5.4 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Luego de definir el problema de las cubiertas, se muestran mediante un esquema las distintos pasos en cada etapa definiendo en cada uno de ellos las diferentes características requeridas para lograr un óptimo sistema de cubierta ecológica para la vivienda rural. Estas características se clasifican según los requerimientos de uso, función, estructurales, formal estéticos, técnico productivos y de mercado.

5.5 PROPUESTAS DE DISEÑO

Teniendo en cuenta los requerimientos de diseño planteados con anterioridad, y las cubiertas existentes y sus montajes, materiales y procesos de producción, combinamos la capacidad creativa del diseñador industrial, para poder proponer soluciones innovadoras al problema propuesto, utilizando la expresión gráfica mediante dibujos, planos, esquemas, modelos a escala, etc.

5.6 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Luego de realizar propuestas 2D, se procede a realizar modelos 3D de las alternativas que se acerquen más a una solución definitiva del problema de diseño, realizando pruebas básicas para comprobar el comportamiento, y poder así analizar los datos que arrojen en el desarrollo del producto final.

5.7 EVALUACION DE ALTERNATIVAS

Luego de escoger las alternativas de mayor relevancia, realizamos la calificación correspondiente teniendo en cuenta la mayor cantidad de requerimientos que se cumplen en cada una de las alternativas, escogiendo posteriormente la de mayor porcentaje de requerimientos cumplidos como alternativa final de diseño.

5.8 DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Después de conocer más de cerca las propiedades de los materiales, y de tener mayor conocimiento acerca de los sistemas de cubiertas, en esta etapa se llega a la forma final del diseño, se define la función, selección del material más óptimo, la interacción de la cubierta con el usuario final, costos y procesos de producción de las cubiertas.

5.9 ELABORACION DEL MODELO FUNCIONAL

Ya definidos los aspectos formales y funcionales de la alternativa desarrollada, se realiza la construcción del modelo funcional con un material lo más parecido posible al material que será usado en la fabricación del modelo definitivo, ya que este modelo nos servirá para la interpretación de datos obtenidos por los ensayos físico mecánicos y para prueba por los entes interesados en el proyecto.

5.10 PRESENTACION Y SUSTENTACION DEL PROYECTO

En esta etapa se realiza ayudas audiovisuales donde se explica toda la información acerca del proyecto: investigación, desarrollo general del proyecto y los resultados obtenidos. También se mostrará los modelos funcionales para el análisis y la observación por parte de los interesados en el proyecto.

6. MARCO TEORICO

6.1 CUBIERTAS

Definición e historia de las cubiertas

Se conoce como cubierta al elemento constructivo que protege a las edificaciones en la parte superior y, por extensión, a la estructura sustentable de dicha cubierta. También se le conoce como techumbre.²

Se considera como cubierta a toda construcción, por antigua y espontánea que sea, llámese iglú, tienda de campaña, cabaña de viña, entre otras.

El hombre históricamente, ha buscado refugio de la naturaleza, desde la edad antigua usaba como refugio los accidentes geológicos de la naturaleza, como las grandes rocas y las cuevas.

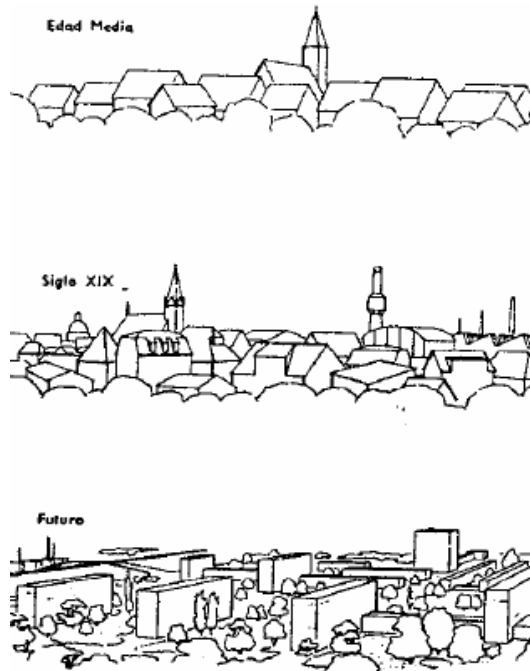
Luego del descubrimiento del fuego, del manejo de materiales como la madera y el metal, fue desarrollando el uso de la materia prima que abundaba a sus alrededores, tales materias primas fueron las fibras naturales como la caña, la madera y bagazos de árboles como la palma.

El uso del metal como cubierta arquitectónica se remonta al año 970 a.c., en la ciudad de Jerusalén fue usado el cobre como cubierta para un templo. El metal también fue usado por los romanos para proteger sus edificaciones, un ejemplo de ello es el panteón de Roma.

Las cubiertas pasaron de ser un elemento estrictamente funcional, a ser un elemento expresivo de cada etapa del hombre y de la arquitectura de cada época.

² WIKIPEDIA. La enciclopedia libre. Definición de cubierta. Consultado: 20/08/2013. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cubierta>

Figura 1. Cubiertas en la historia.



Fuente: Manual del constructor popular. Pág. 3³

Los europeos han sido grandes maestros en el desarrollo de las cubiertas, ya que han trabajado con diversos materiales, desde las fibras naturales, pasando por los metales, los polímeros hasta las cubiertas ecológicas y las cubiertas con paneles solares. Han desarrollado diversos sistemas para la colocación de dichos elementos en las construcciones, algunos de ellos se han vuelto iconos de las sociedades en el mundo entero, como en grandes hoteles, recintos culturales, edificios corporativos y paisajes urbanísticos en general.

Las técnicas y materiales de construcción de las cubiertas autóctonas dependen directamente de la materia prima local y a sus condiciones climáticas. Estas variables dan lugar a la diversidad tipológica de las diferentes clases de cubiertas

³ LOPEZ R, Luis A. Manual del constructor popular. Ed. Imagen Editorial. Pág. 3

existentes en la tierra, desde las cubiertas de piezas de pizarra colocadas a rompejunta usadas en la arquitectura del centro y occidente de Europa, pasando por las cubiertas con estructura en madera de las típicas viviendas americanas y de las techumbres nórdicas, hasta las cubiertas de caña y listones de madera usadas en los países de la línea ecuatorial, explícitamente de los climas cálidos y templados.

Figura 2. Cubiertas en la historia



Fuente: <http://www.codigotecnico.org>

Entre la edad antigua y la edad media data la construcción de viviendas con cubiertas hechas a base de tierra arcillosa compactada, estabilizadas mediante la plantación de especies de plantas herbáceas y gramíneas. Las raíces de estas plantas les proporcionaban mayor estabilidad, ya que aseguraban la cohesión de la arcilla, y les proporcionaban un índice de humedad más estable.

En los climas cálidos como anteriormente mencionaba, las cubiertas de paja se peinaban y anudaban formando haces de hasta 120 cm. de longitud, que luego se

colocaban sobre listones o cañas (también conocida como caña brava), los cuales se distancian entre si 30 cm aproximadamente, formando una capa de paja de hasta 20 cm. de espesor, generando un peso promedio de 10 kg/m². Sobre esta capa de haces se disponían varas de caña atadas fuertemente a los listones de base, y finalmente se añadía una o hasta dos capas más de haces.

Esta clase de cubiertas tiene un gran índice de estanqueidad gracias al espesor, a la capacidad de absorber agua por la misma paja, y a la facilidad de conducir, por medio de la tensión superficial, cada gota de agua hasta el haz inferior, y luego hasta el suelo.

La expansión de los imperios de la antigüedad y en la edad media permitió el desarrollo de los sistemas de techado a nivel de prefabricación, facilitando la puesta en obra y transporte de materiales, garantizando el éxito en cualquier construcción que se necesitara. En este nuevo escenario se desarrolla la cubierta de las viviendas de Norteamérica y el norte de Europa, donde florecieron dos tipos de recubrimiento: las piezas colocadas a rompejunta y las colocadas a junta continua.

En las culturas en las que la arcilla era una materia prima indispensable para el comercio y la vivienda, se desarrollaron las tejas de arcilla, las cuales aún a la fecha se siguen desarrollando, y cuyo desarrollo estuvo presente en los imperios del mediterráneo, la expansión del imperio romano, los imperios de China y Japón, principalmente.

6.2 FUNCIONES EXIGIBLES A UNA CUBIERTA

Estanqueidad al agua.

Se conoce como estanqueidad al agua a la capacidad que debe tener una cubierta a repeler el agua, refiriéndose también al nivel de impermeabilidad que debe poseer tal elemento. Al aumentar la pendiente de la cubierta, se aumenta la velocidad con la que escurre el agua sobre tal elemento, reduciendo el tiempo de presencia del agua y el riesgo de penetración. Para aumentar el éxito de una cubierta, radica en la utilización de materiales con un bajo coeficiente de absorción de agua y en la formación de piezas del mayor tamaño posible, para reducir así el riesgo de filtración y la cantidad de juntas. Para tal fin, las normas técnicas españolas también conocidas como Documento básico de higiene y salubridad para la construcción DB-HS de 2009⁴, he aquí algunas de las condiciones:

- Un sistema de formación de pendientes cuando la cubierta sea plana o cuando sea inclinada y su soporte resistente no tenga la pendiente adecuada al tipo de protección y de impermeabilización utilizada.
- Una *capa separadora* bajo la capa de impermeabilización, cuando deba evitarse el contacto entre materiales químicamente incompatibles o la adherencia entre la impermeabilización y el elemento que sirve de soporte en sistemas no adheridos.
- Una capa de impermeabilización cuando la cubierta sea plana o cuando sea inclinada y el sistema de formación de pendientes no tenga la suficiente pendiente exigida según el material que la constituye, o el solapo de las piezas de la protección sea insuficiente.

⁴ DOCUMENTO BASICO DE HIGIENE Y SALUBRIDAD. Documento PDF pág. 27. Consultado: 2/08/2013. Disponible en: <http://www.codigotecnico>.

Estanqueidad al viento

Un grave problema surge al tratar el tema de estanqueidad al viento, ya que por los materiales utilizados en los últimos 50 años, y en donde el hombre se ha preocupado más por la estanqueidad al agua, la temperatura bajo las cubiertas aumenta conforme al cambio climático en el planeta, y la cubierta debe proporcionar la suficiente circulación de aire dentro del recinto que esta misma protege, además debe repeler al máximo los vientos, ya sean fuertes o leves, sugiriendo una solución más íntegra.

Se ha tratado de solucionar este gran dilema, aumentando el espacio entre los pares y entre las vigas o correas, hablando de la estructura de montaje de las cubiertas, y aumentando el tamaño de las cubiertas. En países donde el verano es muy caliente y el aire se calienta de manera exponencial, se sugiere que la cubierta debe inducir a la circulación del aire caliente, que entra por la parte frontal o barbacana, haciendo recorrido hasta la parte superior saliendo por las aberturas protegidas por la cumbrera, resultando de este recorrido un enfriamiento natural de la cubierta y del recinto interior.

Captación y disipación de la energía

Son pocos los ejemplos claros de aprovechamiento de la energía en las edificaciones mediante la cubierta, excepto los paneles solares, ya que mediante estos últimos se ha tratado de aprovechar la energía solar para proporcionar suministro y aprovechamiento energético a las viviendas.

Las cubiertas de hoy no solo deben aislar el agua, la fuerza del viento y disipar el cambio de temperatura del aire, también debe aprovechar estos recursos energéticos para aislar el calor o el frío, debe también ser un elemento de

captación de aguas lluvias, con el fin de emplearlas en labores de refrigeración de la misma.

Confort higrotermico, acústico y lumínico

Desde la década de los 70`s, los aislantes térmicos hicieron olvidar los efectos de la radiación solar directa, que incide principalmente en verano, haciendo que la temperatura de las cubiertas aumente notoriamente en su superficie. El no considerar el efecto de la radiación solar directa significa obviar que el salto térmico entre el exterior y el interior de la edificación puede ser de 2 a 3 veces superior al previsto, lo que en otras palabras se conoce como efecto invernadero.

Ventilar los espacios bajo la cubierta, aumentar el coeficiente de reflexión del material de la cubierta a la luz solar son aspectos a tener en cuenta.

La presencia de elevada humedad relativa en nuestro territorio nacional nos lleva a pensar en el adecuado diseño y manejo de materiales para aumentar el confort higrotermico del aire interior de las viviendas.

Las cubiertas ecológicas, por aprovechar materiales que poseen menor módulo elástico comparado con las cubiertas de policarbonato, evita la utilización de otro tipo de elementos, como los cielos rasos para acondicionar acústicamente el interior de los recintos, aumentando así el confort acústico.

La cubierta también debe estar proyectada para proteger a los habitantes de las edificaciones de la luz solar, evitando el paso de la radiación visible e infrarroja, proporcionando ambientes de gran calidad.

Seguridad estructural, contra el fuego y biológica

El diseño de la cubierta debe considerar el peso propio y sus concargas, tales como las precipitaciones de agua, nieve o granizo, y la succión del viento en las vertientes a sotavento, especialmente en construcciones abiertas.

El viento es un peligro latente para las cubiertas, ya que ara las que están desprotegidas inferiormente y para las piezas que no están firmemente sujetas entre sí, exige la fijación con tornillería autoperforante, clavos, ganchos, resinas y pegantes sintéticos o mortero. Los expertos sugieren fijar las cubiertas construidas por piezas livianas con fijaciones mecánicas, como las citadas anteriormente.

Las cubiertas deben garantizar resistencia estructural en su conjunto y en cada uno de sus componentes: elementos de amarre, solapes, cumbrera, etc., para dar seguridad a los habitantes de las viviendas y posteriores roturas generadas por los inspectores de obra, debido al tránsito del personal sobre cubierta, los punzonamientos y deformaciones del material debido a las condiciones del clima.

En el caso de las cubiertas metálicas, hay que disponer la colocación de polos a tierra de las mismas, ya que poseen una elevada capacidad a acumular energía eléctrica estática debido a los vientos y a los cambios de temperatura.

La cubierta y su estructura deben ser estables al fuego, que retarden los posibles incendios que se puedan presentar para que puedan permitir la evacuación de los

habitantes de la vivienda y la acción de los bomberos. También se debe tener en cuenta el cerramiento de la cubierta, el cual no debe ser excesivo, para que se pueda atenuar la evacuación del calor y de los gases que se generan al interior de un incendio al interior de la vivienda.

En todos los países, en mayor o menor grado, se exige que las medianías de las viviendas que se construyen en hilera emerjan por encima de la cumbrera, con una altura suficiente para evitar que el fuego se propague fácilmente a las viviendas vecinas.

En nuestro país observamos en las cubiertas de las viviendas organismos como musgos, plantas y todo tipo de vegetación gramínea que emergen notoriamente, los cuales se ven favorecidos por la humedad relativa y las precipitaciones, y el abono que es proporcionado por el excremento de las aves, volviendo a las cubiertas en biotopos.

Debe controlarse imperiosamente esta capacidad, para evitar el ataque físico o químico del material de las cubiertas mediante la disminución o anulación total de la humedad de los compuestos que conforman el material, para así aislar de posibles infecciones biológicas a los residentes, ya que puede crearse moho, bacterias y ácaros bajo la superficie del techo.

Durabilidad y mantenimiento

Gracias al mantenimiento se puede asegurar la durabilidad de las cubiertas, debe hacerse como mínimo 2 inspecciones anuales o antes de cada periodo fuerte de lluvias, para proceder a su limpieza.

La acumulación de hojas, cenizas, vegetación, moho, especialmente entre los solapes, ranuras y limahoyas, disminuyen la normal circulación de escorrentías de agua, lo que perturba la estanqueidad del tejado contra las lluvias.

El periodo de vida útil de las cubiertas varía según el material utilizado en su fabricación, su constitución orgánica, metálica o mineral hacen que los factores ambientales los ataquen en mayor o menor proporción. Factores como la humedad ambiental, la polución, la cercanía al mar, la pluviosidad deben ser analizados al mínimo detalle.

Otro gran factor a tener en cuenta son las heladas, ya que es un enemigo implacable de los materiales porosos, sean derivados del cemento, pétreos o cerámicos, lo que recomienda utilizar materiales mínimamente porosos que puedan asegurar la resistencia a los periodos de heladas. Las juntas deben ser resistentes a los choques térmicos, y al desprendimiento de piezas debido a los vientos.

Constructibilidad

El CII (Construction Industry Institute) define esta técnica como un sistema para conseguir una óptima integración del conocimiento y experiencia constructivos en las operaciones de planificación, ingeniería y construcción; orientado a tratar las peculiaridades de la obra y las restricciones del entorno con la finalidad de alcanzar los objetivos del proyecto.⁵

Las cubiertas fabricadas con componentes plásticos, debido a su bajo peso (<10 kg/m²), y a la creciente disminución de elementos para el anclaje y montaje de las mismas, transporte y constructibilidad, acabados finales y puesta en obra, hacen

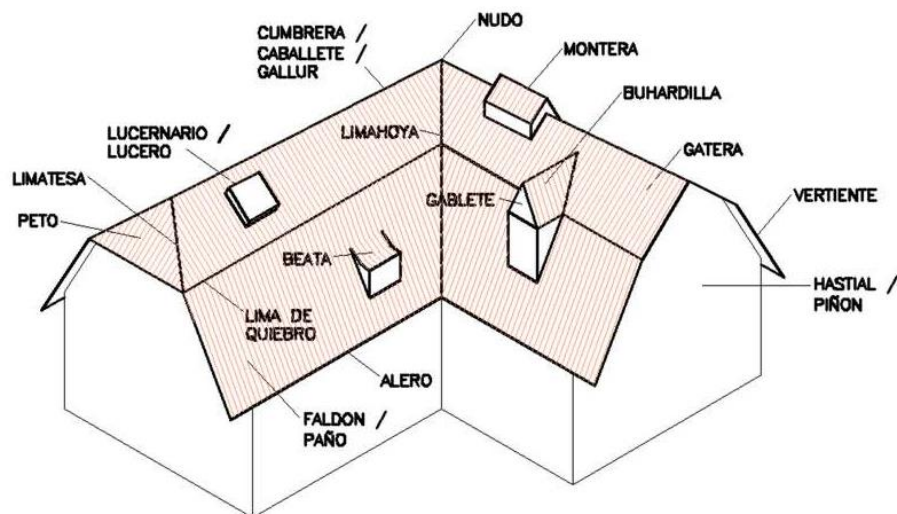
⁵ CONCEPTO DE CONSTRUCTIBILIDAD. Consultado: 25/08/2012. Disponible en: <http://ingenieria-y-construccion.blogspot.com/2008/03/la-constructibilidad.html>

de este tipo de cubiertas una solución muy práctica para la construcción de viviendas.

Los expertos en montaje de cubiertas recomiendan su anclaje entre las crestas, ya que la evolución de los sistemas autorroscantes, con juntas de estanqueidad con sistemas de arandelas de caucho comprimidas, hace que aumente la confiabilidad de la cubierta plástica.

6.3 PARTES PRINCIPALES DE UNA CUBIERTA

Figura 3. Partes de una cubierta



Fuente: <http://digibug.ugr.es>

Una cubierta está conformada por diferentes planos inclinados y aristas, los más importantes se mencionan a continuación:⁶

⁶ ELEMENTOS DE UNA CUBIERTA INCLINADA. Consultado: 25/08/2013. Disponible en: http://www.construmatica.com/construpedia/Cubiertas_Inclinadas#Conformaci.C3.B3n_de_las_Cubiertas_Inclinadas

- **Faldón:** Se le llama faldón a cada uno de los planos inclinados que conforman la cubierta de una vivienda.
- **Alero:** Es llamado alero a la prolongación en voladizo de un faldón sobre el plano de la fachada de la vivienda.
- **Cumbrera o caballete:** Es la arista horizontal de la cubierta a la máxima altura conformada por el encuentro de dos faldones. Tiene la función de proteger los faldones y la viga caballete o cumbrera de las variaciones del clima.
- **Vertiente:** Es inclinación de cada uno de los faldones, y parte desde la cumbrera o caballete.
- **Lima:** Es la arista oblicua que queda formada con el encuentro de dos faldones inclinados.
- **Limatesa:** Es una arista que separa las vertientes y se forma al unirse dos faldones a un ángulo mayor a 180° .
- **Limahoya:** Es una arista que recoge las vertientes y se forma al unirse dos faldones a un ángulo menor de 180° .
- **Lucernario:** Es una ventana situada en el techo o la parte superior de una pared utilizada para proporcionar luz a una habitación.

6.4 ELEMENTOS DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DE UNA CUBIERTA

Correas

Son los perfiles que forman el entramado sobre el que se fija y se soporta la cubierta. La sección de estos perfiles puede ser en I, en Z o en C, y están fabricados con chapa galvanizada conformada en frío, o de sección cuadrada si son de madera. Su fijación al resto de la estructura se hace mediante tornillería y perfiles en L.

Pares

Son vigas cuya misión es transmitir a los elementos de apoyo todas las cargas provenientes de la cubierta. Se soportan directamente sobre las vigas de apoyo o soleras.

Viga de cumbrera o caballete

Viga empleada para soportar los extremos superiores de los pares de la estructura de la cubierta.

Vigas de apoyo o soleras

Es una viga generalmente de madera, que se coloca de manera horizontal en la parte superior de un muro de carga en el mismo sentido de este, y soportan los pares que, a su vez, soportan las correas.

Anclajes

Son elementos en acero inoxidable, y van colocados en las vigas de apoyo, con el fin de evitar que los vientos fuertes levanten las correas. Se colocan tantos como sean necesarios según el tamaño de la vertiente.

6.5 CLASIFICACIÓN DE LAS CUBIERTAS

Según su sistema de soporte estructural

- **Cubiertas de estructura reticular mono direccional**

Son cubiertas autos portantes de eje rectilíneo, sin estructura de soporte intermedia, siempre dispuestas en una misma dirección.

Figura 4. Ejemplo de cubierta reticular mono direccional.



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3350/7/35737-7.pdf> pág. 9

- **Cubiertas curvas**

Son cubiertas de eje curvilíneo, que se complementa con un conjunto de tirantes. Principalmente esta estructura es la de un arco con un tirante interior, que recoge los esfuerzos horizontales, de esta forma la cubierta solo transmite esfuerzos verticales a los apoyos. Los tirantes se destinan a absorber los impulsos

horizontales en los apoyos debidos a la curvatura de su estructura y son de acero de alta resistencia. Los contravientos constituyen un sistema de reserva de seguridad, que se destina a transmitir directamente a las estructuras de soporte de la cobertura los esfuerzos excesivos debidos a la acción del viento. Este tipo de estructura cubre un área mayor que las cubiertas planas mono direccionales.

Figura 5. Ejemplo de cubierta curva.



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3350/7/35737-7.pdf>

- **Cubiertas tipo sándwich**

La cubierta tipo sándwich esta con formada por dos placas de fibrocemento o dos chapas metálicas en la parte superior e inferior. Entre estas láminas se encuentra el aislamiento, que puede ser en poliuretano, poliestireno expandido, fibra de vidrio o lanas minerales. Este sistema puede servir de rehabilitación de cubiertas, sin tener que desmontar las existentes.

Figura 6. Detalle de cubierta tipo sándwich con manta de lana de vidrio.



Fuente: <http://upcommons.upc.edu>

Este tipo de cubiertas se consiguen prefabricadas, o se puede hacer el montaje en el sitio de construcción y montaje de la cubierta.

- **Cubiertas espaciales**

Se conoce como Estructura Espacial al elemento resistente formado por la yuxtaposición espacial de módulos con diversas formas geométricas. Están constituidas por la unión de nudos y barras de acero. La fabricación y la disposición de estos elementos da mucha libertad en el diseño, ya que su tipo de estructura permite la absorción de fuertes esfuerzos.

Sus procesos de construcción y acabado pueden hacerse en los talleres, lejos del lugar de montaje, lo que permite asegurar la rapidez en el montaje.

Figura 7. Parque biológico de Madrid.

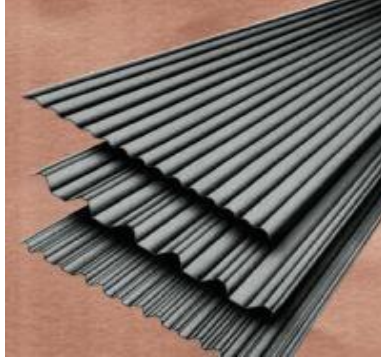


Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3350/7/35737-7.pdf>

- **Cubiertas sencillas**

Son cubiertas fabricadas como una solución para minimizar los costos de construcción de una vivienda. En el mercado se puede conseguir de diversas dimensiones, y los elementos de amarre a la estructura del techo se consiguen fácilmente. Las cubiertas sencillas vienen en perfiles variados, y las más frecuentes son las onduladas y las de perfil trapezoidal.

Figura 8. Tipos de cubiertas sencillas



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3350/7/35737-7.pdf>

El largo total de este tipo de cubierta que se consigue en el mercado es bastante diverso y generoso, largos desde 2 m hasta 6 m, a pesar de ellos debe considerarse la colocación de soleras o vigas de apoyo para soportar eficazmente el peso de la cubierta. Las cubiertas simples aseguran la estanqueidad al viento y al agua, una gran calidad estética y un fácil y rápido montaje.

Su gran desventaja se centra en el aislamiento térmico, ya que si no se aísla adecuadamente se presenta demasiado calor en temporada de verano y demasiado frío en temporada de invierno al interior de la vivienda. En temporada de frío el calor al interior de la vivienda hace condensar el vapor y se escurre agua en la cubierta, y si no lo hace adecuadamente puede pasar al interior de la vivienda.

Cubiertas según su material

- **Cubierta de teja de barro**

Figura 9. Cubierta de teja de barro



Fuente: <http://www.construmatica.com/construpedia>

Es un tipo de cubierta muy utilizado en nuestro país, y en los países cálidos. En Colombia, la norma técnica colombiana NTC 2086 se refiere al proceso de producción y materiales de este tipo de cubierta. Las tejas se disponen en sentido perpendicular a las cumbreras y de manera ascendente, formando entre si unos canales, y otras llamadas cobijas.

Las tejas canal dispuestas en hilera van pegadas al techo con mortero, según la norma NTC 3329 o ASTM C. 270.

- **Cubierta de pizarra**

Figura 10. Cubierta de pizarra



Fuente: <http://www.construmatica.com/construpedia>

La pizarra es un material utilizado en zonas montañosas para cubiertas de pendientes de 60% aproximadamente. Las piezas de soporte son placas planas cortadas de diferentes formas y de variadas medidas cuyos bordes se biselan para atenuar la resistencia del viento y favorecer el desagüe.

Como la pendiente de la cubierta casi siempre es muy pronunciada, las piezas debe clavarse o anclarse debidamente; para soporte de las mismas se dispone un tablero de madera sobre la base de apoyo. En áreas secas se emplean como apoyo una capa de yeso con un espesor de 4 cm., aplicado sobre forjado o solera de ladrillos. El grosor de las placas se encuentra en el orden de los 4 a 6 mm. Esta capa suele ser de yeso negro maestreado (Revestimientos). Tanto las cumbres como las limatesas pueden acabarse con una pieza de zinc plegada en ángulo y solapada con ambos faldones.

- **Cubiertas de placas de fibrocemento**

Figura 11. Cubierta de fibrocemento.



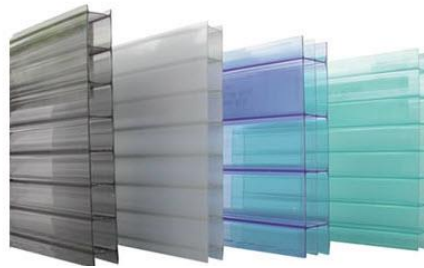
Fuente: <http://www.construmatica.com/construpedia>

Las cubiertas de fibrocemento, y en nuestro país también conocida como de asbesto-cemento, es básicamente una mezcla homogénea de cemento tipo portland, asbesto y agua. Las recomendaciones de transporte, montaje e izado, se hace con base en la norma ICONTEC 275. Sus dimensiones máximas son de 1m por 3m, y su espesor entre 4 mm y 6 mm. De superficie ondulada longitudinalmente. Se ha comprobado que el asbesto es cancerígeno y por ello, en muchos países se ha sugerido retirar del mercado esta clase de cubierta.

Se instalan sobre una estructura de madera preferiblemente, en hiladas verticales, de manera ascendente. Las cumbreras generalmente vienen fabricadas también en este material.

- **Cubiertas plásticas**

Figura 12. Sistema en policarbonato Topgal para cubiertas.



Fuente: <http://www.arkos.com.co/>

Los materiales utilizados en este tipo de cubiertas suelen ser poliéster o policarbonato, presentándose en placas. Las placas de poliéster tienen formatos y dimensiones similares a las de fibrocemento y además es similar su colocación, pero poseen mucho menor peso que aquellas y tienen transparencia, por lo cual permiten el paso de la luz.

Las placas de policarbonato vienen lisas en su mayoría, poseen gran transparencia, y las de doble capa constituyen un buen aislamiento térmico por la existencia de las cámaras de aire en su interior. Se emplean en invernaderos, centros comerciales, pabellones deportivos, entre otros.

- **Cubiertas de chapas metálicas lisas**

Figura 13. Ejemplo de chapas metálicas lisas.



Fuente: <http://www.ar.all.biz>

Los materiales que se emplean para la fabricación de este tipo de cubiertas pueden ser: acero galvanizado, acero inoxidable, zinc y cobre. Ya que este tipo de materiales son maleables, permiten mediante perfilado, plegado, doblado y cortado, se obtienen cubiertas de variados perfiles y diseños.

Sobre las correas de la estructura de la cubierta se montan unos listones metálicos preparados con grapas cuya función es enganchar las placas. Las juntas entre las chapas se realiza mediante el proceso de engatillado (engatillado es el doblado sucesivo de los extremos de dos chapas que se unen para evitar el acceso del agua).⁷

⁷ CONSTRUMATICA. Definición de Engatillado. Consultado: 25/08/2013. Disponible en : http://www.construmatica.com/construpedia/Tipolog%C3%ADas_de_Cubiertas_Inclinadas

- **Cubiertas de chapas metálicas con revestimiento**

Estas cubiertas agregan a la chapa metálica un aislante térmico, ofreciendo mejor aislamiento, mediante una capa de resina poliéster y fibra de vidrio, y un proceso de pintura de tipo poliéster. En Homecenter, se encuentran las cubiertas conocidos como termo acústicas, las cuales tienen un revestimiento de poliuretano, y las teja gravilladas, las cuales son placas en acero con un revestimiento similar a una lija.

Las chapas se sujetan a la estructura de soporte mediante tornillos de acero galvanizado. Las juntas, tanto las verticales como las horizontales, se ejecutan con el plegado de la chapa del panel y el relleno del hueco con un material plástico deformable; luego se coloca un perfil metálico a presión cuya función es de tapajuntas de esa unión de los dos paneles.

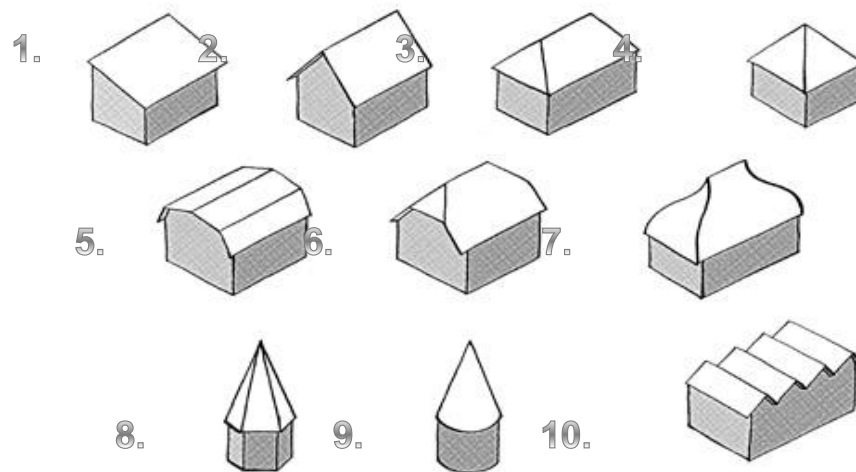
6.6 CUBIERTAS SEGÚN SU PENDIENTE

Hay diversas clases de pendientes para las cubiertas, dependiendo el tipo de vivienda, la ubicación geográfica y las condiciones ambientales.

Las cubiertas SEGÚN SU PENDIENTE las podemos clasificar como:

a) Pendiente > 15 % - Cubiertas inclinadas, (también llamados tejados o propiamente cubiertas).

Figura 14. Diversos tipos de cubiertas inclinadas



Fuente: <http://dicionarioconstrucion.coag.es/es/content/cubiertas-inclinadas-tipos>

En la figura 14 se muestra los diversos tipos de cubierta, a saber:

- 1) Cubierta a 1 vertiente
- 2) Cubierta a 2 vertientes
- 3) Cubierta a 4 vertientes con cumbrera
- 4) Cubierta a 4 vertientes de pabellón
- 5) Cubierta quebrantada o mansarda
- 6) Cubierta estilo holandés
- 7) Cubierta tipo imperial
- 8) Cubierta piramidal
- 9) Cubierta cónica
- 10) Cubierta tipo diente de sierra

b) Pendiente < 15 % - Cubiertas planas, también llamadas azoteas. Las cuales pueden ser transitables, no transitables o ajardinadas. Las cubiertas ajardinadas también son llamadas cubiertas verdes.

6.7 VIVIENDA DE INTERES SOCIAL RURAL EN COLOMBIA

La vivienda de interés social rural (VISR) es aquella vivienda dirigida a aquellos sectores más vulnerables del país, como los son aquellos hogares que han sido declarados por las autoridades gubernamentales en situación de vulnerabilidad y/o afectación manifiesta o sobreviniente, los hogares de los resguardos indígenas legalmente constituidos, los hogares de las comunidades afro descendientes, raizales y palanqueras legalmente reconocidas, y la población que haga parte de los programas estratégicos de orden sectorial en las diversas regiones del país. Los entes encargados de declarar a estos hogares como beneficiarios de los subsidios de vivienda son el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el Bando Agrario de Colombia.

Según el ministro de agricultura y desarrollo rural, el Doctor Juan Camilo Restrepo se refiere al tema de déficit de vivienda rural como un problema habitacional muy grave comparado con el déficit de vivienda urbana, ya que el déficit de vivienda rural en el país representa el 55% del total nacional. Este déficit cualitativo es de aproximadamente 2.287.000 hogares, un número mucho mayor que el registrado en el sector urbano en donde se registra 1.897.000 hogares.⁸

Cabe resaltar que el gobierno nacional se ha propuesto entregar para el presente año 97.699 soluciones de vivienda rural, y hasta el momento se han entregado 34.104 a las familias del campo, de las cuales el 64% han sido totalmente gratuitas.

⁸ DISCURSO DEL MINISTRO JUAN CAMILO RESTREPO, Cumbre de Camacol, 24 de abril de 2013. Consultado: 26/08/2013. Disponible: <http://camacol.co/noticias/100000-viviendas-para-disminuir-el-d%C3%A9ficit-en-el-sector-rural>

La financiación para estos proyectos de vivienda se hará con los recursos que se le han asignado al Programa de Impulso a la Productividad y el Empleo (PIPE).

Los departamentos que han recibido la mayor parte de los recursos han sido Bolívar y Cauca, ya que estas regiones han sido mayormente afectadas por la ola invernal y el desplazamiento forzado en comparación con los demás departamentos del país.

6.7.1 Reglamentación colombiana para la vivienda de interés social rural

- **Concepto de solución de vivienda de interés social rural**

Según el convenio interadministrativo de cooperación interinstitucional celebrado entre el Banco Agrario de Colombia y la Universidad Nacional, el concepto de solución de VISR debe ser una estructura habitacional que permita a un hogar disponer de condiciones mínimas satisfactorias de salubridad, espacio, saneamiento básico y de calidad estructural. Su diseño deberá permitir el desarrollo progresivo de la vivienda y su valor, incluyendo el lote, no podrá superar los setenta (70) salarios mínimos legales mensuales vigentes.⁹

⁹ Decreto 1160 de 2010. Artículo 9. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. 13 de Abril de 2010.

- **Condiciones de vivienda¹⁰**

Para construcción de vivienda nueva, deberá contar con un área mínima de 36 m² construidos, que permitan proporcionar al menos un espacio múltiple para sala y comedor, dos habitaciones, cocina, un baño y las acometidas e instalaciones domiciliarias, a excepción de la población indígena, para quienes se mantendrán sus costumbres, siempre y cuando se dé cumplimiento a la norma sismo resistente NSR / 98 o las normas que la modifiquen, adicionen o sustituyan y al reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico RAS 2000.

El subsidio de VISR solo se podrá destinar a las soluciones de vivienda que cuenten con suministro inmediato de agua potable, claro está que el suministro de este recurso podrá prestarse mediante tecnologías tradicionales o alternativas que permitan la correcta prestación de este servicio.

- **Modalidades del subsidio familiar de vivienda de interés social rural¹¹**

El subsidio de vivienda de interés social rural tiene las siguientes modalidades:

- 1. Mejoramiento de vivienda y saneamiento básico**

Es la modalidad que permite al hogar beneficiario del subsidio subsanar o superar en la solución de vivienda alguna de las siguientes deficiencias:

- a) Deficiencias en la estructura principal, cimientos, muros o cubierta.
- b) Carencia o deficiencia en los sistemas de alcantarillado o sistema para la disposición final de aguas servidas.

¹⁰ Decreto 1160 de 2010. Artículo 18 y 19. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. 13 de Abril de 2010.

¹¹ Decreto 1160 de 2010. Artículos 14 y15. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. 13 de Abril de 2010.

- c) Carencia o deficiencia de baño(s) y/o cocina.
- d) Pisos en tierra o en materiales inapropiados.
- e) Construcción en materiales provisionales, tales como latas, tela asfáltica y madera de desecho, entre otros.
- f) Existencia de hacinamiento crítico, cuando en el hogar habiten más de 3 personas por cuarto, incluyendo sala, comedor y dormitorios.

2. Construcción de vivienda nueva¹²

Es la modalidad que le permite a un hogar habilitado, postularse al subsidio familiar de vivienda de interés social rural para construir una solución habitacional en:

- a) Un lote de terreno del cual uno o varios miembros del hogar postulado sean propietarios conforme al certificado de tradición y libertad, o en su defecto, tengan la posesión regular, pacífica e ininterrumpida, por un periodo superior a cinco (5) años, contados hasta la fecha de la postulación.
- b) Un lote de terreno de propiedad de la Entidad Oferente, caso en el cual será obligación de ésta, transferir su propiedad de manera individual, a los hogares beneficiarios del proyecto de vivienda de interés social rural, para que el subsidio asignado pueda ser invertido.
- c) Un lote de terreno de propiedad colectiva para el caso de las comunidades indígenas, negras, afrocolombianas, raizales y palenqueras.

La modalidad de Construcción de Vivienda Nueva, puede ser de dos (2) formas:

Dispersa: Son aquellas soluciones de vivienda que se ejecutan en diferentes lotes y dada su distancia es posible la construcción del pozo séptico.

¹² Decreto 0900 de 2012. Artículo 7. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. 2 de Mayo de 2012

Agrupada o Nucleada: Todas aquellas soluciones de vivienda que por la distancia entre ellas se hace imposible la construcción de los pozos sépticos y se requiere de obras de urbanismo, redes de acueducto, alcantarillado y electricidad.¹³

Valor del subsidio¹⁴

El monto del subsidio en la modalidad de mejoramiento de vivienda y saneamiento básico, será hasta de dieciséis (16) salarios mínimos mensuales legales vigentes – SMMLV.

El monto del subsidio en las modalidades de construcción y adquisición de vivienda nueva, será hasta veinticuatro (24) salarios mínimos mensuales legales vigentes – SMMLV.

La constitución política de nuestro país dicta en el Capítulo II de los Derechos Sociales, Económicos y Culturales Artículo 51:

“Todos los colombianos tiene derecho a una vivienda digna. El estado fijará las condiciones necesarias para hacer efectivo este derecho y promoverá planes de vivienda de interés social, sistemas adecuados de financiación a largo plazo y formas asociativas de ejecución de estos programas de vivienda”.¹⁵

El Decreto 2060 del 24 de junio de 2004 hace referencia a las normas mínimas para la construcción y urbanización de viviendas de interés social tipo 1 y 2, es decir, aquellas viviendas de hogares que devenguen 2 o menos salarios mínimos legales mensuales vigentes.

¹³ Reglamento operativo Programa de vivienda de interés social rural Año 2012. Presidencia Gerencia de vivienda Bogotá, D.C., Mayo de 2012.

¹⁴ Decreto 0900 de 2012. Artículo 5. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. 2 de Mayo de 2012.

¹⁵ Constitución Política de Colombia de 1991, Capitulo II Artículo 51.

Tabla 1. Área mínima de lote para vis tipo 1 y 2

Tipo de vivienda	Lote mínimo	Frente mínimo	Aislamiento posterior
Vivienda unifamiliar	35 m ²	3.50 m ²	2.00 m ²
Vivienda bifamiliar	70 m ²	7.00 m ²	2.00 m ²
Vivienda multifamiliar	120 m ²		

Fuente: Decreto Nacional 2083 de 2004

6.8 GENERALIDADES DEL PRODUCTO

Tabla 2. Lista de porcentajes de residuos recibidos en el carrasco

COMPONENTE FISICO TOTAL%

ORGANICOS	62,9
PLASTICOS	14,9
CELULOSICO	7,2
SANITARIO	4,4
VIDRIO	3,5
TEXTILES	2,7
CUEROS	1,97
METALES	1,7
ESCOMBROS	0,46
HOSPITALARIOS	0,24
ACUMULADORES	0,08
NEUMATICOS	0,023

Fuente: Empresa Aseo de Bucaramanga EMAB, muestreo de 35 días, año 2001.

Reciclaje

Nuestro departamento cuenta con 87 municipios, los cuales producen 1012 toneladas diarias de residuos sólidos, cifra que se ha aumentado en un 35,46% con relación a la producción de residuos sólidos en el año 2006. La ciudad de Bucaramanga dispone sus residuos en el relleno sanitario El Carrasco, el cual recibe desechos provenientes de 11 municipios del departamento, en el cual ingresan 734,3 ton/diarias de desechos, de las cuales 562 ton/día son residuos sólidos, el cual representa una producción del 55,54% del total en el departamento.¹⁶

El plástico es un material de difícil degradación y altamente contaminante, eso lo hace propenso al reciclaje y reutilización.

El tereftalato de polietileno, más conocido como PET, es utilizado en su mayoría en la producción de envases. También se utiliza en la obtención de láminas, fibras, termoformados, etc. Gran parte del PET reciclado es utilizado en la fabricación de fibras para productos de aseo como escobas y cepillos, y fibras para alfombras.

En nuestra ciudad, una parte del PET de desecho es reciclado y enviado a ciudades como Bogotá y Medellín, pero la mayor parte del PET termina contaminando el ambiente, o en el botadero de basura, o enterrado en basureros ilegales y en quemas no controladas, agudizando aún más el problema ambiental generado por la mala reutilización de este material.

Mediante el proceso químico de metanólisis, utilizado en el reciclado del PET, se busca obtener resina poliéster virgen mediante la adición de metanol, proceso

¹⁶ Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Consultado: 26/08/2013. Disponible en: http://www.superservicios.gov.co/c/document_library/get_file?p_l_id=25030&folderId=25192&name=DLFE-8354.pdf

mediante el cual sus moléculas se descomponen, propiciando la generación de moléculas de tipo poliéster.

La empresa Andercol, quien es líder en el mercado en producción y comercialización de resinas tipo polyester, vynilester y epoxi, ha desarrollado una fórmula que permite reutilizar el PET, para ser aplicado en la fabricación de su nueva resina ecológica de poliéster llamada Ecoline, en sus versiones isoftàlica y ortoftàlica, en cuya fabricación se utilizan 10.000 botellas de PET por cada tonelada producida de resina poliéster ecológica Ecoline, con lo que busca Andercol disminuir el impacto ambiental con la poca reutilización y la saturación de este plástico.

La resina poliéster hace parte de nuestra vida cotidiana y es usada como materia prima para la fabricación de un sin número de productos, como botones, elementos sanitarios, barcos, juegos infantiles, piscinas, carrocerías de automóviles y de vehículos de transporte masivo, autopartes, etc. La tendencia en el mundo es sustituir los derivados del petróleo por alternativas más amigables con el medio ambiente.

La nueva formulación de resinas Ecoline, en la cual algunos derivados del petróleo se han reemplazado con materias primas de origen reciclado, como las botellas de PET, y de origen renovable como lo son los derivados del maíz y la palma.

6.9 LA CASCARILLA DE ARROZ COMO SUSTITUTO DE LA MADERA

Figura 15. Probeta hecha con cascarilla de arroz y resina poliéster.



Fuente: <http://www.itzacatepec.edu.mx>

La madera siempre ha sido un material fundamental en la construcción de estructura para cubiertas de las viviendas en el mundo entero, aunque por muchos años se ha tratado de sustituir a la madera por madera plástica, por medio de materiales compuestos, entre ellos ha sido estudiada la cascarilla de arroz molida, y se ha llegado a la conclusión de que puede ser un excelente sustituto de la madera, siendo utilizada la cascarilla de arroz molida o tamo, como un material combinado con resinas de tipo poliéster.

La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria molinera de arroz, y que es utilizado también como sustrato hidropónico crudo o parcialmente carbonizado en el cultivo de flores, como material de compostaje de los residuos orgánicos de la industria avícola de la región.

Posee excelentes propiedades fisicoquímicas, ya que es un sustrato orgánico de baja tasa de descomposición y además de baja densidad.

El tamo posee alto volumen y buen drenaje, ya que tiene baja capacidad de retención de humedad.

La pérdida de masa es muy baja, ya que a una temperatura entre 55° y 150° solo pierde el 6% de su masa total, debido a un alto porcentaje de material orgánico, compuesto principalmente por un 82% de compuestos de carbón, 17% de sílice lo que disminuye la degradación y explica su alta dureza y tan solo el 1% de dióxido de silicio.

Por cada tonelada de arroz, el 20% corresponde a cascarilla de arroz, lo cual expresa la enorme cantidad de materia prima que podría ser utilizada en la fabricación de madera plástica a partir de cascarilla de arroz o tamo.

El valor de 1 kilogramo de cascarilla de arroz en el mercado local equivale a 166 pesos, y se puede conseguir en las arroceras prensado pesando 60 kilogramos.

Desde el año 1994 a la fecha, en el departamento de Ingeniería Química y Bioquímica del Instituto Tecnológico de Zacatepec (ITZ) funciona un grupo de investigación en materiales compuestos, donde nace el proyecto Material Compuesto Celulósico de Cascarilla de Arroz (MACOCEL-CA) en el cual se utiliza la cascarilla de arroz como carga reforzante inmersa en una matriz polimérica.

El las pruebas realizadas en sus laboratorios, se ha encontrado como resultado que la cascarilla de arroz molida tiene un carácter hidrofóbico, quiere decir que se vuelve incompatible con el agua, siendo un material totalmente impermeable.

Mediante la adición de polvo cerámico, el tamo adquiere la propiedad ignífuga, que busca repeler el fuego. Como base de material compuesto o aglomerado, han

probado que tiene una excelente resistencia mecánica a diversos esfuerzos de tracción, flexión y compresión.

El aglomerado se obtiene mediante la molienda de la cascarilla de arroz, obteniendo una óptima granulometría, luego es tamizado por medio de una coladera de diámetro de orificio controlado.

Luego se somete a un proceso físico químico, los componentes se mezclan en una batidora industrial, en la cual se adicionan la cascarilla de arroz molida con la matriz polimérica para compatibilizarlas y hacer una mezcla homogénea, ya que si no se hace compatible el aglomerado se vuelve quebradizo.

7. ESTADO DEL ARTE

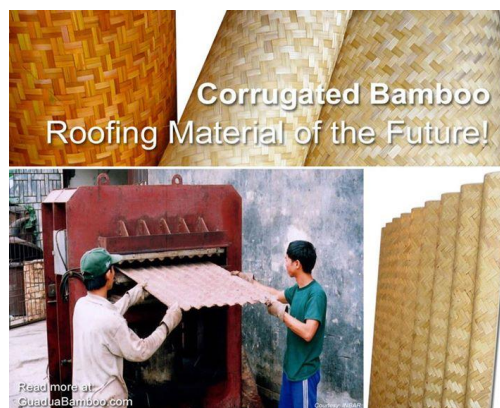
He aquí algunas de las alternativas de cubiertas ecológicas en el mercado, desarrolladas a base de materiales reciclados y fibras naturales.

- **Cubiertas en Bambú**

La empresa Guadua Bamboo, ubicada en Costa Rica, ha desarrollado una cubierta ecológica basándose en el tejido de fibras de bambú, utilizando un material de refuerzo que ellos mismos han desarrollado y caracterizado.

Para la fabricación del material son usadas hojas de bambú para techos corrugados (CBRS) son una excelente alternativa para reemplazar las cubiertas de metal, plásticas o láminas de asbesto para techos corrugados. Se producen a partir de un recurso natural y sostenible, y se pueden utilizar para cubrir casas, instalaciones de almacenamiento, corrales de animales y muchas otras estructuras temporales o permanentes.

Figura 16. Alternativa de cubierta ecológica a base de bambú corrugado



Fuente: <http://www.guaduabamboo.com/corrugated-bamboo-roofing-sheets.html>

- **Cubierta ecológica Techoline**

Onduline es un grupo de carácter Multinacional con 12 plantas de producción y 40 filiales establecidas por todo el mundo. Distribuimos nuestros productos en más de 100 países.

Las cubiertas son fabricadas con fibras vegetales, resinas termofijas y bañadas con una emulsión de bitumen asfáltico, y su proceso de fabricación es por moldeo y prensado.

Las tejas Techoline cuentan con una garantía mínima de 15 años de impermeabilidad. La vida útil de estas tejas varía según su uso, sin embargo, existen tejas Techoline instaladas hace más de 30 años sin presentar necesidad de reposición.

En nuestra ciudad encontramos está cubierta a la venta en Homecenter, y cuenta con un respaldo técnico para instalación y asesoría gratuita.

FIGURA 17. Cubierta Techoline dispuesta sobre las correas



Fuente: <http://onduline.com.co/>

- **Cubierta Polibambú**

Los sistemas arquitectónicos Arkos, en su catálogo de cubiertas de policarbonato, han presentado una cubierta compuesta por bambú y policarbonato acanalado, resistente al impacto, resistente a la intemperie, amigable con el medio ambiente y traslúcida.

Figura 18. Panel Polibambú, propuesta por Arkosistemas



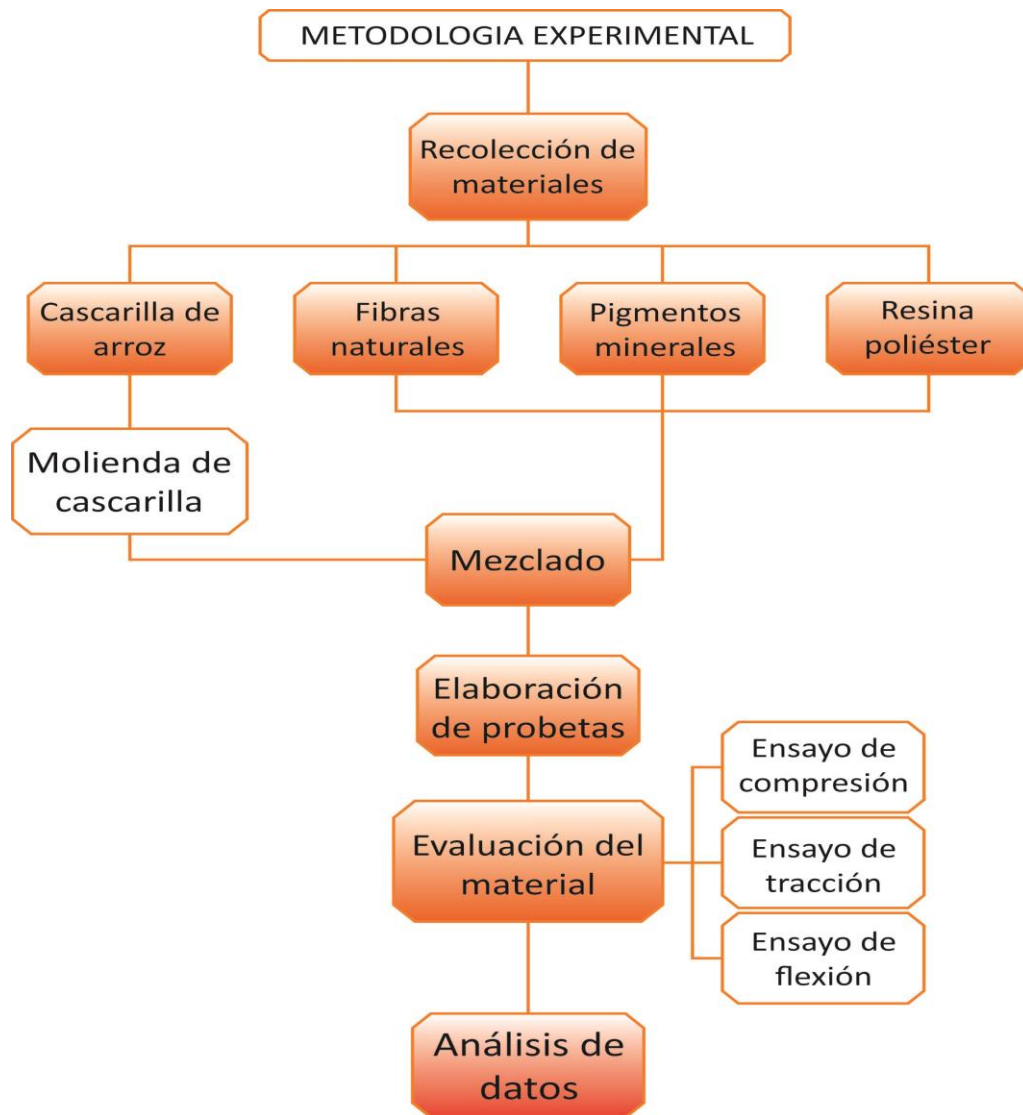
Fuente: <http://www.arkos.com.co/sistemas/>

Arkos es una empresa nacional, fundada en la ciudad de Bogotá, y se dedica al desarrollo, suministro e instalación de modernos sistemas arquitectónicos de cubierta, fachadas, divisiones y cerramientos en policarbonato y diversos polímeros, en su mayoría productos italianos Dot Gallina.

Este tipo de cubiertas son fabricadas por extrusión de policarbonato, en las cuales luego se incorpora a su estructura el bambú.

8. METODOLOGIA EXPERIMENTAL DEL PROYECTO

Figura 19. Metodología utilizada en el proceso de investigación.



8.1 RECOLECCION DE MATERIALES

En el proceso de obtención del material base para la fabricación del sistema de cubiertas fue necesario recolectar cascarilla de arroz, la cual es el resultante del proceso de descascarillado del arroz palay, en las arroceras de la región.

La cascarilla de arroz es prensada y vendida al por mayor y detal, con un peso por bulto de 60 kilogramos. La cascarilla utilizada en el proyecto fue adquirida en la arrocera japonesa, ubicada en el barrio Comuneros de la ciudad de Bucaramanga.

Figura 20 y figura 21. Cascarilla de arroz y molino de aspas

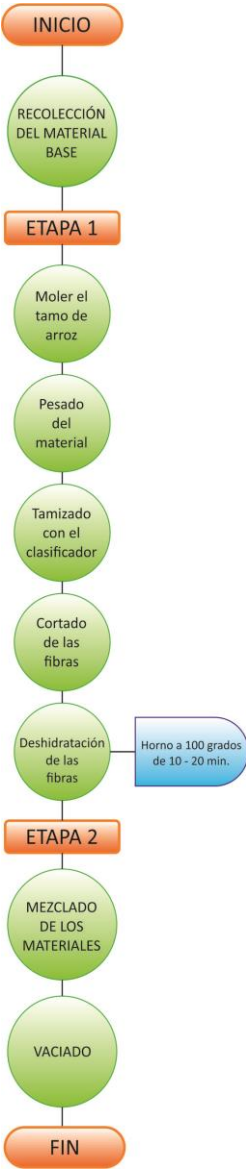


Luego la cascarilla de arroz es llevada al laboratorio de beneficio de minerales UIS, para ser molida y clasificada, obteniendo dos tipos de granulometrías para la fabricación de las probetas de los ensayos no destructivos.

Las fibras de fique y de estropajo son obtenidas en las plazas de mercado y punto de artesanías, y luego cortadas en tramos entre 2 y 5 cm de largo aproximadamente, para luego ser mezcladas junto con la cascarilla de arroz y la resina poliéster.

8.2 OBTENCION DEL MATERIAL BASE PARA LAS CUBIERTAS

Figura 22. Obtención del material base



La cascarilla de arroz es molida y después clasificada, pasando por dos tamices de rejillas número 35 y número 50, puestos en el clasificador durante 4 minutos (2 minutos por tamiz), con una cantidad de 40 gr de cascarilla por turno.

Figura 23. Tamices y clasificador de muestras.



La naturaleza de la resina poliéster utilizada en el proyecto, es resina insaturada basada en ácido ftálico y glicoles estándar disueltos en estireno monómero. Esta resina es de referencia palatal 5346B, de reactividad media, preacelerada y contiene un agente tixotrópico.

La resina palatal es recomendada para trabajos laminados manuales y moldeo por aspersión tipo spray – up, con una rápida impregnación de laminados manuales y sin escurrimientos en laminados inclinados. Se recomienda para laminados de espesores menores a 5 mm.

La temperatura máxima de esta resina al ser catalizada al 1% es de 130 grados centígrados, con un tiempo de gelado de 15 minutos y de curado de 45 hasta 60 minutos a temperatura promedio de 25 grados centígrados, temperatura ideal para que la reactividad de la resina sea óptima.

Las probetas se realizaron mediante mezclado del tamo de arroz y la resina poliéster, en proporciones de peso de 2 partes de resina a 1 parte de cascarilla,

aunque el volumen observado es mucho mayor del tamo de arroz que el volumen de la resina poliéster.

Figura 24 – 25 y 26: Moldes para vaciado del material y mezclado del tamo y la resina poliéster



8.3 PREPARACION DE PROBETAS

Para la preparación de las probetas de las pruebas fisicomecánicas se tuvo en cuenta la norma NTC 718: Acondicionamiento de plásticos para ensayos, equivalente de la norma ASTM D610, la cual sugiere una temperatura ambiente entre 23 y 30 grados centígrados, con el propósito de llevar un material al equilibrio con condiciones ambientales normales o promedio.

La notación fue la siguiente: 72/23/65, lo que significa 72 horas de acondicionamiento a 23 grados centígrados promedio y una humedad relativa del 65%, según datos del IDEAM. El ensayo debe hacerse a una temperatura ambiente entre 23 y 30 grados centígrados.

Se aseguró la circulación de aire por todas las caras de las probetas, facilitando el acondicionamiento de las probetas.

Las pruebas se realizaron en el GIMAT, de la escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UIS en la máquina de ensayos tinius olsen.

Figura 27: Máquina de ensayos no destructivos GIMAT – UIS.



Las probetas se elaboraron con una cantidad de resina poliéster del 66% y 33% de cascarilla de arroz molida o tamizada según el tipo de probeta, correspondiendo estas cantidades al peso del material.

Los porcentajes se seleccionaron después de realizar ensayos a prueba y error, consiguiendo un equilibrio entre el vaciado del material y la consistencia entre la resina y la cascarilla.

A pesar que es mayor el peso de la resina, el volumen de la cascarilla de arroz es el doble del volumen de la resina poliéster.

Los ensayos se realizaron con dos granulometrías distintas, y son las siguientes:

- Tamo molido y retenido en el tamiz no. 35.
- Tamo clasificado pasante 35 y retenido en tamiz no. 50.

8.3.1 Probetas de tracción. Para la elaboración de las probetas de los ensayos de tracción se ha tenido en cuenta la norma ASTM D638, teniendo en cuenta que para plásticos reforzados se tiene en cuenta la probeta tipo IV, con la cual se puede comprobar la rigidez entre los polímeros y los materiales de refuerzo.

Figura 28: Medidas de la probeta para ensayo de tracción

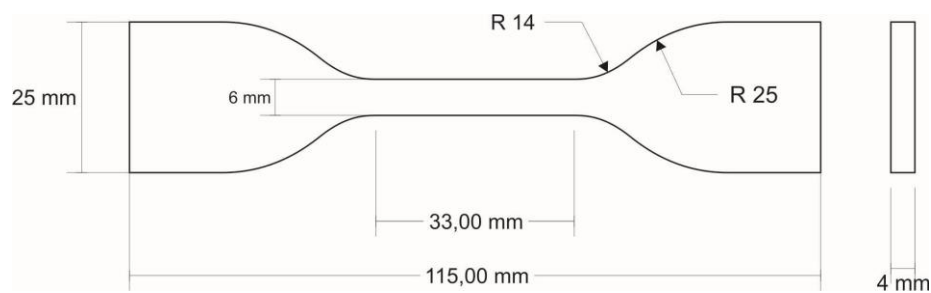


Figura 29: Probetas de tracción de tamo y resina poliéster.



8.3.2 Probetas de Flexión. Para la fabricación de las probetas de flexión se tuvo en cuenta la norma ASTM D790 (Método estándar para propiedades de flexión de plásticos sin refuerzo y reforzados y materiales aislantes eléctricos), la cual

sugiere unas medidas de 127 mm de largo, 12,7mm de ancho y un espesor de 3,2 mm.

Figura 30: Medidas para probeta de flexión.

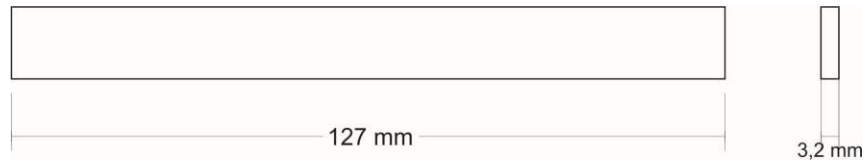


Figura 31: Material para la obtención de probetas de flexión y tracción y probetas de flexión.



8.3.3 Probetas de Compresión. Las probetas para el ensayo de compresión fueron fabricadas según la norma ASTM D695 (Método estándar para propiedades a compresión de plásticos rígidos), y se fabricaron cilindros de 16 mm de diámetro por 32 mm de longitud, ya que los moldes tenían ese diámetro interior.

Figura 32: Medidas probeta de ensayo a compresión.

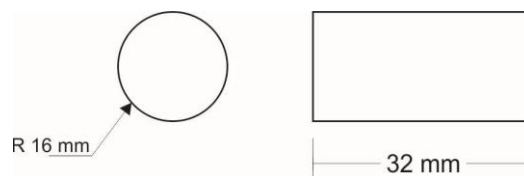


Figura 33: Probetas para ensayos de compresión.



8.4 CARACTERIZACION MECANICA

Los ensayos no destructivos se realizaron en el laboratorio GIMAT de la escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UIS, en la máquina universal de ensayos tinius olsen, con una capacidad de 25000 N. ideal para los ensayos a tracción, flexión y compresión.

8.4.1 Ensayos de tracción: En este ensayo la probeta se somete a un esfuerzo de alargamiento desde sus extremos hasta la rotura cerca del centro de la probeta, y se determina el valor de la carga hasta que la probeta se deforme completamente. Los datos se tabulan y se hace los respectivos gráficos de cada una de las probetas ensayadas.

Se busca identificar mediante este tipo de ensayos no destructivos las ventajas y desventajas que el material ofrece, y según los datos arrojados poder seleccionar la mejor combinación de polímero y carga.

Gráfico 1. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de tracción probeta tamo molido (66% resina poliéster y 33% tamo).

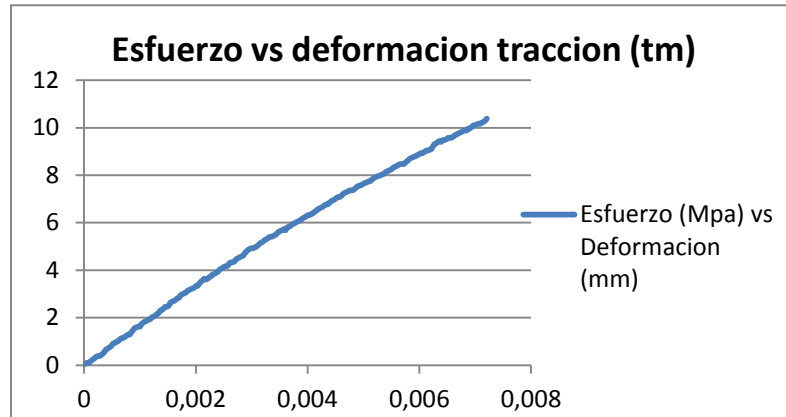
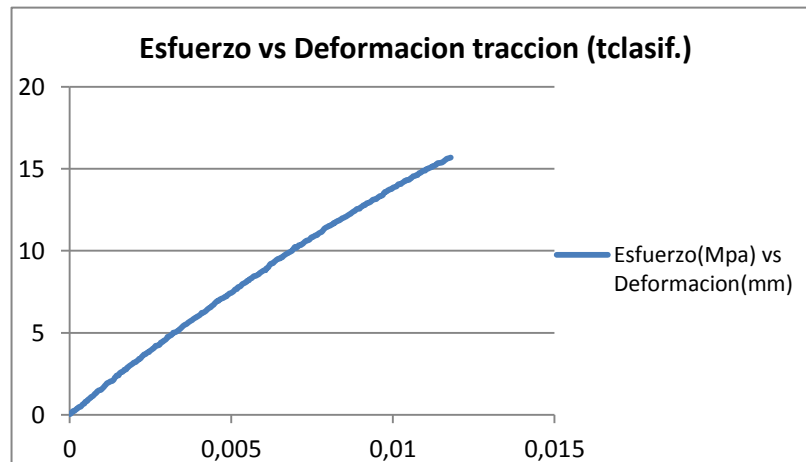


Gráfico 2. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de tracción probeta tamo clasificado (66% resina poliéster y 33% tamo)



Con los anteriores datos obtenidos en el laboratorio Gimat de la escuela de ingeniería metalúrgica, se calcularon los siguientes resultados:

Tabla 3: Datos de la prueba de Tracción.

MATERIAL	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Deformación unitaria (mm)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Delta L	Longitud natural
Tamo molido	249,1666718	10,38194466	0,00721212	1439,51333	0,238	33
Tamo clasificado	376,6666565	15,69444402	0,01178788	1331,40528	0,389	33

Según los resultados anteriores, el tamo clasificado tiene una mayor resistencia a la tracción.

8.4.2 Ensayos de flexión. En este ensayo la probeta está apoyada en dos extremos, con una distancia entre apoyos de 70 mm y la carga aplicada en su centro. La longitud de la probeta es de 120 mm y el ancho de 12 mm, espesor h de 3 mm.

Gráfico 3. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de flexión probeta tamo molido (66% resina poliéster y 33% tamo)

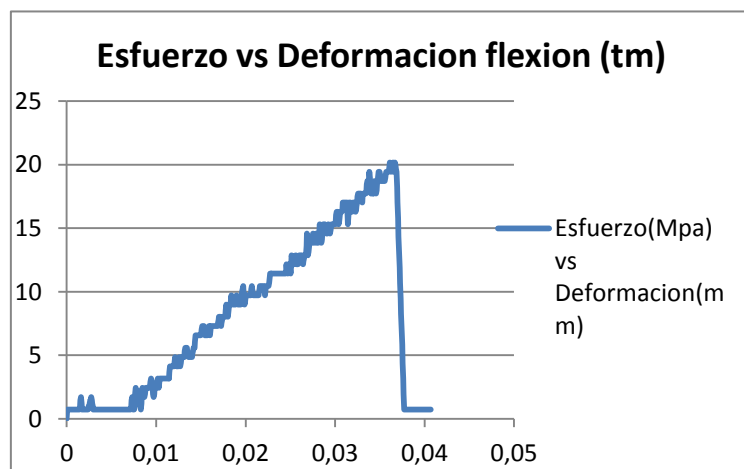
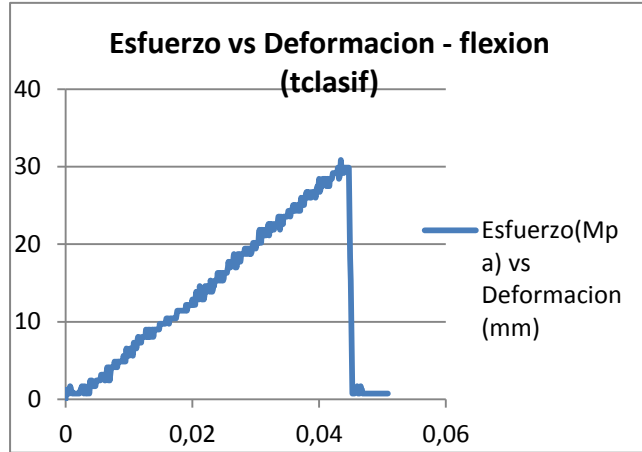


Gráfico 4. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de flexión probeta tamo clasificado (66% resina poliéster y 33% tamo)



Como se ha podido observar en las pruebas de flexión, el material compuesto por la cascarilla de arroz y la resina poliéster tienen una resistencia baja, por lo que se consideró reforzar el material con fibra de fique, ya que es una fibra natural y conservando el concepto inicial de trabajar con materia prima natural. Estas probetas tienen una longitud de 120 mm y de ancho 12 mm, distancia entre apoyos de 70 mm y un espesor h de 4mm.

Gráfico 5. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de flexión probeta tamo molido (74,5% resina poliéster, 25% tamo y 0,5% fique)

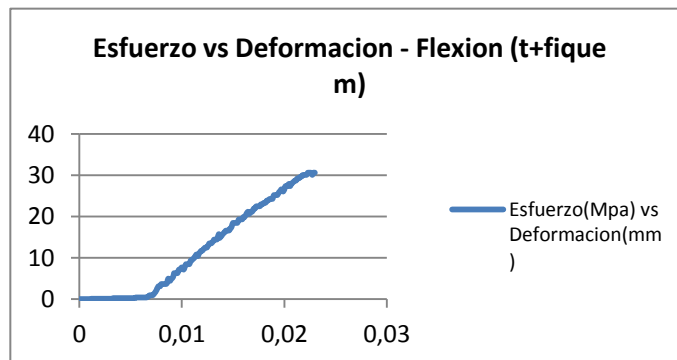
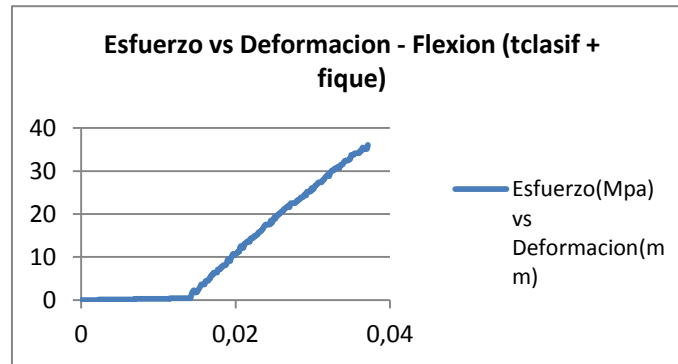


Gráfico 6. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de flexión probeta tamo clasificado (74,5% resina poliéster, 25% tamo y 0,5% fique)



Con los anteriores resultados, se calcularon los siguientes datos:

Tabla 4: Datos de la prueba de Flexión.

MATERIAL	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Deformación unitaria (mm)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Delta L	Longitud
Tamo molido	20,75	20,1736065	0,03645714	553,351275	2,552	70
Tamo clasificado	31,75	30,8680485	0,04468571	690,781137	3,128	70
T. molido + fique	56,75	30,6362038	0,02297143	1333,66559	1,608	70
T. clasif. + fique	66,75	36,0346538	0,03714286	970,163755	2,6	70

Se puede observar que las fibras de fique hacen más resistente el material a flexión y mejoran el módulo de elasticidad, y aunque el tamo clasificado + fique tiende a ser más resistente a la flexión (36,034 Mpa), el tamo molido + fique tiene un mejor módulo de elasticidad (1333,665 Mpa).

8.4.3 Ensayos de compresión. En este ensayo las probetas son sometidas a una carga axial, hasta su rotura.

Gráfico 7. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de compresión probeta tamo molido (66% resina poliéster, 33% tamo)

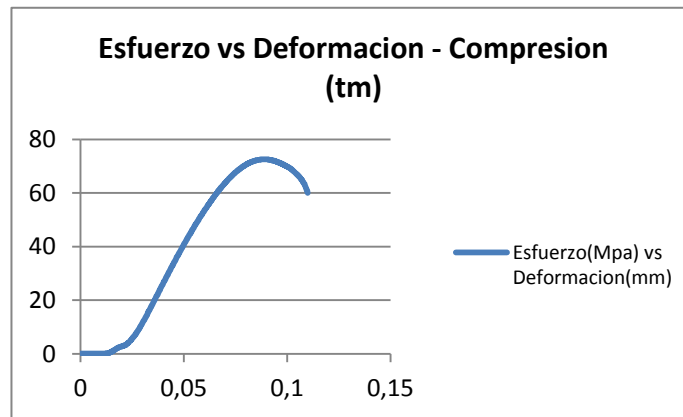
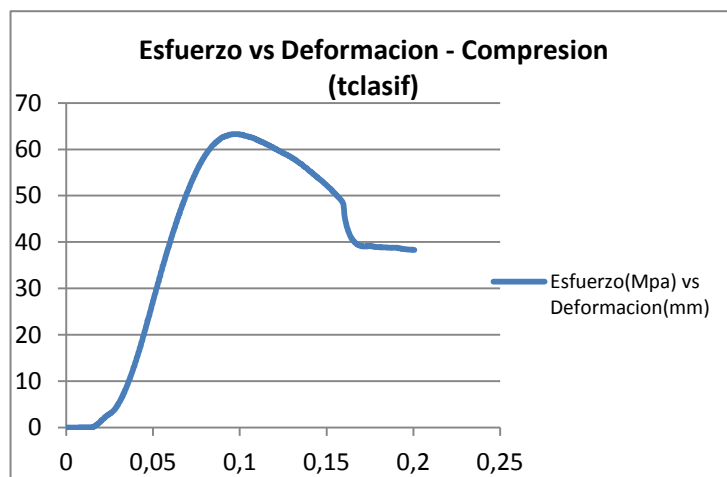


Gráfico 8. Diagrama esfuerzo – deformación prueba de compresión probeta tamo molido (66% resina poliéster, 33% tamo)



Con los anteriores resultados, se calcularon los datos:

Tabla 5: Datos de la prueba de Compresión.

Material	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo (Mpa)
Tamo molido	14580	72,51566697
Tamo Clasificado	12720	63,26469711

El tamo molido se comporta mejor a compresión, lo que indica que es un material que puede ser utilizado también en la fabricación de mesones de cocina, pisos y aglomerados.

8.5 MATERIALES

8.5.1 Resina poliéster. Las resinas de tipo poliéster son líquidas a temperatura ambiente, y se pueden volver sólidas mediante un catalizador. Estas resinas se consideran como plásticos termoestables, ya que después de ser modificadas por el agente catalizador, no pueden volver a su origen, a diferencia de los materiales termoplásticos.

Este tipo de resinas son ideales para ser materia prima para la fabricación de materiales compuestos, ya que al ser mezclados entre sí sus propiedades originales cambian, como es el caso del copolímero de resina poliéster y fibra de vidrio, o en el caso de este proyecto de grado, entre resina poliéster y cascarilla de arroz y fibras naturales.

En el mercado se encuentran resinas de tipo vynilester, poliéster y epòxicas. Entre las resinas poliéster se encuentran las resinas ortoftàlicas y las isoftàlicas, con diferentes propiedades para el uso industrial.

Las resinas ortoftàlicas son ideales para fabricación de cubiertas, en la fabricación de objetos sanitarios, tales como lavamanos, lavaderos y piletas para el almacenamiento de agua, entre otros, y las resinas isoftàlicas se utilizan en la fabricación de mármol plástico, aglomerados y laminados, mesones de cocina, por su buena resistencia mecánica.

El proceso de transformación del material de estado líquido a solido se conoce como proceso de polimerización, en el cual hay desprendimiento de calor, y ocurre a medida que pasa los minutos, pasando de un estado líquido, a un estado gelatinoso o más conocido como tiempo de gelado. La etapa de curado del material se conoce como el tiempo en el cual el material compuesto ha alcanzado el total acomodamiento de sus estructuras poliméricas, y puede ser mecanizado.

Las resinas poliéster de tipo ecológicas, ya vienen preaceleradas, al igual de las de tipo palatal, y utilizan como catalizador mek (metil-etil-cetona) peróxido, del 1% al 5% como máximo según el peso de la resina utilizada.

En la fabricación del sistema de cubiertas, se ha tenido en cuenta dos marcas de resina poliéster, la primera es la resina ecoline producida por la empresa Andercol s.a. y la resina palatal 5346B de GMP químicos.

La resina ecoline es una resina fabricada con el reciclaje de PET y materias primas de la industria oleoquímica y de extracción de palma africana. Cuenta con buenas propiedades mecánicas, alta aceptación de cargas tales como carbonato de calcio, cuarzo, arena, poliéster molido y para este caso en particular cascarilla de arroz molido y clasificado.

Tabla 6: Especificaciones de la resina ecoline 2836

Propiedad	Unidad	Valor min.	Valor máx.	Método
Apariencia		parda turbia		ASTM D2090
Viscosidad brookfield	cps a 25°C	1200	1800	ASTM D2196
		350	550	
Tiempo de gelado	min. A 25°C	9	12	ASTM D2471
Tiempo de Max. Exotermia	min. A 25°C	15	30	ASTM D2471
Temp. De máx. Exotermia	°C	150	180	ASTM D2471
Estabilidad	meses		6	
Esfuerzo a tensión	Mpa	50		ASTM D638
Modulo	Gpa	3,58		ASTM D638
Deformación	%	2,4		ASTM D638
Esfuerzo a flexión	Mpa	94		ASTM D790
Modulo	Gpa	3,2		ASTM D790
Deformación	%	4,4		ASTM D790
Absorción de agua (24h a 23°C)	%	0,18		ASTM D570

Fuente: Andercol S.A.

La resina palatal 5346B es una resina poliéster insaturada, la cual permite trabajar en laminados, con poco escurrimiento y permitiendo una alta y rápida impregnación del material en fibras de vidrio y otros materiales usados como carga. La cascarilla de arroz tiene un eficiente desempeño con esta resina.

Los siguientes son algunos factores a tener en cuenta en el proceso de curado:

- La temperatura ambiente para el proceso de curado debe ser mayor a 16°C.

- La cantidad de catalizador, entre menor sea la cantidad de catalizador, mejor será el resultado final del material compuesto.
- La cantidad de las cargas, ya que a mayor sea la cantidad de cascarilla de arroz que la cantidad de resina el tiempo de curado será menor.
- La excesiva exposición al sol, lo que calienta desmesuradamente el material, disminuyendo sus propiedades mecánicas.
- La temperatura ambiente no debe ser mayor a 27°C.

Los fabricantes de resina poliéster sugieren que el uso excesivo de catalizador genera fracturas en las cadenas del polímero, lo que produce deficientes acabados finales de los elementos fabricados con este material.

También se recomienda mantener alejada del fuego las resinas, ya que son consideradas como altamente inflamables por tener un punto de inflamación de 31°C en crisol cerrado.

8.5.2 Cascarilla de arroz. La cascarilla de arroz o también conocida como tamo de arroz, es un material orgánico que sirve para aumentar las propiedades mecánicas de materiales como la resina poliéster, y también posee una gran resistencia al cloruro, esta última es una sustancia común en ambientes marinos. La inadecuada disposición de este material genera un gran impacto ambiental, ya que por su alto contenido de sílice y su disposición fisicoquímica, no biodegrada fácilmente. Esta desventaja se puede potencializar creando materiales que puedan ser usados en la industria de la construcción.

Es de fácil obtención, y se puede conseguir en las arroceras de la región, la cual se vende por bultos de 60 kg a un precio que oscila entre los \$10000 y \$12000 pesos.

8.5.3 Fibras naturales. Existe una gran variedad de fibras naturales, y algunas de ellas, como las fibras de fique y las fibras de estropajo, las cuales se producen en nuestro país.

Fibras de fique

Figura 34: Fibras de Fique



Fuente: <http://www.semana.com/especiales>

El fique (*Angiopermae furcraea bedinghausii*), también conocida como cabuya pertenece a la familia de las plantas agaváceas. Crece en el trópico principalmente, y en Colombia se produce en los departamentos de Santander, Antioquia, Cauca y Nariño, a una temperatura entre los 18 y 24°C, a una altura entre 1300 y 1900 metros sobre el nivel del mar y una humedad que va desde el 50% y el 75%.¹⁷

La planta de fique produce fibras resistentes, duras y largas, además de bagazos que son utilizados como material de refuerzo en la industria de la construcción, aislantes térmicos gracias a sus características fibrosas, ofreciéndose como una gran alternativa de material de carga para ser mezcladas con resina poliéster y tamo de arroz.

¹⁷ BOLETIN DEL FIQUE. Fibras naturales. Consultado: 08/08/2014. Disponible en: <http://www.fao.org.co>

Esta fibra también ha sido aplicada en la fabricación de empaques para contener diversos productos del campo, moda en fique, bolsos, etc.

Tabla 7: Propiedades mecánicas de las fibras de fique

Propiedades	Promedio	Mínimo	Máximo
Resistencia a la tensión (Mpa)	305,15	200	625,2
Módulo de elasticidad (Gpa)	7,52	5,5	25,5
% de elongación a la fractura	4,96	3,2	5,7

Fuente: PINZON GALVIS, Sandra. Análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto modificado con fibra de fique. Universidad Piloto de Colombia.

P. 29

Tabla 8: Composición química de las fibras de fique

Cenizas	2,60%
Fibras	1,58%
Pentosas	17,65%
Lignina	12,00%
Celulosa	62,70%

Fuente: PINZON GALVIS, Sandra. Análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto modificado con fibra de fique. Universidad Piloto de Colombia.

P. 29

Se recomienda que las fibras de fique sean cortadas de 2 a 5 cm de largo, para que se acomoden mejor a los moldes de la cubierta y evitar que se adhieran entre sí. También se sugiere su uso en un 0,3% como máximo del peso total del

material de carga, con el fin de aumentar la resistencia a la flexión y evitar fisuras y la resistencia al impacto¹⁸.

Fibras de estropajo

El estropajo (*Luffa cylindrica*), es una planta de la familia de las plantas cucurbitáceas, se da principalmente en el Valle del Cauca. Sus fibras tiene múltiples usos, que van desde los medicinales, como exfoliante natural, y el refuerzo de polímeros para la industria de la construcción.¹⁹

Figura 35: El estropajo.



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

Mediante la determinación del poder calorífico de las fibras de estropajo, se puede notar que al aumentar la temperatura, las fibras se mantienen estables al quemarse y solo a una temperatura de ignición de 120°C puede observarse un cambio físico en su estructura.

¹⁸ PINZON GALVIS, Sandra. Análisis de la resistencia a compresión y flexión del concreto modificado con fibra de fique. Universidad Piloto de Colombia. P. 36

¹⁹ EL ESTROPAJO. Usos generales. Consultado: 08/08/2014. Disponible en: <http://www.elestropajo.com>

Tabla 9: Temperatura quemado de fibras de estropajo impregnada con diferentes soluciones

MUESTRA	TEMPERATURA °C
Fibra pura	120 - 130
Na ₂ B ₄ O ₇	150 - 155
Al(OH) ₃	160 - 172
MgCO ₃	174 - 180

Fuente: NAVARRETE, Luisa Fernanda. Caracterización preliminar del estropajo como posible materia prima para la construcción. P. 1-6.

Al observar la anterior tabla, el carbonato de magnesio (MgCO₃) se obtiene mejores resultados con respecto a la temperatura de quemado de la fibra, lo que significa poderla aplicar a materiales que requieren temperaturas medianamente altas sin combustión o generación de flamas.

Tabla 10: Porcentajes de lignina y celulosa de diversos materiales lignocelulósicos.

MATERIAL	% LIGNINA	%CELULOSA
Estropajo	17,4	54,4
Cascarilla de arroz	15,8	36,8
Bagazo de caña	12,86	52,2
Residuos de piña	4,7	19,4
Madera dura	26	45

Fuente: Propiedades químicas de la *Luffa cylindrica*²⁰

²⁰ VANEGAS CIFUENTES, Bernay; PATAQUIVA CHAUTA, Laura Cristina. LOPEZ VASQUEZ, ANDRES, DIR.; UNIVERSIDAD DE LA SABANA, DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA; TESIS (PREGRADO); Pretratamiento fotocatalítico para la obtención de alcohol celulósico a partir de *Luffa cylindrica*. Universidad de la Sabana, Chía. P. 33-36.

9. ETAPA DE DISEÑO

Luego de analizar las propiedades fisicomecánicas del polímero compuesto, su resistencia a las condiciones climáticas y atmosféricas, el comportamiento de la cascarilla de arroz y la resina poliéster a los ataques bióticos, la tecnología presente en la región para la fabricación de moldes y de un proceso sostenible de producción industrial del sistema de cubiertas, se propone el diseño de un sistema de cubierta ecológica para vivienda rural, que cumpla con los requerimientos del mercado, el desarrollo estético formal y que sea un producto con posible competitividad en la región y en el país, ofreciéndose como una posibilidad en los programas de construcción de vivienda rural del gobierno nacional, y por qué no, de los programas de vivienda particular.

Aunque en el mercado de cubiertas a nivel mundial existen diferentes tipos de soluciones al tema de techado de una vivienda, son pocas las soluciones que integran materiales reciclables y/o reutilizables. En algunos casos se utiliza las fibras de bambú entretejidas y prensadas como una solución viable de cubierta, siendo más amigables con el ecosistema, en otros casos se utiliza el tetrapak y el polietileno de alta densidad como opción de cubiertas, son pocos los casos en los cuales se integra un polímero y la cascarilla de arroz, ya que este último material ha generado grandes problemas de compostaje a las potencias productoras de arroz en el mundo, de aquí nace la imperiosa necesidad de darle aplicación a este tipo de materia orgánica, y que mejor que sea en la industria de la construcción.

Este tipo de cubierta busca mejorar el confort térmico en las viviendas, y que técnicamente y formalmente sea una alternativa ideal para el hogar en nuestro país, y una posibilidad en el mercado a nivel internacional, como ha sido el caso de las cubiertas de tetrapak y las de bambú.

La fabricación de este sistema de cubierta debe ser amigable con el ecosistema, ya que lo que se busca es reducir el impacto ambiental de algunos procesos de

elaboración de cubiertas, y asimismo mejorar el ciclo de vida del producto, ya que a futuro los entes ambientales mundiales harán que todos los productos elaborados o que contengan algún polímero, deberán incluir en su fabricación un porcentaje de reciclaje del mismo producto, o fabricar nuevos productos incluyendo el reciclaje de sus materias primas.

9.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Los elementos que conforman el sistema de cubierta son los siguientes:

- Tejas.
- Caballete o teja cumbre.
- Limatesa
- Limahoya
- Teja con claraboya o lucernario
- Remate contra muro.

Cada uno de los elementos debe cumplir con los requerimientos de uso, de función, estructurales, formal estéticos, técnico productivos y de mercado.

Los requerimientos de diseño se aplican a todos los elementos del sistema de cubierta ecológica, y el concepto de diseño escogido (origami) se aplicará a todos los elementos del sistema.

9.1.1 Requerimientos del sistema de cubiertas

Tabla 11: Requerimientos de diseño para los elementos del sistema de cubiertas.

Requerimientos de uso	Factores a tener en cuenta
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Debe ser durable. ▪ De fácil manejo para un operario. ▪ Debe brindar seguridad al usuario. ▪ De fácil transporte. ▪ Debe permitir fácilmente su limpieza. ▪ Debe ser estable estructuralmente. ▪ El traslapo debe garantizar la estabilidad ▪ De fácil instalación. ▪ Debe ser liviano. ▪ Su lenguaje semiótico debe ser fácil de interpretar ▪ Debe garantizar la estanqueidad a las condiciones ambientales, de radiación solar, a los vientos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ De material y fijaciones resistentes al medio ambiente ▪ Sin filos o bordes cortantes. ▪ De fácil fabricación. ▪ Traslapos y fijaciones seguras. ▪ Hecha con materiales ligeros. ▪ Su forma permita leer su uso y función. ▪ Su tamaño y forma permita su transporte.
Requerimientos de función	Factores a tener en cuenta
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las fijaciones deben ser de fácil instalación. ▪ Debe garantizar la durabilidad. ▪ Resistente a la intemperie y condiciones ambientales ▪ Resistente a esfuerzos de flexión y compresión. ▪ Debe permitir el deslizamiento del agua lluvia. ▪ Debe garantizar confort térmico. ▪ Debe permitir la estanqueidad al aire. ▪ la forma de la cubierta no debe variar, para garantizar su instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sujeciones y pines ▪ Materiales resistentes a variaciones del clima ▪ Buenos acabados superficiales ▪ Acabados que garanticen la estanqueidad a las diferentes condiciones propuestas.
Requerimientos estructurales	Factores a tener en cuenta

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Los traslajos y uniones de los elementos deben ser seguras y fuertes. ▪ Se debe garantizar la estabilidad estructural. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uniones a presión y tornillería. ▪ Su forma debe integrar un sistema que lo haga agradable al usuario
Requerimientos formal estéticos	Factores a tener en cuenta
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Debe evidenciarse evolución en cuanto al entorno de productos similares dispuestos en el mercado ▪ Coherencia formal de todo el sistema de cubierta. ▪ Sus formas y acabados deben tener en cuenta la simplicidad formal. ▪ Su forma debe comunicar su uso y su función. ▪ La cubierta debe generar textura y su color y forma debe hacerla notar de su entorno, de manera equilibrada. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Formas de fácil comprensión al usuario. ▪ Sencillo lenguaje formal. ▪ Contraste de luces y sombras. ▪ Equilibrio formal y semiótica del producto. ▪ Que sus componentes mimeticen los traslajos.
Requerimientos técnico productivos	Factores a tener en cuenta
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnología de fabricación de la región. ▪ Con posibilidad de ser manufacturado o producida en serie. ▪ De fácil producción. ▪ Facilidad de encontrar las materias primas. ▪ Que sus moldes permitan la producción con diversos materiales y procesos. ▪ Apilable para embalaje 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseño adaptable a los procesos de producción existentes en la región. ▪ Posibilidad de mejoramiento continuo de materiales y procesos. ▪ Cantidad de cubiertas a producir. ▪ Posibilidad de adaptar y/o apropiar tecnología externa.
Req. Económicos o de mercado	Factores a tener en cuenta
<ul style="list-style-type: none"> ▪ El precio de los elementos debe ser similar a los productos de la competencia ▪ Se debe tener en cuenta el tipo de usuarios al cual va dirigido el producto 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analizar el mercado ▪ Calcular los costos de producción, publicidad, valor del producto y redes de distribución.

9.1.2 Requerimientos del elemento de fijación del sistema de cubiertas a la estructura de soporte de cubiertas.

Tabla 12: Requerimientos de diseño para los elementos de fijación del sistema de cubiertas a la estructura de soporte de la cubierta.

Requerimientos de uso	Factores a tener en cuenta
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Debe ser durable. ▪ De fácil manejo para un operario. ▪ Debe brindar seguridad al usuario y al sistema de cubiertas. ▪ De fácil transporte. ▪ Debe garantizar la estabilidad estructural. ▪ De fácil instalación. ▪ Su lenguaje semiótico debe ser fácil de interpretar. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ De material resistente al medio ambiente. ▪ Sin filos o bordes cortantes. ▪ De fácil fabricación. ▪ Hechos con materiales ligeros. ▪ Su forma permita leer su uso y función. ▪ Su tamaño y forma permita su transporte.
Requerimientos de función	Factores a tener en cuenta
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las fijaciones deben ser de fácil instalación. ▪ Debe garantizar la durabilidad del sistema. ▪ Resistente a la intemperie y condiciones ambientales ▪ Resistente a esfuerzos de compresión y cortantes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sujeciones y pines ▪ Materiales resistentes a variaciones del clima
Requerimientos estructurales	Factores a tener en cuenta
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las uniones de los elementos de fijación deben ser seguras y fuertes. ▪ Se debe garantizar la estabilidad estructural. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uniones a presión y tornillería ▪ Material plástico del sistema hembra de fijación.
Requerimientos formal estéticos	Factores a tener en cuenta

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Debe evidenciarse evolución en cuanto al entorno de productos similares dispuestos en el mercado. ▪ Sus formas y acabados deben tener en cuenta la simplicidad formal. ▪ Su forma debe comunicar su uso y su función. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Formas de fácil comprensión al usuario. ▪ Sencillo lenguaje formal. ▪ Equilibrio formal y semiótica del producto.
Requerimientos técnico productivos	Factores a tener en cuenta
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnología de fabricación de la región. ▪ Con posibilidad de ser manufacturado o producido en serie. ▪ De fácil producción. ▪ Facilidad de encontrar las materias primas. ▪ Que sus moldes permitan la producción con diversos materiales y procesos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseño adaptable a los procesos de producción existentes en la región. ▪ Posibilidad de mejoramiento continuo de materiales y procesos. ▪ Cantidad de sistemas de fijación a producir. ▪ Posibilidad de adaptar y/o apropiar tecnología externa.
Req. Económicos o de mercado	Factores a tener en cuenta
<ul style="list-style-type: none"> ▪ El precio de venta al público debe ser similar a los precios de la competencia. ▪ Calcular los costos de producción si el producto se exporta. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Considerar costos de mano de obra y de producción en diversos escenarios. ▪ Análisis del mercado.

10. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

El hombre desde épocas muy remotas ha utilizado la expresión gráfica para comunicar y plasmar ideas y experiencias vividas. Mediante el bocetado de ideas el hombre ha podido plantear soluciones a problemas del diario vivir, cumpliendo con los requerimientos y parámetros que el diseño industrial necesita resolver.

Al desarrollar un concepto formal estético y funcional de un sistema de cubiertas, se busca aplicarlo en toda la familia de objetos que componen tal sistema, apoyándonos en la coherencia formal y teniéndola presente en la totalidad de los elementos.

10.1 DESCRIPCION DE ALTERNATIVAS

10.1.1 Alternativas de cubiertas. El elemento conocido como cubierta o techumbre debe cumplir con la tarea de proteger las edificaciones y la estructura de sustentación de dichas cubiertas, además de asegurar la estanqueidad al viento, a las condiciones climáticas y las radiaciones térmicas y solares.

Para tener en cuenta los diferentes factores que afectan las edificaciones y de los cuales las cubiertas sirven como protección, y las fijaciones de estas a la estructura de sustentación de las mismas, materiales y soluciones formal estéticas, se realizaron visitas técnicas a diferentes centros de distribución y venta de cubiertas en el mercado de la ciudad de Bucaramanga.

Luego de analizar los estilos de cubiertas, sus sistemas de traslapeo y anclaje, los conceptos arquitectónicos actuales de cubiertas y fachadas en el medio local e internacional, se decidió desarrollar un concepto basado en origami o más conocido como el arte del plegado del papel, con el cual se puede evolucionar

conceptos de diseño tales como módulo, repetición de módulo, similitud y simetría de módulo, textura y proyección de luces y sombras.

Estos conceptos de diseño se han aplicado en la forma de las diferentes alternativas y elementos que conforman el sistema de cubierta, cumpliendo con las funciones y requerimientos básicos que deben cumplir las cubiertas, teniendo muy presente las consideraciones técnicas que sugieren las normas internacionales (ASTM), y las normas técnicas colombianas (NTC).

El origami genera diferentes sensaciones estéticas y formales, ya que la disposición de planos inclinados y oblicuos, aparte de distribuir uniformemente las cargas del aire, del propio peso de la cubierta y otras masas, incrementa la estética y la forma del producto. Se enriquece el lenguaje del producto, y se ofrece una nueva alternativa formal de cubiertas para el mercado de la construcción.

- **Alternativa formal 1**

Figura 36 y 37: Alternativa formal módulo triangular.



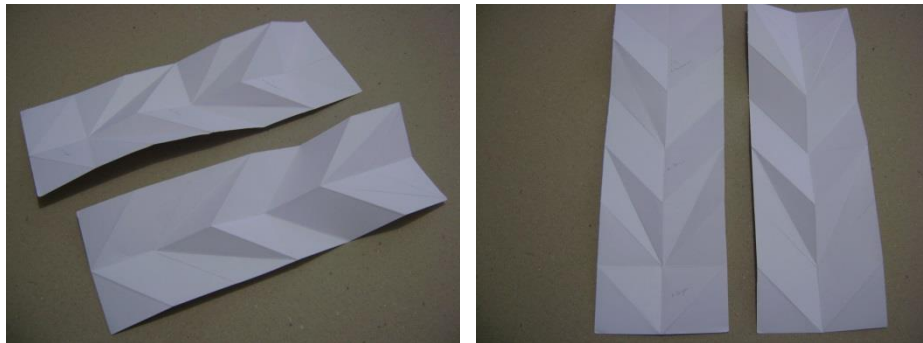
En esta idea se plegó el papel generando planos oblicuos triangulares y trapezoidales, similares a las hojas del árbol de carpe (*carpinus betulus*). La forma

permite el deslizamiento del agua, y formalmente es una posibilidad de textura muy agradable a la vista del usuario. La desventaja de este tipo de formas triangulares es la concentración de esfuerzos en la cubierta, esfuerzos que con los materiales podría verse equilibrado.

- **Alternativa formal 2**

En esta alternativa el módulo de la futura cubierta se hizo más angosto, buscando que las líneas de los planos trapezoidales fueran paralelas. Estéticamente es muy agradable a la vista del usuario, aunque la concentración de esfuerzos se hace aun evidente, por la falta de un plano de apoyo para reducir este problema.

Figuras 38 y 39: Alternativa no. 2 planos triangulares.



Las cubiertas trapezoidales que se encuentran en el mercado son una alternativa tanto formal como funcional de sistema de cubierta, siendo una gran alternativa y poseen una muy buena resistencia mecánica, gracias al módulo que posee.

La norma técnica colombiana NTC 2571 habla sobre los perfiles trapezoidales para cubiertas, en la cual sugiere diversas dimensiones de este tipo de modulo,

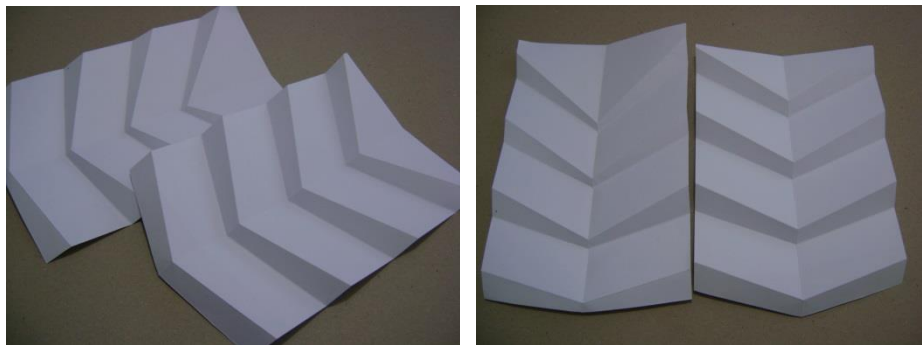
distancia entre cresta y valle y distancia entre eje de las crestas. Aunque las mismas normas sugieren que el fabricante es libre de proponer su perfil propio, las mismas normas indican ejemplos de soluciones y alternativas viables para su desarrollo.

Basándonos en la norma NTC 2571, y en algunas de las dimensiones del perfil que la norma indica, se desarrolló la siguiente alternativa formal:

- **Alternativa formal 3.**

En esta alternativa predominan los planos oblicuos y planos trapezoidales, teniendo en cuenta que estos planos podrían ser inclinados laterales, ya que el tiempo de mecanizado de los moldes es menor y desmolde de las futuras cubiertas sería más fácil, además la distribución de esfuerzos es mejor, reduciéndose los concentramientos de esfuerzos en las uniones de los planos.

Figuras 40 y 41: Alternativa no. 3 planos trapezoidales y oblicuos.



10.1.2 Alternativas de fijación del sistema de cubierta a la estructura de soporte. Las cubiertas sin excepción deben ser fijadas a la estructura de soporte. En la mayoría de los casos las cubiertas están sometidas a efectos de succión por los vientos circundantes, y si no se fijan adecuadamente, las cubiertas pueden ser

arrancadas de su lugar. Sobre una cubierta de 48 m² los vientos pueden generar fuerzas de hasta 9,6 toneladas²¹.

Figura 42: Fijación de cubierta a estructura con tornillo auto perforante.

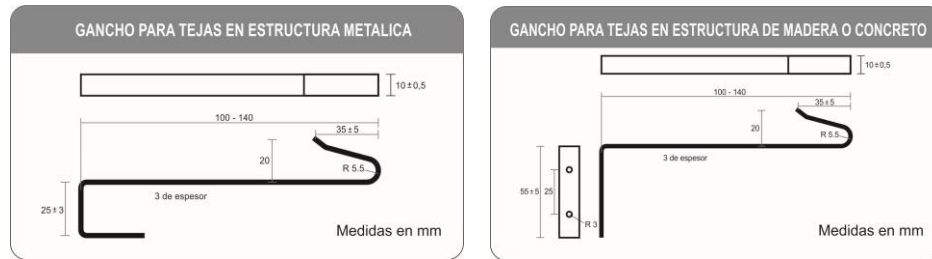


Fuente: <http://www.gallina.it>

En el mercado se encuentran diferentes alternativas para la fijación de cubiertas a la estructura de soporte, tales como los ganchos tirafondos, fijaciones con tornillo para madera o para metal auto perforantes con aislante para lluvia en PEAD y caucho, también los ganchos templete metálicos, ideales para cubiertas de fibrocemento. Los sistemas de cubiertas en policarbonato ofrecen una alternativa con pines macho y soportes hembra o también llamado sistema de encastre a presión, en el cual los pines macho vienen fundidos de fábrica en la cubierta y los soportes se ubican milimétricamente en la estructura de soporte de la cubierta.

²¹ CATALOGO DE CUBIERTA COLOMBIT PERFIL 7. Consultado 10/07/2014. Disponible en <http://www.skinco.co>

Figura 43: Tipos de ganchos templetes metálicos según norma NTC 275



Fuente: <http://www.icontec.org>

Algunos sistemas de cubierta poseen perfiles de unión entre las placas o tejas y los perfiles que en su mayoría son de aluminio.

Figura 44: Fijación de cubiertas macho hembra por encastre a presión.



Fuente: <http://www.gallina.it>

La estructura de soporte consta de pares de vigas, que van dispuestas sobre la viga cumbreira y las vigas de los muros laterales, y sobre los pares van dispuestas las llamadas correas, que en su mayoría pueden ser de madera o de perfil

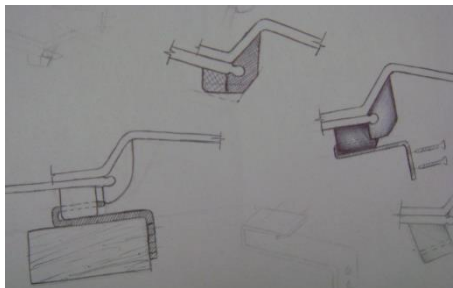
metálico en C. Algunos fabricantes ofrecen soluciones con diseño de perfilera propia, con el objetivo que sus anclajes mantengan la línea formal de sus sistemas de cubiertas.

Las estructuras de soporte de las cubiertas están conformadas por pares de vigas, las cuales están soportadas sobre las vigas dispuestas en los muros de carga y la viga cumbreira, la cual está en la parte superior del techo de la vivienda, y por correas, sobre las cuales se fijan las tejas, y deben estar conformes con la norma técnica NSR 10, la cual resalta que la estructura debe tener elementos rígidos y fuertemente ensamblados, con el fin que los apoyos sean continuos y totalmente rectilíneos, lo que hace obedecer que el sistema de cubiertas debe apoyarse según su geometría a una superficie totalmente plana y a escuadría entre las correas y las cerchas, evitando así que el sistema de cubiertas evidencie las irregularidades del montaje de la estructura que va a soportar las cubiertas.

Para el sistema de cubiertas, se ha tomado la decisión de utilizar el sistema de fijación por encastre a presión, ya que en este sistema no necesita perforarse la cubierta y los demás elementos, y genera una mejor presentación del sistema al usuario.

- **Alternativa 1.**

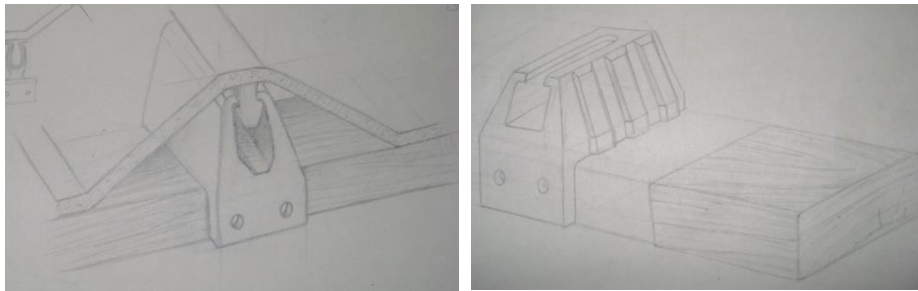
Figura 45: Fijación por ajuste de la teja al elemento de fijación.



En esta alternativa se busca que la cubierta ajuste al elemento de fijación, e incrementaría los costos de producción el proceso de fabricación de los moldes, ya que requiere elementos adicionales en el molde para generar esta solución, además de ser más difícil aplicarlo a todo el sistema.

- **Alternativa 2.**

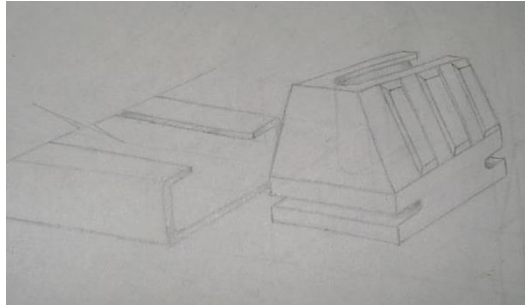
Figuras 46 y 47: Encastre a presión, adaptado a las correas mediante tornillería.



Esta alternativa tiene en cuenta el sistema macho – hembra, y su respectiva fijación a las correas por la cara posterior de las correas, aprovechando el apoyo en ese punto en donde descansa la cubierta y por las fuerzas de gravedad el elemento hace que funcione más eficientemente la base hembra. Se aplica conceptos de textura de superficie, para que el usuario pueda identificar el lenguaje del elemento, con el plano ortogonal a la base del elemento se indica la forma de instalación a las correas por parte del sistema de fijación. También contiene elementos de diseño como adición, sustracción y simetría.

- **Alternativa 3.**

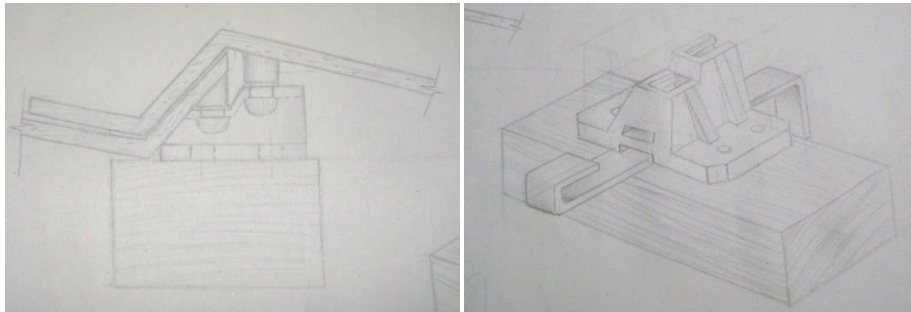
Figura 48: Fijación por encastre a presión. Elemento hembra acanalado.



La alternativa 3 sugiere que las correas sean de perfil en C, el cual sirve como guía al canal del elemento hembra, sustituyendo así las correas de madera por perfilería en acero o hierro cold rolled, y la fijación de las hembras por tornillería a las correas. Los sistemas de cubiertas Dot Gallina (Italia) sugieren como grandes fabricantes mundiales de cubiertas y dueños de los sistemas Arkos, el planteamiento de perfiles tipo omega y tipo C, como soluciones de cubierta, que suprime la fijación con tornillería de los elementos hembra a la estructura de cubierta, y propone los pines macho a las cubiertas y a una gran parte de los demás elementos del sistema de cubiertas, así como el desarrollo de diferentes elementos de fijación hembra para diferentes situaciones y diseños arquitectónicos de vivienda.

- **Alternativa 4.**

Figuras 49 y 50: Encastre a presión, adaptado mediante tornillería.



En la alternativa 4 se tiene en cuenta que los traslapos transversales de las cubiertas generan desniveles como lo muestra la figura de la izquierda, y supone que el elemento hembra debe adaptarse a esos desniveles, como lo sugiere la figura de la derecha, además de tener en cuenta que existen otra clase de correas que no son de madera o de perfil cuadrado, existen también cerchas de varilla metálica, el donde el elemento hembra tiene un canal donde puede adaptarse fácilmente ganchos tipo templete, como los sugeridos para cubiertas de fibrocemento, y otro canal donde se sujeta el elemento, sujetándose así el elemento hembra a la cercha.

La alternativa 4 tiene un lenguaje de uso que comunica al usuario que las cubiertas al ser traslapadas transversalmente genera desniveles, y que con conceptos de diseño como adición y sustracción se logra transmitir este concepto, así como por sustracción se obtiene el canal que sirve de fijación para el gancho metálico que se sujeta a las cerchas metálicas.

10.2 EVALUACION DE ALTERNATIVAS

Las alternativas de diseño propuestas para el sistema de cubierta y el elemento de fijación del sistema a la estructura de cubierta se deben analizar para poder seleccionar cual es la alternativa más probable que cumpla con los requerimientos planteados. Gracias a una matriz de evaluación de requerimientos en la cual se puede medir cuantitativamente las alternativas según como cumplan con los requerimientos, los cuales se les divide según los parámetros de diseño y se les asigna un porcentaje teniendo en cuenta la incidencia en el diseño, y se distribuyen de la siguiente manera:

Uso: **15%**

Funcion: **15%**

Estructurales: **20%**

Formal estéticos: **10%**

Tecnico productivos: **30%**

Economicos o de mercado: **10%**

Cada requerimiento se clasifica según la importancia, en 3 niveles, asignando un factor multiplicador a cada uno de estos niveles:

Medianamente importante: **1**

Muy importante: **2**

Indispensable: **3**

Las alternativas de diseño se le asignan valores de 1 a 5, teniendo en cuenta la efectividad y cumplimiento de cada requerimiento:

Excelente: **5**

Muy bueno: **4**

Satisfactorio: **3**

Regular: 2

Malo: 1

Al obtener los resultados de la evaluación, se puede seleccionar la alternativa de diseño que más satisfaga los requerimientos de diseño. Algunos factores no se cumplen en su totalidad, lo que implica un mejor análisis y determinar cuáles pueden ser los pasos a seguir para optimizar la alternativa elegida.

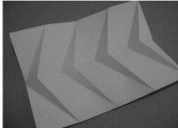
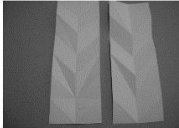

Tabla 13: Diagrama de explicación de las matrices de evaluación de requerimientos.

		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
6	Tipo de requerimiento (%)			
5	R1	1	4	
	R2			
	Subtotal	(%)	(%)	(%)
	Tipo de requerimiento (%)			
	R1			
	R2			
	Subtotal	(%)	(%)	(%)
	TOTAL			

1. Factor multiplicador según importancia del requerimiento
2. Valoración de cumplimiento de cada requerimiento según la alternativa
3. Porcentaje parcial de cumplimiento para cada tipo de requerimiento
4. Gráfico de cumplimiento del requerimiento multiplicado por el factor
5. Lista de requerimientos
6. Naturaleza del requerimiento y porcentaje según su incidencia
7. Porcentaje total del cumplimiento de cada alternativa
8. Alternativas planteadas

10.2.1 Evaluación del sistema de cubiertas

Tabla 14: Evaluación de requerimientos del sistema de cubiertas

TABLA 14: EVALUACIÓN DE REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE CUBIERTA							
		ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
USO 15%							
R1 Durable	3	3		3		4	
R2 Fácil manejo al usuario	3	3		3		4	
R3 Seguro para el usuario	2	2		2		4	
R4 Fácil transporte a obra	2	4		3		3	
R5 Fácil limpieza	1	2		2		3	
R6 Fácil instalación	2	3		2		3	
R7 Liviano	1	3		3		3	
R8 Lenguaje semiótico claro	3	4		3		5	
R9 Garantiza protección	3	3		3		4	
R10 Elementos reemplazables	2	4		4		4	
<i>Subtotal</i>			63.63%		57.27%		77.27%
FUNCIÓN 15%							
R11 Fijaciones fácil de instalar	2	3		2		4	
R12 Durable	3	3		3		3	
R13 Resistente a la intemperie	3	4		4		4	
R14 Resistente a esfuerzos	3	2		1		4	
R15 Estanqueidad a lluvias	3	3		2		4	
R16 Genere confort térmico	2	4		4		4	
R17 Estanqueidad a vientos	3	3		3		5	
R18 Forma estable	2	3		2		3	
<i>Subtotal</i>			61.91%		52.38%		78.09%
ESTRUCTURALES 20%							
R19 Estable estructuralmente	3	3		2		4	
R20 Traslapos estables	2	2		2		4	
R21 Pocos elementos	2	4		2		4	
<i>Subtotal</i>			60.00%		40.00%		80.00%
FORMAL ESTÉTICOS 10%							
R22 Estilo acorde al entorno	3	2		2		4	
R23 Coherencia formal	3	3		3		5	
R24 Simplicidad formal	2	3		2		4	
R25 Comunica función y uso	3	2		2		3	
R26 Equilibrio formal	2	3		3		4	
R27 Genera textura	2	4		5		4	
<i>Subtotal</i>			54.66%		54.66%		80.00%
TÉCNICO PRODUCTIVOS 25%							
R28 Fabricado en la región	3	3		3		3	
R29 Posible producc. en serie	3	2		1		3	
R30 Fácil producción	3	2		2		4	
R31 Materias primas al alcance	2	4		4		4	
R32 Uso diferentes materiales	1	2		1		4	
<i>Subtotal</i>			51.66%		45.00%		70.00%
DE MERCADO 15%							
R33 Precio venta al publico	3	2		2		2	
R34 Considera tipo de mercado	2	3		3		4	
<i>Subtotal</i>			48.00%		48.00%		56.00%
TOTALES			56.41%		48.36%		73.20%

Análisis de la evaluación de la cubierta

La alternativa 3 obtuvo un porcentaje de 73.20%, y se ha de tener en cuenta los costos en el proceso de producción, la manufactura calificada y los perfiles de la cubierta y demás elementos. Se ha de tener en cuenta las sugerencias encontradas en las normas técnicas colombianas sobre cubiertas de plásticos reforzados, y la experiencia propia en moldes para marroquinería y joyería en la disposición de los planos inclinados y oblicuos que conforman esta alternativa, con el fin de mejorar los procesos de mecanizado de los moldes y de fundición del polímero reforzado sobre los mismos.

10.2.2 Evaluación del elemento de fijación del sistema de cubiertas

Tabla 15. Evaluación de requerimientos del elemento de fijación.

TABLA 15: EVALUACIÓN DE REQUERIMIENTOS DEL ELEMENTO DE FIJACIÓN.	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		ALTERNATIVA 4	
	Gráfico	Porcentaje	Gráfico	Porcentaje	Gráfico	Porcentaje	Gráfico	Porcentaje
USO 15%								
R1 Durable	3	51.25%	3	71.25%	4	68.75%	4	82.50%
R2 Fácil manejo al usuario	3		4		3		4	
R6 Fácil instalación	2		3		4		4	
R8 Lenguaje claro de uso	2		4		3		5	
R9 Garantiza estabilidad	2		4		3		4	
R9 Fácil transporte	2		3		4		4	
R10 Elementos reemplazables	2		4		3		4	
Subtotal		51.25%		71.25%		68.75%		82.50%
FUNCIÓN 15%								
R11 Fijaciones fácil de instalar	2		3		4		4	
R12 Durable	3		3		4		4	
R14 Resistente a esfuerzos	3		4		4		5	
R18 Forma estable	2		3		3		5	
R9 Brinda estabilidad al sistema	3		3		2		4	
Subtotal		35.38%		64.61%		67.69%		87.69%
ESTRUCTURALES 20%								
R19 Fijaciones seguras y fuertes	3		4		4		4	
R20 Buena sujeción a correas	3		4		4		5	
Subtotal		30.00%		80.00%		80.00%		90.00%
FORMAL ESTÉTICOS 10%								
R22 Estilo acorde al entorno	1		4		4		5	
R24 Simplicidad formal	2		4		4		3	
R25 Comunica función y uso	3		5		5		4	
R26 Equilibrio formal	2		4		4		4	
R27 Superficies bien acabadas	2		4		4		5	
Subtotal		44.00%		86.00%		86.00%		82.00%
TÉCNICO PRODUCTIVOS 25%								
R28 Fabricado en la región	3		4		4		4	
R29 Posible producc. en serie	3		5		5		5	
R30 Fácil producción	2		4		3		3	
R31 Materias primas al alcance	2		4		4		4	
Subtotal		43.63%		85.45%		80.00%		80.00%
DE MERCADO 15%								
R31 Precio venta	3		4		4		4	
R31 Tipo de mercado	2		4		4		5	
Subtotal		52.00%		80.00%		80.00%		88.00%
TOTALES		42.10%		78.34%		77.06%		84.92%

Análisis de la evaluación del elemento de fijación

La alternativa 4 está muy cerca de una solución final ya que con 84.92% satisface los requerimientos con una calificación alta. No obstante, hay que seguir evolucionando el concepto de fijación, mejorar la propuesta y analizar a fondo los procesos de producción, montaje, la forma final y la estabilidad estructural que debe generar.

11. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CUBIERTA ECOLOGICA

Luego de desarrollar el concepto de diseño para el sistema de cubiertas y los elementos de fijación de las cubiertas a su estructura de soporte, sigue el desarrollo de los aspectos técnicos y formales del producto, que incidirán directamente en el funcionamiento y el lenguaje del objeto.

El sistema de cubierta se llama **Teknorooft**, ya que el concepto desarrollado requiere técnica y precisión en su montaje, tecnología en su desarrollo y producción, convirtiéndose en un homenaje a la ingeniería y la técnica aplicada a la construcción.

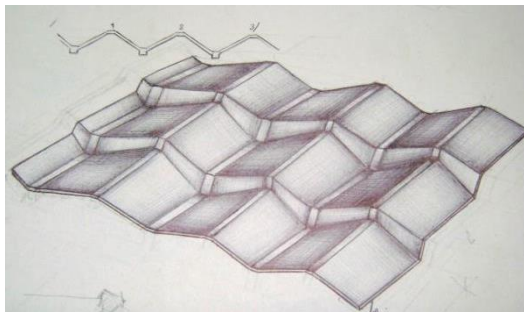
Este sistema de cubierta propone un sistema de fijación por encastre a presión, con elementos llamados pines y hembras que se fijan en las correas de la estructura de soporte de las tejas, con el fin de no comprometer las cualidades de las tejas y sus condiciones de trabajo.

El material de los elementos del sistema de cubiertas estarán fabricados por laminado y prensado, resina poliéster de tipo palatal isoftàlica, y como carga usando cascarilla de arroz y fique, conociendo de antemano el problema de disposición y compostaje del tamo de arroz, lo que está generando un gran impacto ambiental en la región y en los productores primarios de arroz a nivel mundial, y el fique que es una industria en vía de extinción en el país, podría verse beneficiada con este tipo de proyectos.

11.1 DESCRIPCION DE LOS PRODUCTOS DESARROLLADOS

11.1.1 Descripción de la cubierta. La cubierta cuenta con un perfil transversal trapezoidal y un perfil longitudinal triangular, semejante a las características de las cubiertas de fabricantes como Colombit y Skynco Colombia, aunque sus cubiertas manejan perfiles transversales ondulados manejan el perfil en grada longitudinal semejante a nuestra cubierta Teknorooft.

Figura 51: Boceto del concepto de la cubierta Teknorooft.



Las dimensiones de la cubierta están determinadas por las medidas del fabricante, como lo indica la NTC 160, al mencionar las características de las cubiertas, citando lo siguiente: *“Los perfiles y formas de las placas deben estar de acuerdo con las especificaciones incluidas en los catálogos de los fabricantes. La longitud, ancho y traslapo, estas medidas nominales deben estar de acuerdo con las especificaciones incluidas en los catálogos de los fabricantes”*.²²

En los catalogos de los fabricantes de cubiertas estan especificadas las medidas de sus alternativas de cubierta de acuerdo con la experiencia en montaje y puesta en obra de estos elementos.

²² NTC 160: PLACAS ONDULADAS DE ASBESTO CEMENTO PARA CUBIERTAS Y REVESTIMIENTOS. NORMA TECNICA COLOMBIANA. Consultada 11/01/2014.

La cubierta Teknorroof cuenta con las siguientes dimensiones: 124 cm de largo x 100 cm de ancho, semejante a cubierta no. 4 del catálogo de cubiertas Skinco Colombia y Colombit, lo que permite analizar el comportamiento a flexión del material de la cubierta con estas dimensiones.

El traslapo según la norma NTC 160, es la superposición de parte de 2 placas por cualquiera de sus extremos (transversal y longitudinal). Los traslapos de las placas y sus accesorios no deben permitir las filtraciones de aguas lluvias hacia el interior de la vivienda. La medida del traslapo según a norma debe ser mínimo de 14 cm de largo a 27% de pendiente (15,6°), y un traslapo transversal mínimo para ondas de 5 cm (considerada como una onda mediana) de 90 mm.

11.1.2 Descripción del caballete. Los caballetes se usan para cubrir la viga cumbre de una techumbre. Por lo general están constituidos por 1 pieza o 2 piezas articuladas. Sus dimensiones dependen del ancho de las cubiertas y descritas en el catálogo de los fabricantes.

Figura 52. Caballete articulado



Fuente: <http://www.skinco.co>

Los caballetes deben tener un traslapo longitudinal igual o mayor al traslapo de las cubiertas. La norma NTC 160 también sugiere que el traslapo transversal debe corresponder al perfil de la campana del caballete.

11.1.3 Descripción de la limatesa. La limatesa como elemento suplementario del sistema de cubierta es una arista que separa las vertientes y se forma al unirse dos faldones a un ángulo mayor a 180° , y evita que las aguas lluvias se filtren por dicha arista.

Figura 53. Limatesa



Fuente: <http://www.skinco.co>

Similar al concepto de diseño de la cubierta, la limatesa mantiene la coherencia formal de la teja, aplicando conceptos de módulo, similitud de módulo, distribución de esfuerzos y requerimientos generales de estanqueidad a las condiciones ambientales.

Sus dimensiones están basadas en las alternativas de los fabricantes antes mencionados, apoyándose en su experiencia en el montaje de los sistemas de cubiertas. Las normas técnicas colombianas dicen literalmente: " *Los terminales laterales, esquineros, terminales superiores e inferiores sobre canal, deben tener la forma y dimensiones especificadas en los catálogos del fabricante, y no constituyen parte de las normas*".

11.1.4 Descripción de la limahoya. La limahoya es una arista que recoge las vertientes y se forma al unirse dos faldones o cubiertas a un ángulo menor de 180°. La limahoya y las cubiertas son los elementos del sistema que más reciben aguas lluvias.

Figura 54. Limahoya



Fuente: <http://www.skinco.co>

La limahoya se instala antes que las cubiertas, de abajo hacia arriba, y limpiando con anterioridad la superficie de apoyo. Por lo general se consigue limahoyas en el mercado fabricadas en distintos materiales, como el zinc, chapa de hierro galvanizado, plástico, etc. El traslape se hace de 10 cm como mínimo con el fin de garantizar la estanqueidad y se debe fijar a las correas.

11.1.5 Descripción del lucernario. El lucernario es un elemento del sistema de cubiertas utilizada para proporcionar luz a la vivienda.

Figura 55. Lucernario

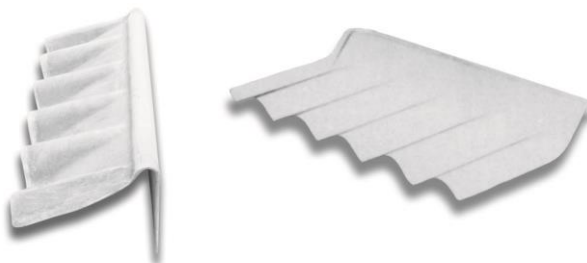


El material de la tapa del lucernario es acrílico (PMMA), y las juntas se hacen con ganchos metálicos o con silicona.

11.1.6 Descripción de la junta a muro. La junta a muro es un elemento del sistema de cubiertas empleado para evitar las filtraciones del sistema de cubierta cuando esta coincide con un muro. También es conocido en el argot de algunos constructores como medio caballete.

En el mercado se ofrecen distintos tipos de juntas a muro, dependiendo la solución que desea ofrecer el fabricante.

Figuras 56 y 57. Junta a muro sencilla y de montaje sobre muro.



Fuente: <http://www.skinco.co>

11.1.7 Descripción del elemento de fijación del sistema. El sistema de cubierta se fija por pines macho que poseen los elementos al elemento de fijación por medio de encastre a presión, sobre un elemento hembra diseñado para darle ajuste a las cubiertas. Este mismo está fijado a las correas por medio de tornillos para madera o metal (según el material de las correas). Es recomendable para este tipo de elementos de enganche utilizar polietileno de baja densidad (PEBD), ya que este material permite flexibilidad en el encastre de los pines macho de las cubiertas sobre los elementos de fijación.²³

Ya que el material de la cubierta, la resina poliéster reforzada con tamo de arroz y fique debido a las radiaciones solares, el sistema de fijación permite la libre dilatación de las placas y garantiza la resistencia a los esfuerzos dinámicos del viento.

11.2 DESARROLLO FUNCIONAL DEL SISTEMA DE CUBIERTA

Al desarrollar el sistema de cubierta ecológica, desde sus inicios se ha tenido presente el funcionamiento del mismo y de su material. Cuando se menciona el funcionamiento del producto se deben tener en cuenta definiciones de diversos autores, los cuales en sus procesos de investigación han tenido en cuenta teorías de comunicación visual, técnicas de diseño, psicología de la forma, lenguaje del producto, entre otras.

Estas definiciones están clasificadas en dos grupos, el primero tiene que ver con las funciones de interacción hombre – producto o funciones prácticas, las cuales se analizarán al sistema de cubierta y al elemento de fijación del sistema. Y el segundo grupo trata de las funciones de percepción subjetiva que el usuario tiene del producto, y se tratarán en el análisis formal estético del sistema.

²³ GALLINA ITALIA. CATALOGO GENERAL DE PRODUCTOS PARA LA CONSTRUCCION. P. 62 -63.

El desarrollo funcional del sistema busca explicar y facilitar la comprensión de los procedimientos que se deben realizar en el montaje de los elementos del sistema de cubierta, condiciones de seguridad del personal de obra que interviene en la obra y el tratamiento que se le debe dar al producto.

Mediante las señales que poseen el producto diseñado y las dimensiones del mismo, el usuario puede hacerse una idea general acerca de la manipulación de los elementos del sistema de cubiertas, y las tareas para su instalación y transporte.

Los elementos del sistema de cubierta y las herramientas que son utilizadas en el proceso de instalación están relacionadas con los procesos tradicionales de instalación de los productos de cubiertas que se encuentran en el mercado, así que los usuarios ya tienen una idea general de antemano de como comprender más fácilmente el uso del sistema Teknorooft, aunque el diseño de sus elementos tengan evoluciones.

11.3 ANALISIS DE USO DEL SISTEMA DE CUBIERTA

11.3.1 Uso de la cubierta. La cubierta tiene una forma novedosa y no convencional con respecto a las cubiertas tradicionales, ya que en la vista frontal tiene un perfil trapezoidal y en la vista lateral un perfil de triángulos escalenos, conformada por planos inclinados y oblicuos permitiendo la estanqueidad a aguas lluvias. Estos elementos la hacen diferente en el mercado de cubiertas, además de su material.

Figuras 58 y 59. Vista superior e isométrica cubierta Teknoroof.

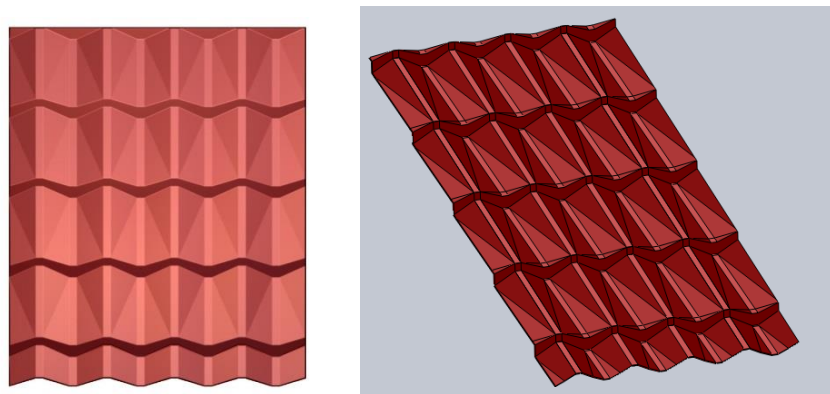
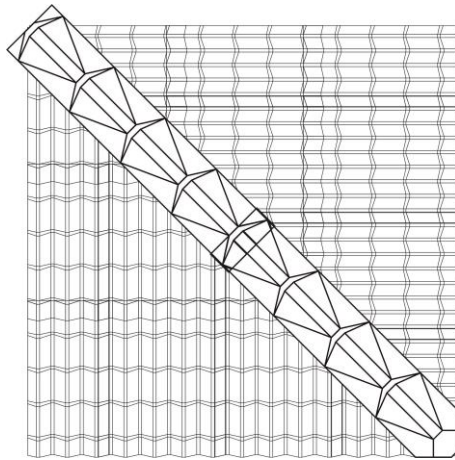
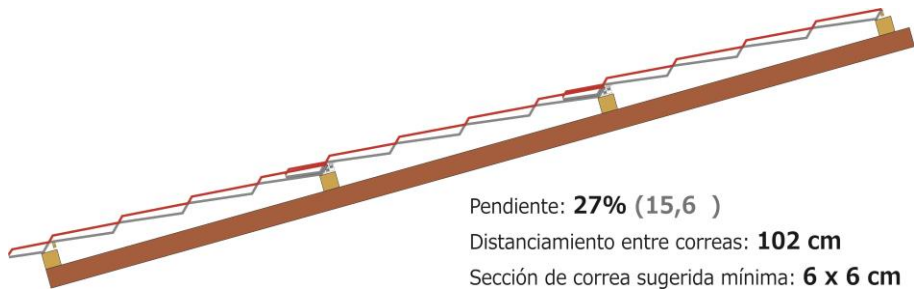


Figura 60. Limatesa terminal y limatesa funcionando sobre cubiertas.



Las dimensiones de la cubierta son 124 cm de largo por 100 cm de ancho, con un traslapo lateral de 9 cm y transversal de 14 cm. La longitud útil es de 106 cm y el ancho útil es de 91 cm. La pendiente mínima de la cubierta sugerida es de 27% (15,6°), y la altura efectiva (relación cresta – valle) de la cubierta es de 5 cm.

Figura 61. Montaje de las cubiertas



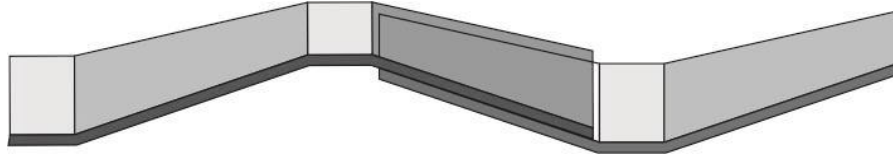
Las cubiertas son instaladas linealmente y a escuadría, de izquierda a derecha, para tejas de traslape longitudinal derecho y de derecha a izquierda, para tejas de traslape longitudinal izquierdo, y de abajo hacia arriba. Skinco Colombit sugiere en sus catálogos y según sus estudios de laboratorio que la dirección del viento no influye ni en la calidad ni en la facilidad de instalación en las tejas, sin dejar de lado la fuerza de los vientos al momento del montaje.

Figura 62. Diagrama de instalación en línea continua.



Fuente: <http://www.skinco.co>

Figura 63. Detalle del traslapo longitudinal.

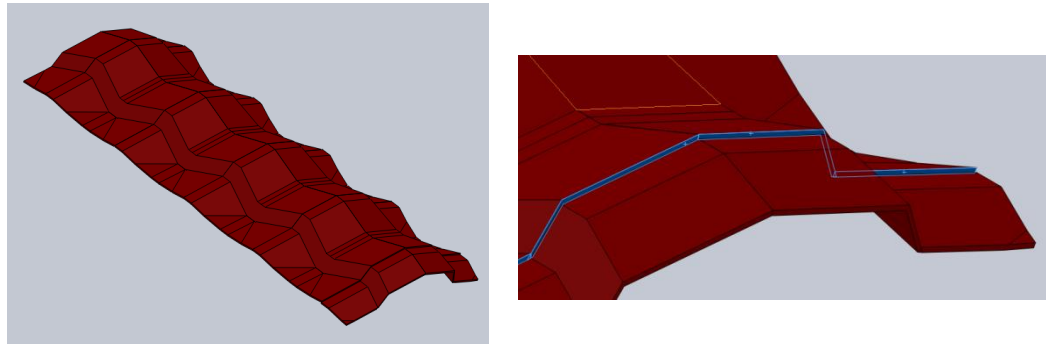


11.3.2 Uso del caballete. El caballete tiene como principio la protección de la parte superior del techo, de proteger la viga cumbre, el cual traslapa con la cubierta más superior de cada faldón si la cubierta es a 2 aguas. También tiene como función la estanqueidad al agua lluvia, lo que sugiere pendiente en la sección transversal del diseño.

La sección longitudinal del diseño del caballete permite el total traslapo tanto con las tejas como con el caballete siguiente, permitiendo un diseño lineal y con continuidad en su montaje, estilos que se están utilizando en los caballetes de los sistemas de cubiertas existentes en el mercado.

El traslapo longitudinal es de 10 cm, medida similar a la de los caballetes del mercado y el montaje se hace según el sentido de colocación de las cubiertas.

Figuras 64 y 65. Caballete Teknorooft y detalle del traslapo.



El diseño del caballete además de cumplir con los requerimientos exigidos al sistema de cubiertas, posee gran estética y un montaje con escuadría.

11.3.3 Uso de la limatesa. En el uso de la limatesa se debe considerar plenamente el concepto de estanqueidad a las aguas lluvias, sin dejar de lado los demás requerimientos exigidos. Tiene como fin principal evitar el paso de aguas lluvias y radiaciones solares y vientos a la vivienda, y se recomienda para cubiertas a 3 o más aguas. El traslapo de las limatesas es de 10 cm mínimo y el sentido de su colocación se hace de abajo hacia arriba al igual que las cubiertas.

El óptimo funcionamiento de la limatesa depende directamente a la escuadría en el proceso de instalación de las tejas, ya que se hace indispensable que al montar la estructura de cubierta (pares y correas) no se calquen los defectos de la obra, es decir, las medidas deben estar lo más precisas posibles.

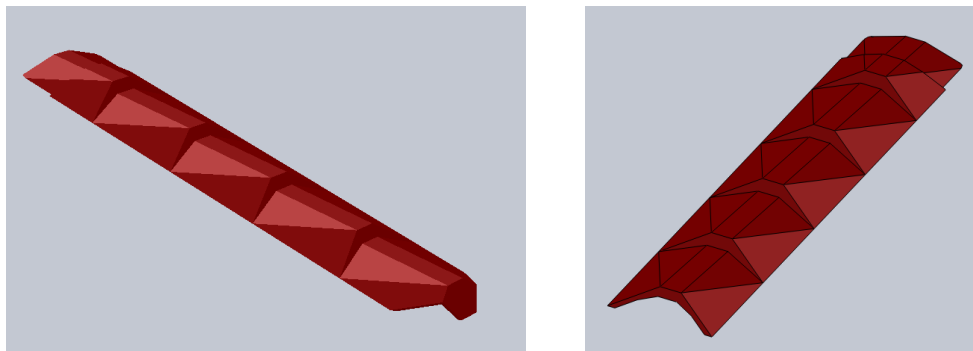
Figuras 66 y 67. Ejemplos de limatesa y de limatesa terminal.



Fuente: <http://www.abacol.co>

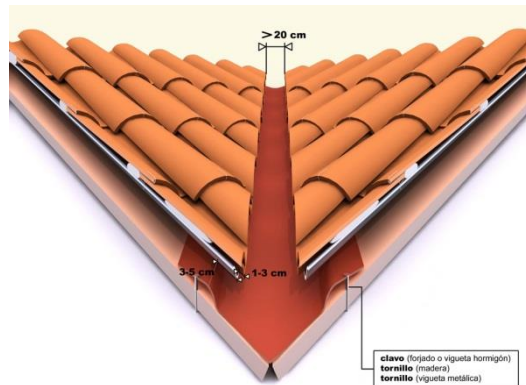
Al instalar las limatesas, estas son protegidas a su vez por el caballete, por un elemento que se llama caballete terminal a limatesa, asegurando de esta manera la estanqueidad del sistema de cubiertas Teknorooft a las viviendas. La forma de la limatesa terminal cumple con la escuadría a 90°, no es solo un requerimiento formal, es más funcional debido a la garantía de estanqueidad a las aguas lluvias.

Figuras 68 y 69. Limatesa terminal y limatesa Teknorooft.



11.3.4 Uso de la limahoya. La limahoya, junto a las tejas del sistema de cubierta, son los elementos que más reciben aguas lluvias. Su colocación en la obra se hace antes de instalar las tejas y los elementos de fijación del sistema a la estructura de soporte de las tejas, de esta manera se garantiza el pleno funcionamiento de las limahoyas.

Figura 70. Ejemplo de limahoya.



Fuente: <http://www.toptec.com.co>

El traslapo longitudinal se hace como mínimo de 10 cm al igual que las limatesas, y los fabricantes sugieren que el alero que descansa sobre las correas sea de 5 cm como mínimo, ya que las normas técnica colombiana abre el espacio para que el fabricante sugiera sus medidas en sus catálogos de manera libre, aunque se tiene en cuenta el área de ese alero al momento de hacer las perforaciones e instalación, el factor humano en el transporte y el montaje de los elementos de cubierta en la obra de construcción por parte de los operarios.

Figuras 71 y 72. Ejemplo de instalación de limahoya.

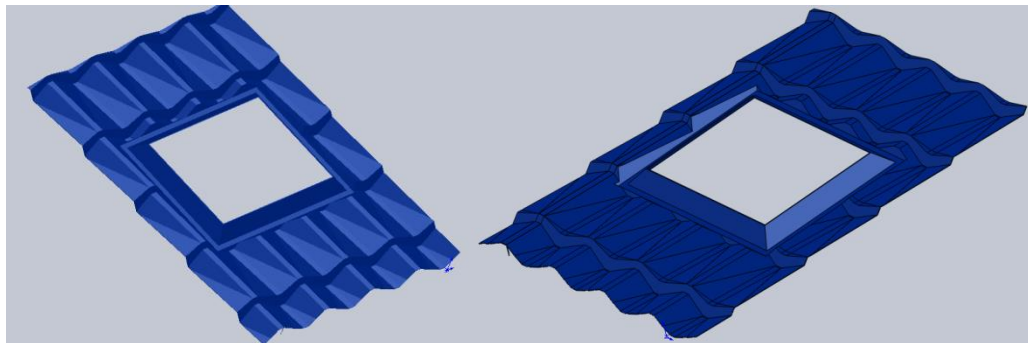


Fuente: <http://www.skinco.co>

La tornillería recomendada es de 5/32", de cabeza hexagonal para madera o metal, según el material de las correas y de 3" de largo.

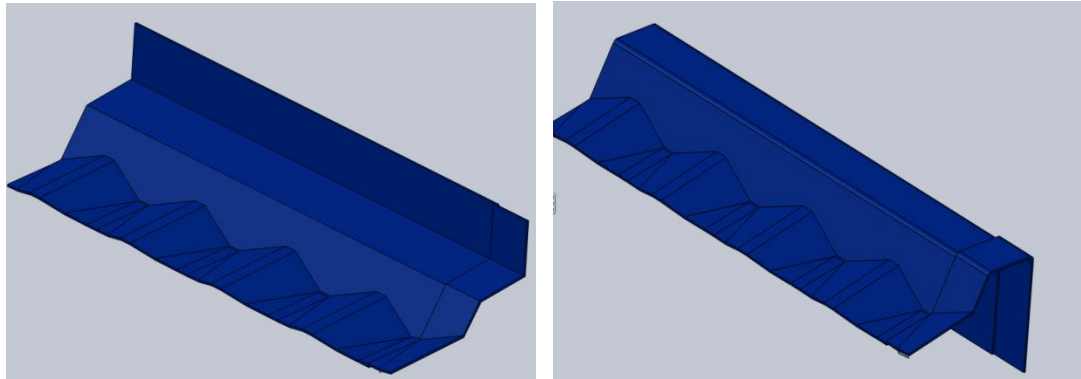
11.3.5 Uso del lucernario. Se instala teniendo en cuenta el diagrama de instalación en línea continua (ver figura 58), con las demás tejas del sistema de cubierta Teknorooft. Este tipo de tejas son muy utilizadas en la vivienda de tipo rural, ya que se aprovecha la iluminación natural del sol y de la luna.

Figura 73. Cubierta lucernario o claraboya Teknorooft.



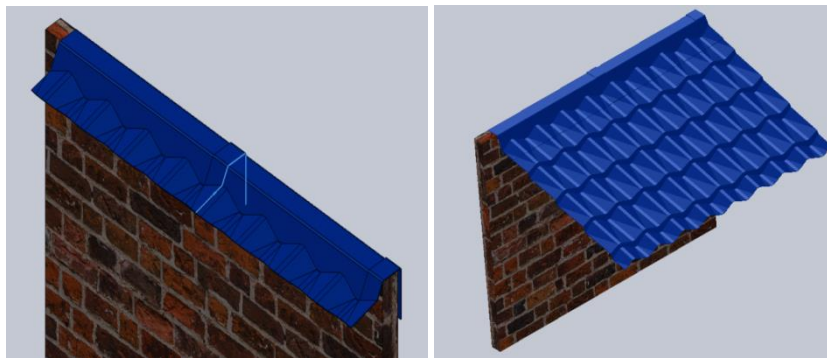
11.3.6 Uso de la junta a muro. La junta a muro, también conocida como medio caballete, es utilizada para proteger el sistema de cubierta en la zona donde coincide con un muro, y el muro en si en esa área. En esa zona de la junta el elemento se hace paralelo con la línea vertical del muro, y se fija al mismo con tornillería de acero para muro de concreto, y se sella con siliconas o material asfáltico para evitar que drene el agua hacia el interior del área que se está protegiendo con la cubierta.

Figuras 74 y 75. Junta a muro convencional y junta para protección de muro Teknorooft.



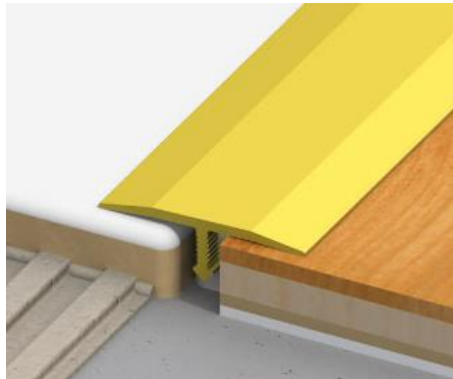
En el mercado de cubiertas se encuentra juntas a muro según los requerimientos que han surgido debido a los tipos de obra de construcción, ya que a medida que se avanza en este tema del diseño de sistemas de cubiertas, van aumentándose las variables en la construcción y diversos factores que inciden directa e indirectamente en las alternativas. El traslape longitudinal es el mismo de las tejas, es decir, de 9 cm y el traslape transversal de 14 cm, y su sistema de fijación es el mismo, por encastre a presión y fijación a las correas.

Figuras 76 y 77. Detalle de montaje del caballete de protección a muro y montaje del caballete de protección y cubiertas Teknorooft.



11.3.7 Uso del elemento de fijación del sistema. Como se había descrito en el numeral 11.1.7. *Descripción del elemento de fijación del sistema de cubiertas*, se había mencionado y descrito el sistema de fijación por encastre, y consiste básicamente por la unión de las cubiertas a un elemento hembra, al cual se ajusta a presión los pines que tienen los elementos del sistema de cubiertas como lo son las tejas, caballetes, limatesas y juntas de protección a muro.

Figura 78. Sistema de encastre a presión Clipstech en T

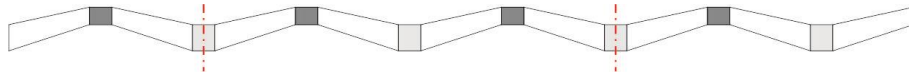


Fuente: <http://www.alfer.com>

Este tipo de fijación a presión es muy utilizado en productos para la construcción, gracias a la rigidez que le presta al sistema.

El elemento hembra va fijo a la correa, por medio de tornillos para madera o metal dependiendo del material de las correas, si es perfil tipo omega o en perfil c, de sección cuadrada de acero o hierro cold rolled, o de sección cuadrada si es de madera, todos los anteriores se encuentran en el mercado local.

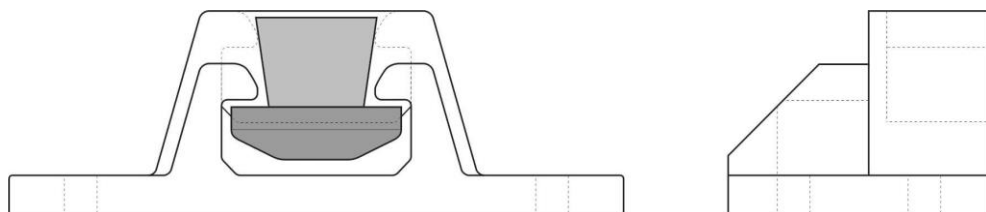
Figura 79. Vista frontal ubicacion del sistema de fijacion en las cubiertas.



Con este tipo de sistemas de fijacion se evita perforar las cubiertas y los demas elementos, con el fin de evitar posibles filtraciones de aguas lluvias, aunque en el mercado se consigue tornilleria con sombreretes plasticos.

El sistema de encastre a presion sugiere ser precisos al momento de alinear las cubiertas, queriendo decir que la escuadria debe garantizarse entre las correas y/o las cerchas, evitando de esta manera calcar los defectos de nivel que pueda generar el terreno de la vivienda, y los defectos e irregularidades del sistema de soporte.

Figura 80. Vistas del elemento de fijacion del sistema de cubierta.



En el montaje del sistema de cubiertas, los operarios deben tener en cuenta un espaciamiento sugerido entre las correas es de 102 cm, buscando que los elementos de fijacion funcionen correctamente. Se fijan estos elementos con tornilleria para madera o metal, dependiendo del material de la correa. El elemento de fijacion tiene dos niveles, ya que al traslaparse las cubiertas los pines tambien

se desplazan generando los niveles, y el diseño del elemento se adapta a esta situación de encastre a presión.

11.4 DESARROLLO FORMAL ESTETICO DEL SISTEMA DE CUBIERTA

Los objetos diseñados por el hombre tienen tres aspectos funcionales fundamentales que determinan su creación y son: las funciones prácticas, las funciones simbólicas y las funciones estéticas.

Las funciones prácticas son aquellas que se refieren al papel del objeto como un elemento creado para un uso en especial, las funciones estéticas generan sensaciones subjetivas en el usuario, y son parte del potencial artístico del diseñador, y las funciones simbólicas son aquellas que tiene que ver con la creación de una escala de valores por parte del usuario acerca del objeto diseñado, y las señales que se perciben son características y componentes de un lenguaje que se categorizan como señales, generando un nivel significativo en la mente del consumidor.

Durante el proceso de diseño del sistema de cubierta ecológica Teknorooft se ha tenido en cuenta estos aspectos funcionales, y el resultado de la forma tiene que ver con el concepto de diseño que se escogió, y la función que debe cumplir un sistema de cubiertas en las viviendas. Como siempre se ha inculcado en los procesos creativos en que la forma debe seguir a la función de los objetos, logrando así un alto valor tanto estético como simbólico.

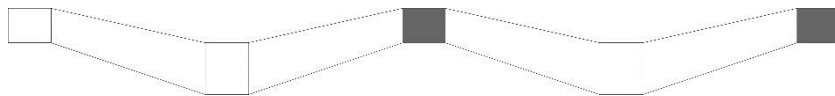
La creación controlada de la forma y la coherencia formal son también aspectos muy importantes que incidieron en el desarrollo de los elementos del sistema de cubierta, y también incidieron plenamente los procesos de manufactura y el material.

Fue necesario desarrollar la forma sin dejar de lado la percepción del usuario, que inmediatamente entienda el diseño, que pueda identificar aspectos formales, técnicos y funcionales, es decir, la arquitectura del objeto juega un papel muy importante en el desarrollo de este producto.

Otro aspecto que tuvo una gran relevancia en el desarrollo formal del sistema fueron los conceptos arquitectónicos actuales aplicados a fachadas flotantes, ya que algunos fabricantes de cubierta tienen como premisa que sus cubiertas tengan protagonismo de fachada y generen sensaciones muy agradables en el usuario.

Teniendo en cuenta que mediante el origami, se podría ofrecer alternativas tanto funcionales como formales, y cumplir con los requerimientos de traslapo y estanqueidad, interactuando con el entorno y creando un concepto de coherencia formal entre la cubierta, el caballete, la limatesa y las juntas a muro, se creó un patrón formal o modulo básico el cual evoluciona y se adapta a cada elemento del sistema según los requerimientos funcionales y formales que debe cumplir.

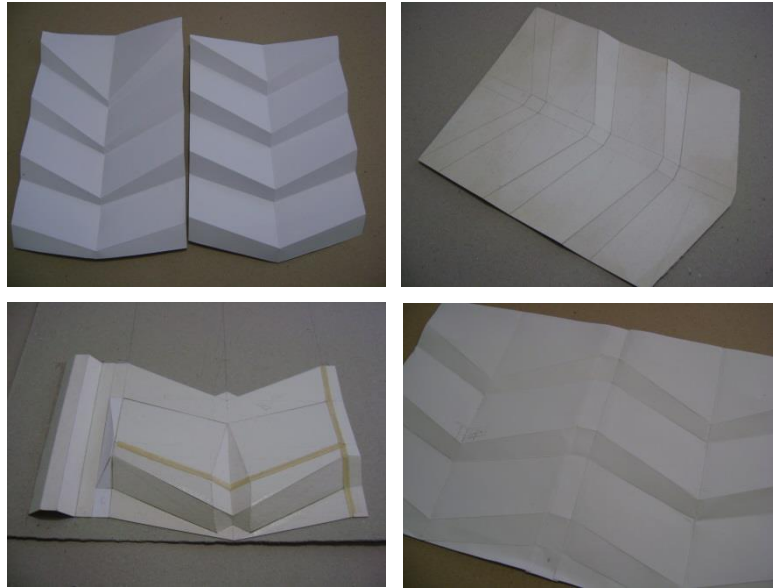
Figura 81. Patrón formal para el sistema de cubierta.



11.4.1 Desarrollo formal de la cubierta. En el desarrollo formal de la cubierta se tuvo en cuenta el concepto de origami y los requerimientos exigidos a las tejas, tales como estanqueidad a la lluvia, a las condiciones atmosféricas y a la dinámica de los vientos. Mediante las líneas y los planos que se creaban con el concepto de origami, se pudo satisfacer los anteriores requerimientos, y fueron evolucionando

de acuerdo a las alternativas existentes en el mercado, los procesos técnicos productivos y los aspectos estéticos formales.

Figura 82. Evolucion formal de la cubierta



Las transiciones entre planos inclinados y oblicuos permiten el deslizamiento del agua, y la seccion transversal trapezoidal del módulo la resistencia a esfuerzos, lo que enriquece la percepcion visual del usuario, generando volumen y contraste entre luces y sombras.

En el desarrollo formal general del sistema de cubierta se emplean conceptos de diseño como repetición, textura, similitud de modulo y simetría.

La cantidad de módulos en la cubierta tiene que ver directamente con la estanqueidad a las aguas lluvias, ya que la inclinación de los planos (refiriéndose al corte longitudinal) no debe exceder la pendiente de la techumbre que es de 27% (15,6°), y la cantidad de transiciones trapezoidales y medidas de largo y ancho están basadas en la cubierta no. 4 del catálogo Skinco Colombit al contar con 4

crestas y 4 valles, para un total de 4 y 1/2 módulos trapezoidales, siendo el 1/2 módulo el traslapo longitudinal.

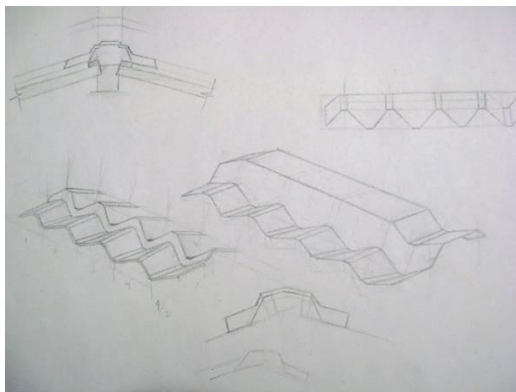
Con respecto al corte longitudinal de la cubierta, los planos inclinados no deben exceder la pendiente de la techumbre como anteriormente se comentaba, por lo que genera 4 módulos triangulares más el traslapo, siendo el traslapo transversal de 14 cm, cumpliendo con la norma NTC 160 de cubiertas.

El traslapo longitudinal es de 90 mm, para ondas medianas que son de 50 mm de altura entre cresta y valle, cumpliendo la NTC 275.

En total son 16 módulos que se observan al ser montada la cubierta, similar cantidad de módulos de las tejas de tipo colonial de Skinco, siendo estas las cubiertas de competencia del sistema Teknorof, generando una riqueza formal gracias a su textura y a la combinación entre planos inclinados y planos oblicuos.

11.4.2 Desarrollo formal del caballete. Siguiendo con el modulo base para el diseño del sistema, el caballete tuvo un desarrollo similar al de la cubierta, teniendo en cuenta los parámetros de medida, la inclinación de la techumbre, como lo muestra la figura:

Figura 83. Alternativas formales del caballete Teknorof.



Inicialmente y teniendo en cuenta el funcionamiento de traslapo del caballete y el montaje con las demás cubiertas, se desarrolló un concepto lineal, lo cual, no está acorde con la textura que genera las cubiertas, así que se propuso un concepto tridimensional, aprovechando el modulo patrón del sistema, enriqueciendo la forma sin que se pierdan la función del traslapo y los requerimientos exigidos al sistema de cubierta.

La simetría del elemento es un concepto de diseño fundamental para su funcionamiento, ya que un punto difícil de desarrollar fue la coincidencia de planos y de traslapo entre caballete y cubierta y entre los caballetes.

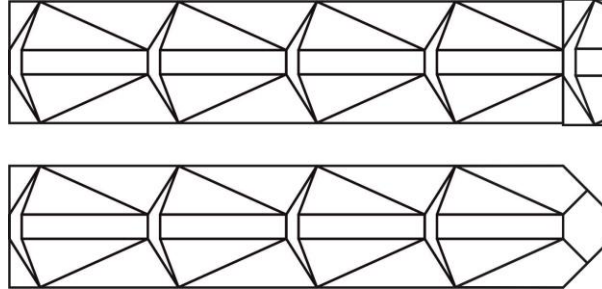
Al interactuar el caballete con las cubiertas, enriquece aún más la textura del sistema de cubierta, resaltando el patrón tipo origami que se propuso desarrollar como ejercicio de diseño industrial.

11.4.3 Desarrollo formal de la limatesa. Para el desarrollo formal de la limatesa se aplicaron conceptos de diseño tales como simetría, similitud de modulo, adición y sustracción de planos.

Este elemento del sistema además de proteger el montaje de las cubiertas en viviendas a 3 o más aguas, también posee coherencia formal con los demás elementos, abstrayendo el modulo patrón y generando una solución funcional y estética para el sistema.

Para generar el traslapo transversal se recurre al concepto de similitud de modulo, teniendo en cuenta el espesor del sistema de cubierta, para que así el acople de la limatesas sea más efectivo.

Figura 84. Limatesa terminal y limatesa Teknorroof.



11.4.4 Desarrollo formal del lucernario. El lucernario es una variación de diseño que posee similitud formal con la cubierta, en el cual por medio de conceptos de sustracción de módulos y adición de un nuevo elemento para el paso de iluminación, conceptos que la hacen diferentes de las cubiertas.

La forma de la claraboya es rectangular, conformada por planos inclinados a 45° , sin olvidar las sensaciones y texturas del sistema, conservando la coherencia formal propuesta.

11.4.5 Desarrollo formal de la junta a muro. En el diseño de las juntas a muro o medio caballete también se consideran los conceptos de simetría, aunque en este caso se sustrae por simetría la mitad del caballete inicial, permitiendo que al coincidir con el muro funcione este elemento del sistema. Se tiene en cuenta también para el traslape adición al módulo, facilitando así el montaje.

11.4.6 Desarrollo formal del elemento de fijación de la cubierta. El desarrollo formal del elemento de fijación de las cubiertas tiene mucha relación con la función que está cumpliendo, refiriéndose a la premisa que el diseño de la forma sigue a la función que el objeto debe cumplir. La cubierta tiene pines de anclaje que se

encastran a presión al accesorio hembra del sistema de fijación, el cual va atornillado a las correas de la estructura de cubierta.

Su lenguaje formal indica el uso que este elemento posee, y da una lectura de la ubicación de los pines en dicho elemento por las cubiertas. Este elemento está diseñado para que la cubierta y los traslapes funcionen correctamente.

11.5 ANALISIS ERGONOMICO DEL SISTEMA DE CUBIERTAS

La ergonomía es tema fundamental en la práctica proyectual del diseño industrial, ya que gracias a esta ciencia el hombre ha aprendido a mejorar la calidad de las herramientas, de los puestos de trabajo y a su vez, mejorando las condiciones laborales gracias a la optimización e investigación en estas áreas.

Además de los aspectos formales y funcionales del producto, los aspectos ergonómicos toman vital importancia, ya que estos relacionan al usuario con el producto. Estos aspectos ergonómicos son: la antropometría (ergonomía física), el análisis de la percepción, el color y su influencia objeto – usuario, la adaptación e interacción del usuario con el objeto (ergonomía cognitiva) y las condiciones laborales y seguridad industrial (ergonomía ambiental).

El sistema de cubierta diseñado tiene relación directa con el usuario, ya que este tiene contacto directo con el producto por medio de sus manos, y donde intervienen las demás extremidades, aumentándose los riesgos de accidentalidad y de patologías causadas por exceso de trabajo, fatiga muscular, malas posturas y exposición excesiva a factores ambientales, entre otros.

Ya que el sistema de cubierta se instala en alturas, se ha de tener en cuenta consideraciones de tal orden, estudio de posturas y factores de riesgo laboral de este tipo de trabajos e instalaciones.

11.5.1 Análisis ergonómico de los elementos del sistema de cubierta. Para la manipulación, montaje y transporte de las cubiertas intervienen las manos, los brazos, las extremidades inferiores, y sobre todo la columna vertebral.

Figura 85. Relación postural e interacción operario – cubierta.



Durante las operaciones de acondicionamiento del área de obra destinada a las cubiertas, acopio de material, montaje del sistema de cubiertas y elementos de fijación del sistema y limpieza del área de trabajo, los movimientos que realiza el cuerpo son los siguientes:

Movimientos de espalda:

- Espalda recta en el cual el eje del tronco esta alineados con las caderas y las piernas.
- Espalda doblada: En donde existe flexión del tronco superior a 20°.
- Espalda con giro: Se realiza torsión parcial o completa del torso.
- Espalda doblada con giro: Existen movimientos de torsión, flexión y giros de manera simultánea.

Movimientos de brazos:

- Ambos brazos bajos: En el cual ambos brazos se ubican bajo la altura de los hombros.
- Un brazo por encima del hombro: Un brazo a nivel de los hombros y otro por encima.
- Ambos brazos elevados: En el cual ambos brazos están por encima del nivel de los hombros.

Movimientos de piernas

- En posición sedente.
- De pie con ambas piernas rectas
- De pie soportando peso en 1 pierna
- De pie con peso en ambas piernas
- Ambas piernas flexionadas
- Arrodillado
- Caminando en obra.

Figura 86. Diferentes posturas en obra.



Las medidas de los elementos de cubierta, no exceden los 124 cm de largo y 100 cm de ancho, tales dimensiones hacen más fácil el transporte y la instalación en obra de los elementos por parte de los operarios.

Los factores de riesgo a tener en cuenta en las operaciones en obra en el tema de las cubiertas son los siguientes:

Esfuerzos transmitidos al sistema brazo – mano: Por medio de cargas físicas, posturas forzadas, movimientos repetitivos, sobreesfuerzos y vibraciones generadas por las herramientas eléctricas y manuales.

Esfuerzos transmitidos al cuerpo entero: Debido a sobreesfuerzos y cargas pesadas y sobredimensionadas, generando patologías lumbares, túnel carpiano, epicondilitis, dedos engatillados, entre otras.

Descarga de materiales.

Riesgo de caída de personal en obra a distinto nivel: Debido a la falta de estabilidad de las estructuras de soporte, escaleras, andamios, tablonos, o por la falta de estos mismos.

Caída de objetos por derrumbamiento.

Cortes con objetos filosos y herramientas: Debido a la no utilización o uso incorrecto de elementos de seguridad tales como gafas, guantes, cascos, caretas, entre otros.

Riesgos higiénicos o ambientales: Se consideran como riesgos ambientales la sobreexposición a las radiaciones solares, a humos y polvillo, al exceso ruido sin protección y vibraciones excesivas.

11.5.2 Análisis ergonómico del elemento de fijación de la cubierta. La sujeción que hace la mano del operario para realizar la fijación a las correas del elemento de soporte de cubiertas se llama prensa pluridigital comisural, en la cual se presiona el elemento con el dedo pulgar más dos o tres dedos.

El objeto se envuelve en la primera comisura, y el dedo pulgar e índice extendidos, lo que facilita la manipulación del elemento de fijación del sistema, e instalarlo en las correas.

11.5.3 Análisis del color de los elementos del sistema diseñado. El color es considerado como un gran agente productor de estímulos, y tiene a capacidad de hacer pasar desapercibido un objeto o resaltarlo con el entorno.

El entorno que rodea al producto es un entorno rico en texturas y colores, en donde predominan los colores verdes, la gama de colores naranja, ocre, azules y grises. En el mercado de cubiertas encontramos colores rojo ladrillo, naranja, azul, verde y gris, además de cubiertas transparentes y traslucidas.

Lo que se busca es que haya un equilibrio perceptivo entre el objeto y el entorno, y los colores rojo, azul y el verde cumplen con este equilibrio, haciendo posible la diferenciación e identificación entre el entorno y el objeto.

El color del elemento de fijación del sistema será blanco o beige, para ser neutral con los demás elementos, y porque el polietileno de baja densidad es más económico en procesos de inyección de polímeros termoplásticos.

12. PRUEBAS REALIZADAS A LA CUBIERTA

12.1 PRUEBA DE FLAMABILIDAD

Esta prueba está basada en la NTC 1003: Laminas corrugadas de poliéster reforzado. En esta prueba se realiza la exposición a llama intermitente del material, en una estufa a gas casera, durante 1 minuto para observar la distancia de quemado de las probetas. Las probetas que fueron utilizadas en esta prueba fueron de resina poliéster con tamo molido + fique (3), y probetas con resina poliéster con tamo molido y clasificado + fique (3). Los resultados fueron los siguientes:

Probeta 1 tamo molido + fique: 3.9 cm

Probeta 2 tamo molido + fique: 4.2 cm

Probeta 3 tamo molido + fique: 3.5 cm

La distancia promedio en las probetas de tamo molido + fique es de 3.86 cm, por debajo del límite de la prueba que es de 5cm x minuto. Los resultados de las probetas de tamo clasificado + fique son los siguientes:

Probeta 1 tamo molido y clasificado + fique: 3.9 cm

Probeta 2 tamo molido y clasificado + fique: 4.4 cm

Probeta 3 tamo molido y clasificado + fique: 4.2 cm

La distancia promedio en las probetas de tamo clasificado + fique es de 4.16 cm, por debajo del límite de la prueba de flamabilidad de la norma. La probeta de tamo molido se quema más lentamente que la de tamo clasificado.

Figura 87. Probetas de la prueba de flamabilidad del material.



12.2 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA INTEMPERIE

Se dispuso una probeta de resina poliéster y cascarilla de arroz sin moler en la azotea de un edificio del barrio mejoras públicas de la ciudad de Bucaramanga, en donde la radiación solar está presente desde las 6 de la mañana promedio, hasta las 3:30 de la tarde. Se hizo el estudio desde el 30 de diciembre de 2013 hasta el 3 de marzo de 2014, pero la probeta se retiró de la azotea el día viernes 22 de agosto de 2014.

La temperatura fue tomada de la página web de Canal clima, a las 7:00 am., 12:00 m. y 7:00 pm.

Las dimensiones de la probeta son las siguientes: 38,7 cm de largo x 24,8 cm de ancho, y un espesor promedio de 3 mm. Al retirar la probeta de la azotea la variación dimensional fue de 1 mm de largo y 1 mm de ancho.

Figura 88. Probeta de exposición a la intemperie.



Grafico 9. Temperatura promedio en Bucaramanga 30/12/2013 hasta 3/03/2104

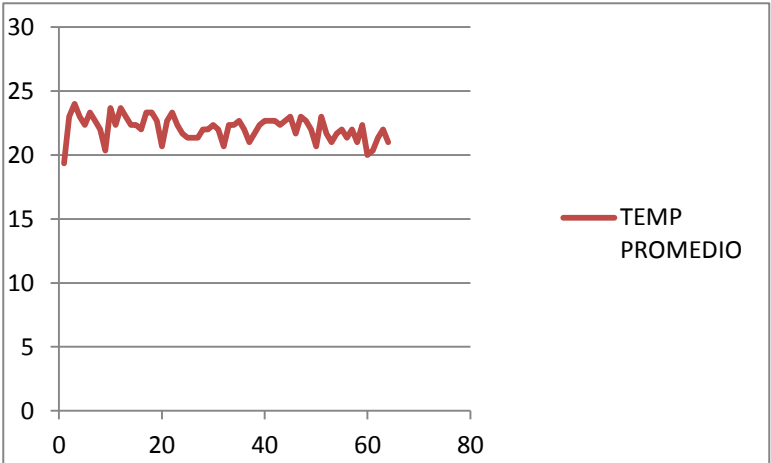
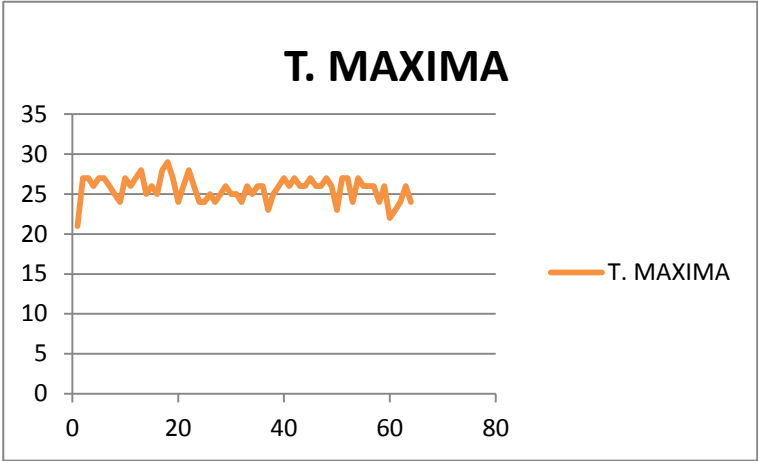


Gráfico 10. Temperaturas máximas en Bucaramanga del 30/12/2013 hasta 3/03/2104



13. DISEÑO FINAL

En esta etapa se describe el sistema de cubierta ecológica para vivienda rural llamado "Teknorooft", y es fabricado con resina poliéster (UP) palatal o ecoline reforzada con cascarilla de arroz molida y seleccionada, más fique (0,5% del peso total de la cubierta y sus elementos es fique).

Los moldes de los elementos son mecanizados en cnc y de material MDF de alta densidad, luego serán fundidos en aluminio y montados en bases del mismo material para el cuadro en las prensas hidráulicas de los moldes.

Con este proyecto se busca generar una alternativa para la utilización de la cascarilla de arroz, puesto que este material genera graves problemas de compostaje, de almacenamiento y es una amenaza ambiental enorme, ya que su biodegradación tarda mucho tiempo.

Los elementos del sistema son livianos, y permiten ser almacenados y apilados, haciendo más fácil su transporte.

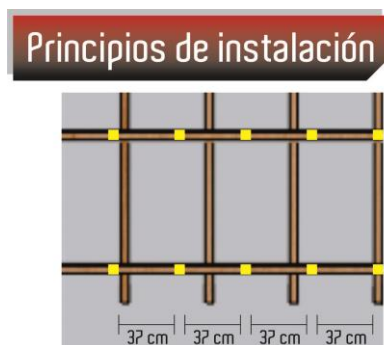
La resina poliéster reforzada con tamo de arroz y fique ofrece un producto de gran confort térmico, que cumple con los requerimientos de estanqueidad y aislamiento térmico, ya que la resina poliéster presenta esta característica.

Su montaje exige alineamiento y escuadría, gracias a su diseño hay gran disipación de la energía y se reduce el riesgo de condensación en el interior de las viviendas gracias a su perfil triangular longitudinal y perfil transversal trapezoidal.

13.1 MONTAJE DEL SISTEMA DE CUBIERTA PASO A PASO

1. En el primer paso se realizan los trabajos previos de acondicionamiento para la instalación del sistema de cubierta, revisión de la estructura de pares, correas vigas de apoyo y viga cumbreira, y la limpieza de esta estructura si es necesario. Además de la instalación de los equipos y herramientas de trabajo. (Se recomienda tener en cuenta espaciamiento entre correas de 102 cm y medida de sección transversal 6 x 6 cm).
2. En el segundo paso se hace el acopio del material de la techumbre: cubiertas, caballetes, limatesas, lucernarios, limahoyas (no necesarias en todos los casos), y los elementos de fijación del sistema.
3. En el tercer paso se realiza el montaje de los elementos de fijación del sistema de cubiertas, y las limahoyas si son necesarias.

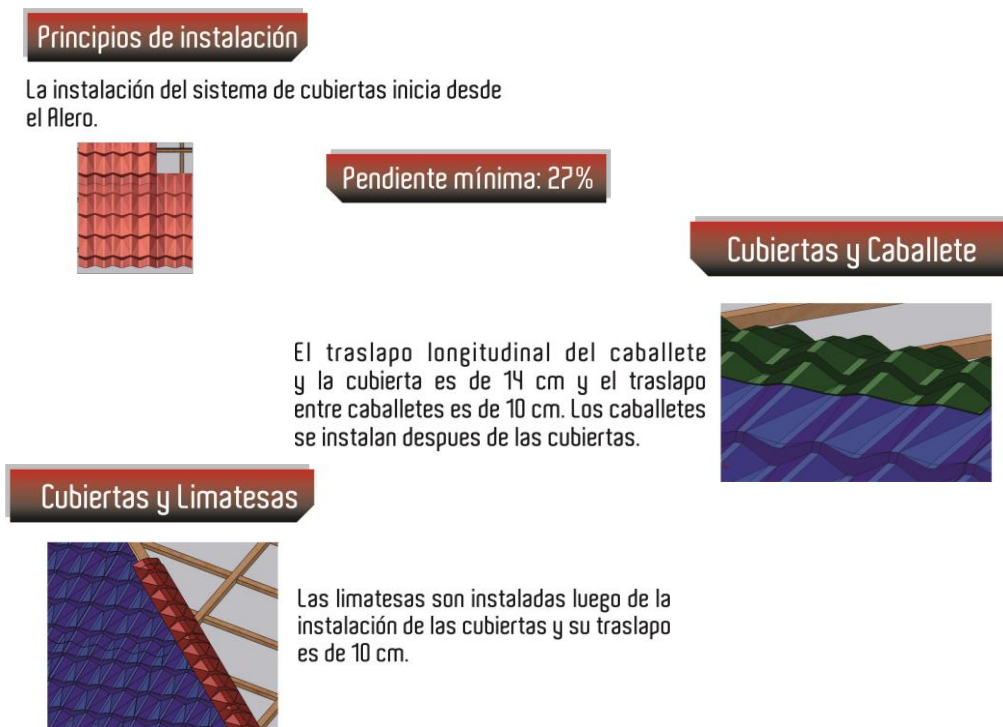
Figura 89. Instalación del elemento de fijación del sistema.



Los elementos de fijación deben ser instalados desde el Alero, y espaciados entre sí 37 cm.

4. El cuarto paso es la instalación de las cubiertas y demás accesorios (menos la limahoya), en el cual se hace el aprovisionamiento y subida de las tejas, instalación de caballetes (juntas a muro si fuese el caso) y limatesas. Se recomienda para la tarea de subir las tejas que intervengan al menos 2 operarios, y subir las tejas amarradas con sogas preferiblemente, si la altura de la cubierta lo requiere. El corte de las cubiertas se hace con caladoras manuales, y sus cuchillas de corte deben tener de 12 a 18 dientes por pulgada.

Figura 90. Principios de instalación de los elementos del sistema.



5. Y por último, el quinto paso se refiere a la retirada de exceso de materiales, herramientas, la eliminación de residuos, limpieza de las cubiertas y acarreo de escombros.

13.2 PROCESOS DE PRODUCCION

Las cubiertas, los caballetes, las juntas a muro, lucernarios y limatesas tienen moldes modelados en el programa CAD Artcam, para su posterior mecanizado en cnc. Luego se funden los moldes en aluminio y se hace el ajuste de los moldes a la prensa hidráulica.

El elemento de fijación es modelado también en Artcam o Solidworks para su posterior mecanizado. Este molde se hace en acero, para luego ser inyectado en polietileno de baja densidad (PEAD), material que permite la flexibilidad del elemento para permitir el encastre a presión de los pines de las cubiertas, caballetes, lucernarios y limatesas.

El proceso de producción de los elementos del sistema se hace por laminado, y el primer paso es aplicar resina poliéster con el pigmento mineral y su catalizador, que en el tiempo de gelado se aplica la cascarilla de arroz y luego se prensa, teniendo una cubierta tipo sándwich de poliéster reforzado con cascarilla de arroz y fique, con su respectiva nomenclatura UP – N + G (según la NTC 4998), siendo UP la nomenclatura de la resina poliéster, la N corresponde al material de refuerzo natural y la G quiere decir que es material de refuerzo molido y/o clasificado.

Según la calidad del molde y el curado del mismo, la presentación del objeto es semi brillante, perdiendo brillo paulatinamente al paso de las semanas por la exposición a las radiaciones solares y radiaciones UV.

Moldes

Como anteriormente se describió, los moldes son mecanizados en MDF de alta densidad y posteriormente fundidos en aluminio.

Figura 91. Mecanizado cnc de los moldes y moldes curados con sellador.



Los moldes de inyección para el elemento de fijación del sistema de cubierta, serán fabricados en la empresa Simar cnc, en acero marca Bohler, templado y revenido, con un costo de \$5'000.000 mcte.

El valor de los moldes mecanizados en MDF de alta densidad (Incluido material) de las cubiertas (para cubiertas y lucernarios), fundidos posteriormente en aluminio tienen un valor de 10'000.000 mcte cada uno.

Los moldes de las limatesas y caballetes, mecanizados en MDF de alta densidad (Incluido material) y fundidos posteriormente en aluminio tiene un valor de \$7'000.000 mcte cada uno.

Maquinaria

Prensa hidráulica: indispensable para el desarrollo de la empresa Teknorroof, ya que el conformado de las piezas laminadas y prensadas se haría con este sistema.

Figura 92. Prensa hidráulica Tongan TA 48 100T



Fuente: <http://www.solostocks.com.co>

Este tipo de prensas hidráulicas es idónea para la fabricación de cubiertas y puertas, con un área de trabajo de 2500 x 1250 mm y 100 toneladas de capacidad de presión hidráulica, con rodillos de alimentación para facilitar el cargue y descargue del material a prensar. Precio aproximado: \$50'000.000 mcte sin IVA.

Sierra sin fin: La sierra sin fin se hace indispensable en la producción de los sistemas de cubiertas Teknorooft, para el refilado de las cubiertas, caballetes y demás elementos que los conforman.

Figura 93. Sierra sin fin marca Skill para corte de polímeros.



Fuente: <http://www.herramientasskil.com.ar>

Datos técnicos: Sierra sin Fin 3385 - 250/270 W

Potencia, de	250 W / 220 V
Potencia, hasta	270 W / 127 V
Velocidad	1.360 – 1.650
Tamaño mesa	300 x 300
Inclinación	0 – 45
Capacidad de corte	89 mm
Espesor de lámina	1/4"
Peso	13,7

Es importante precisar que la cinta de corte debe ser de 3/8" o 1/2" de ancho, y de 14 a 18 dientes por pulgada, para cortar polímeros. El costo de esta sierra sin fin es de aprox. \$500.000 mcte sin IVA.

Molino de martillo: Para moler la cascarilla de arroz y obtener el tamo, se utiliza un molino de martillo, como el que se muestra en la imagen:

Figura 94. Molino de martillo serie SFSP



Fuente: <http://es.made-in-china.com>

El molino de martillo se utiliza principalmente para machacar cascara de maíz, cereales y arroz, entre otras. El resultado puede ser variable dependiendo de la granulometría que se necesite, gracias a la regulación de velocidad.

El precio de este tipo de molino oscila entre los US. \$ 1000 – 2000 Dólares.

Costos de producción

Para empezar la producción de los elementos de fijación, los moldes pueden ser fabricados en la República Popular de China, y la inyección posterior en polietileno de baja densidad también allí mismo, mas envíos de las piezas, y se ahorrarían costos, luego se procedería a montar el sistema de inyección aquí en la ciudad.

Para la producción de una cubierta, se necesitan de 2.5 a 3 kg de resina poliéster, entre 800 y 1000 gr de cascarilla de arroz molida y de 10 a 15 gr de fique (correspondiente al 0,5%).

Tabla 16. Costos de producción de la cubierta.

MATERIALES	CANT.	UNIDAD	VLR. UNITARIO (\$)	VLR. PARCIAL
Resina poliéster	2,5	kg	6000	15000
MEK	100	gr	3500	350
Cascarilla de arroz	1	kg	166	166
Fique	1	kg	10000	50
Pigmento mineral	1	kg	4000	2000
TOTAL MATERIALES				17566
P.V.P.				45000

Tabla 17. Costos de inversión para un valor inicial de 10000 unidades.

EQUIPOS	CANT.		VALOR SIN IVA	X 10000 U
Molino de martillo	1		3000000	300
Prensa hidráulica	1		5000000	5000
Sierra sin fin	1		500000	50
Molino de martillo	1		4000000	40
INVERSION INICIAL			57500000	5390

P.V.P. Caballete Teknorooft aprox.: \$20.000

P.V.P. Junta a muro Teknorooft aprox.: \$ 12.000

P.V.P. Limatesa / Limahoya Teknorooft aprox.: \$ 15.000

P.V.P. Accesorio de fijación del sistema x 10 u. aprox.: \$ 5.000

Estos valores se han calculado proporcionalmente según el valor de la cubierta.

13.3 TRANSPORTE

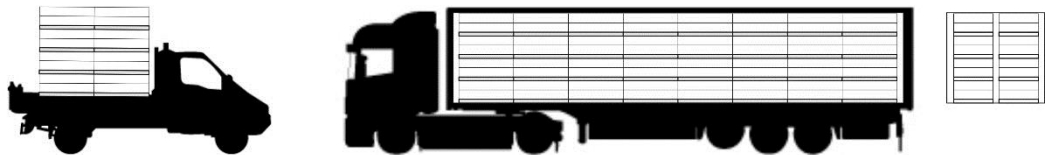
Para la economía de una región el transporte de los productos es vital para el funcionamiento de las industrias. Es por ello que hay que considerar este punto de una manera notable.

Los sistemas de cubierta se han de transportar por tierra en el territorio nacional inicialmente, en contenedores para carga de 30 x 8 x 8.6 pies o de 40 x 8 x 8.6 pies.

En el primer tamaño de contenedor se puede transportar hasta 512 cubiertas, con estibas de protección de 10 cm de altura cada una, arrume de 16 cubiertas y por columna 64 cubiertas.

En el segundo tamaño de contenedor se puede transportar hasta 1024 cubiertas, con sus estibas de protección, arrume de 16 cubiertas y 64 por columna.

Figura 95. Apilamiento de las cubiertas en 2 tipos de vehículos de carga.



Nota: Al personal de obra se le recomienda utilizar arnés de protección lumbar y guantes para el cargue y descargue del material, y el tránsito sobre cubiertas debe hacerse sobre tablonos de madera.

13.4 MARCADO Y ROTULADO

Según las sugerencias de la norma NTC 2571: Láminas onduladas trapezoidales de aluminio y materiales no ferrosos, sugiere que las láminas debe rotularse con los siguientes elementos:

1. Nombre y/o símbolo del producto (para el caso sería UP – N+G).
2. Clase y tipo de lámina (Tipo I por la velocidad de quemado del material).
3. Símbolo de la masa del recubrimiento (Pigmento mineral en este caso).
4. Dimensiones en mm del producto.
5. No. De cubiertas y/o peso del paquete en kg.
6. Destino y orden de compra (Opcional).
7. Acabado del recubrimiento (Opcional).

El marcado de las láminas debe hacerse con el logo, símbolo o nombre del fabricante y espesor en mm. El marcado debe efectuarse mediante impresión o pintura, de tal manera que se garantice una resistencia adecuada a la manipulación y la intemperie. La norma sugiere hacerlo con lo menos un 20% como mínimo de un lote de 100 cubiertas.

Figura 96. Ejemplo de etiqueta para cubiertas Teknorroof.



14. CONCLUSIONES

1. El material escogido para la fabricación del sistema de cubiertas es el resultado de la mezcla de resina poliéster isoftàlica palatal (75% del peso), cascarilla de arroz molida (25% del peso) con 0,5% de fique correspondiente al peso total, y su resistencia a la flexión es de 30,636 Mpa, y módulo de elasticidad de 1333,665 Mpa.
2. En la fabricación del material de las probetas se presentaron muchas porosidades y burbujas de aire, lo que disminuye las propiedades mecánicas del material, sin embargo, los resultados de las pruebas fisicomecànicas fueron satisfactorios (las probetas de compresión soportaron un máximo esfuerzo de 72,515 Mpa).
3. El límite elástico coincide con el límite de ruptura, puesto que las gráficas de la prueba de tracción muestran este resultado lineal, propio de materiales frágiles que no presentan fase elástica-plástica.
4. Con el proceso de producción de los elementos de las cubiertas mediante laminado y prensado, se busca disminuir las porosidades propias de la reacción entre la resina y el catalizador, aumentando las propiedades fisicomecànicas del material propuesto para la fabricación de los elementos del sistema Teknoroof.

5. Con la adición de la fibra natural de fique se pudo comprobar el aumento del módulo de elasticidad y el esfuerzo máximo a flexión del material propuesto.
6. La fabricación de este tipo de elementos con materiales orgánicos de difícil biodegradación, abre las puertas a nuevas oportunidades de negocio, donde se da un uso real a la cascarilla de arroz, el cual genera un problema complejo de compostaje y de almacenamiento a las arroceras.
7. La resina poliéster es un material altamente resistente a las condiciones ambientales y radiaciones solares, generando una alta expectativa en los resultados de durabilidad, ya que en 8 meses de observación de la probeta a la intemperie se generó una contracción de 1 mm de largo y 1 mm de ancho, lo que sugiere que el material es idóneo para cumplir con los requerimientos exigidos al material de las cubiertas.
8. Gracias al bajo costo de la cascarilla de arroz y el fique, además de la baja utilización de resina poliéster en el laminado, se puede ofrecer un producto competitivo en precio con las alternativas existentes de cubierta, siendo un firme candidato para el comprador de sistemas de cubiertas, arquitectos, ingenieros constructores y población en general.
9. El desarrollo formal de la cubierta mediante el concepto de origami, combinando planos inclinados y oblicuos, generan una textura diferente, generando así una nueva alternativa estética formal de cubiertas al mercado.

10. Aunque el sistema de fijación de los elementos a la estructura de soporte de las cubiertas exige alineamiento y escuadría, ofrece una opción para disminuir las filtraciones de agua que se crean por la perforación de las tejas con taladros y tornillos auto perforantes, mediante el encastre a presión.

BIBLIOGRAFIA

- CASTELLS, Xavier Elías. Reciclaje de residuos industriales: Aplicación a la fabricación de materiales para construcción. Madrid: Ediciones Díaz de Santos s.a. 2000. 584 p.
- CHACON VARGAS, Jairo Raúl. Declaración ambiental del producto. Edición nuevas ediciones. Bogotá: Primera edición. P. 80-89.
- CONCEPTO DE CONSTRUCTIBILIDAD. Consultado: 25/08/2012. Disponible en: <http://ingenieria-y-construccion.blogspot.com/2008/03/la-constructabilidad.html>
- CUBIERTAS EN LA HISTORIA. Clases de cubiertas. Consultado 12/08/2013. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org/>
- CUBIERTAS. Catálogo de cubiertas ACESCO. Consultado 26/07/2014. Disponible en: <http://www.acesco.com/acesco/>
- CUBIERTAS. Catálogo de cubiertas CUBIERTEC. Consultado 26/07/2014. Disponible en: <http://cubiertec.com/>
- DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN COLOMBIA. Consultado: 26/08/2013. Disponible en: http://www.superservicios.gov.co/c/document_library/

- DOCUMENTO BASICO DE HIGIENE Y SALUBRIDAD. Documento PDF pág. 27. Consultado: 2/08/2013. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org/>

- ELEMENTOS DE UNA CUBIERTA INCLINADA. Consultado: 25/08/2013. Disponible en: <http://www.construmatica.com/construpedia/>

- LOPEZ R., Luis. Manual del constructor popular. Venezuela: Imagen editorial. 22^a edición. 1996.

- MINKE, Gernot. Cubiertas Verdes. Alemania: Editorial Fin de Siglo. 1985. P. 9 – 21.

- QUICENO VILLADA, David; MOSQUERA GUTIERREZ, Marvin Yair. RAMIREZ DUQUE, JOSE, DIR.; UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE, DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA; TESIS (PREGRADO); Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible. Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali. 2010. 108 p.

- RAMIREZ LUNA, Diana Stella; CRUZ HERNANDEZ, RICARDO. DIR.; UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL; TESIS (PREGRADO); Propuesta de un material compuesto con base al PET reciclado con aplicaciones en construcción. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 2011. 136 p.

- RESTREPO, Juan Camilo. Cumbre de Camacol, 24 de abril de 2013. Consultado: 26/08/2013. Disponible: <http://camacol.co/noticias/100000-viviendas-para-disminuir-el-d%C3%A9ficit-en-el-sector-rural>

- SANCHEZ, Luis Enrique. Evaluación del impacto ambiental: Conceptos y métodos. Ediciones Ecoe. 2011. P. 22-33.

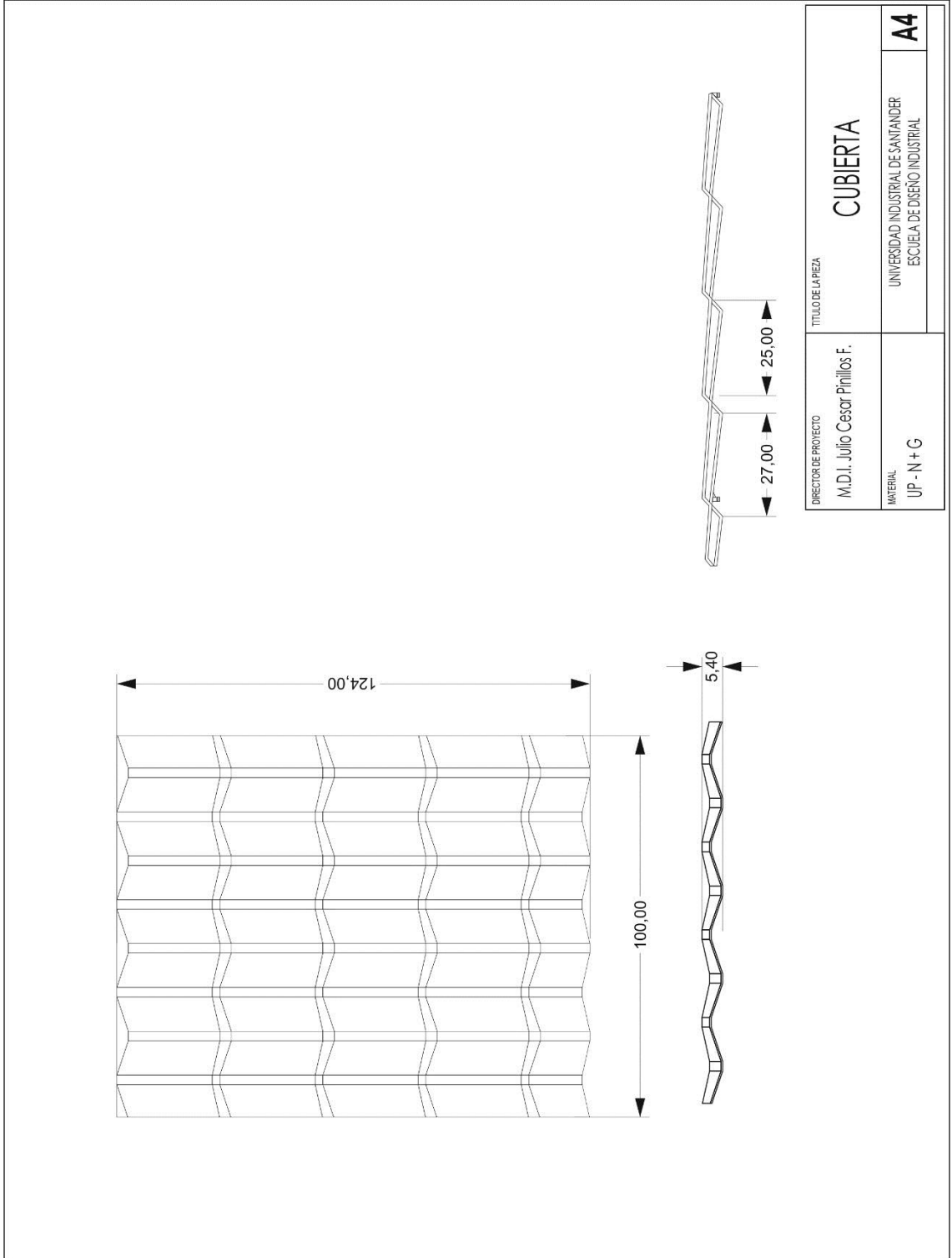
- SIERRA AGUILAR, Jaider. VERGARA GARAY, CARLOS, DIR.; UNIVERSIDAD DE SUCRE, DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA; TESIS (PREGRADO); Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia. Universidad de Sucre, Sincelejo. 2009. 120 p.

- ULRICH, Carl – EPPINGER, Steven D. Diseño y Desarrollo de Productos. 4 edición, México: Mc Graw Hill, 2009. P. 61- 104.

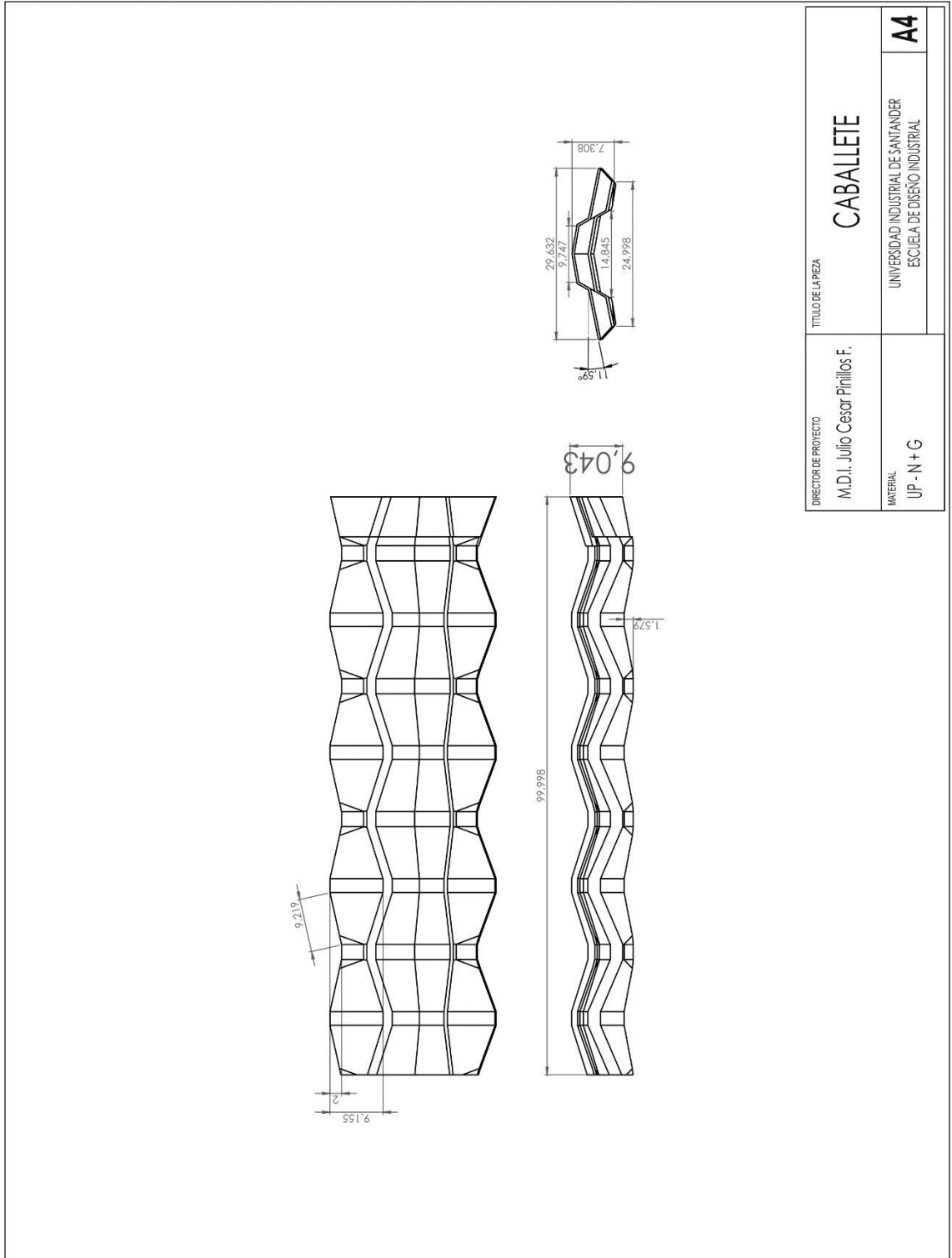
- VIÑOLAS M., Joaquim. Diseño Ecológico. Primera edición, Barcelona: editorial Blume, 2005. P. 85 – 91.

ANEXOS

ANEXO A

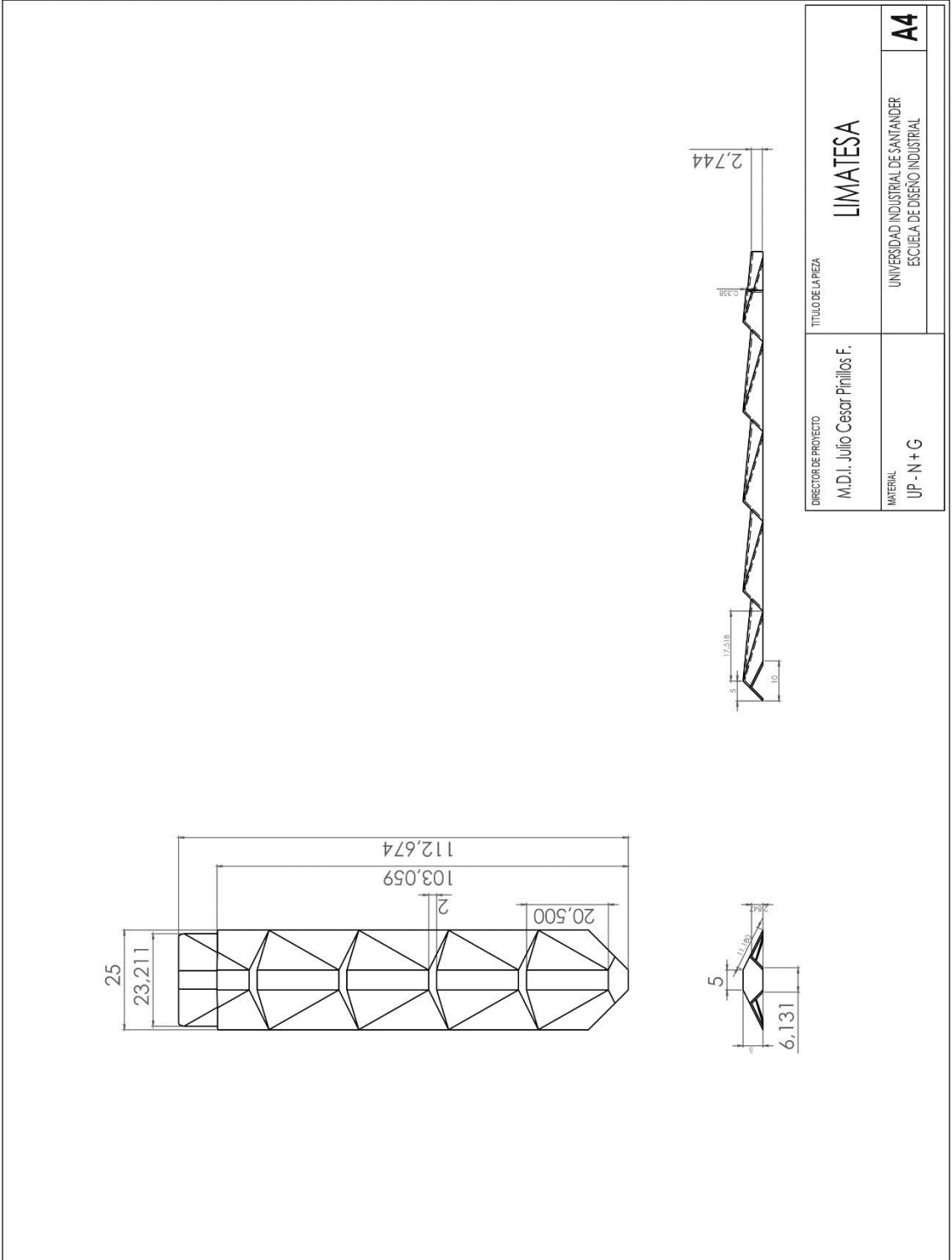


ANEXO B

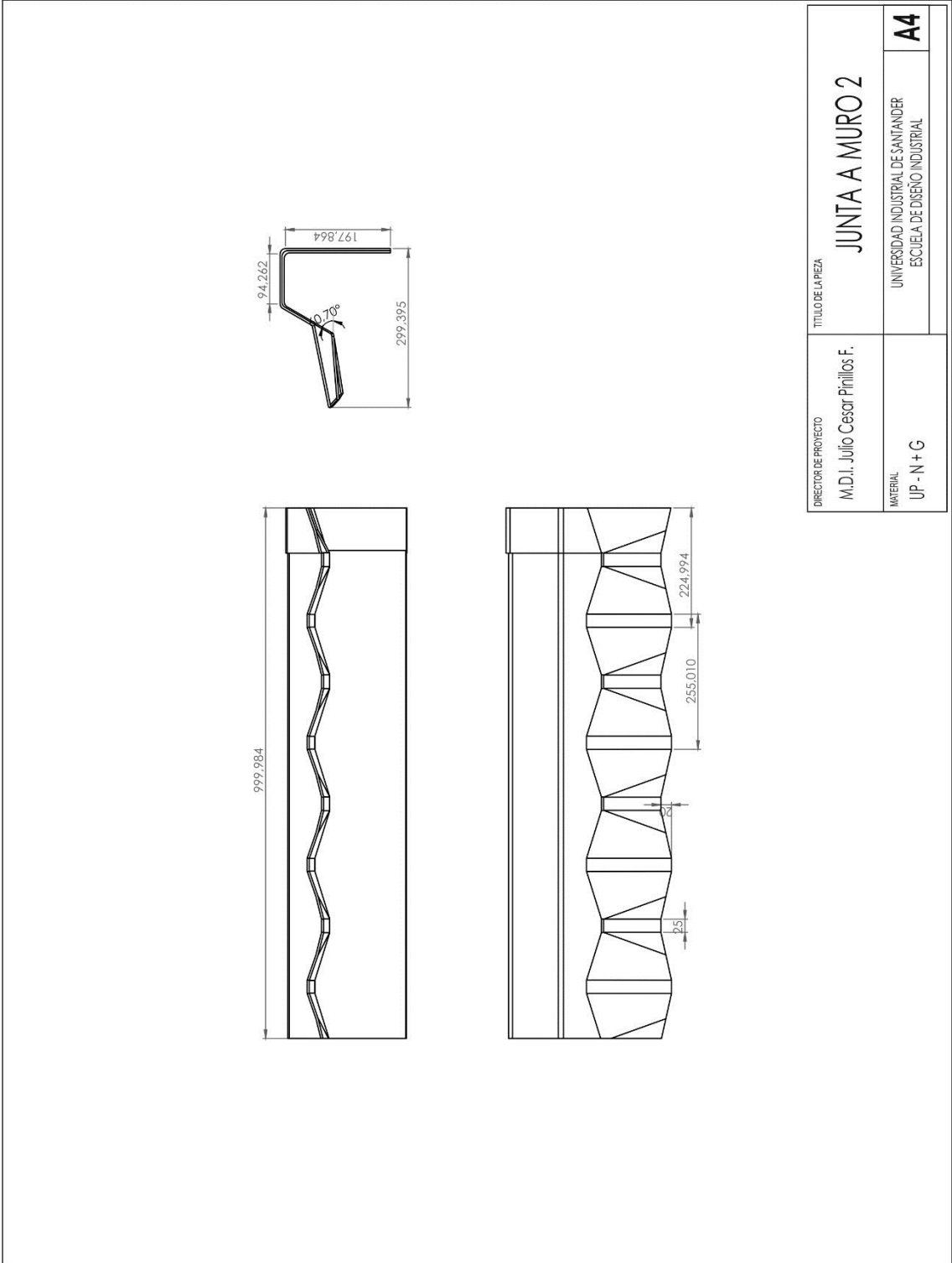


DIRECTOR DE PROYECTO M.D.I. Julio Cesar Pinillos F.	TITULO DE LA PIEZA CABALLETE
MATERIAL UP - N + G	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
	A4

ANEXO C

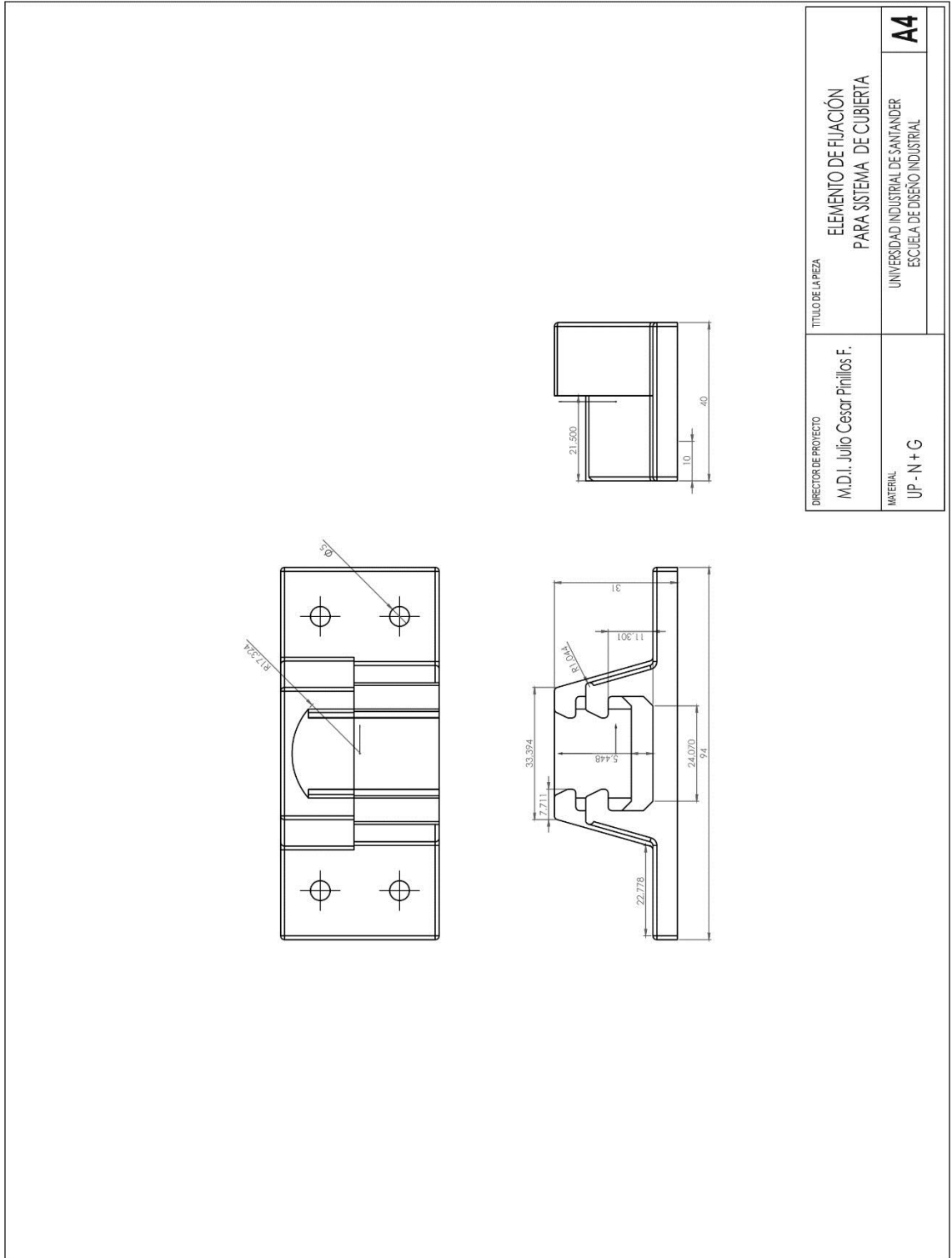


ANEXO D



DIRECTOR DE PROYECTO M.D.I. Julio Cesar Pinillos F.	TITULO DE LA PEZA JUNTA A MURO 2
MATERIAL UP - N + G	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
	A4

ANEXO E



DIRECTOR DE PROYECTO M.D.I. Julio Cesar Pinillos F.	TITULO DE LA PIEZA ELEMENTO DE FIJACIÓN PARA SISTEMA DE CUBIERTA
MATERIAL UP - N + G	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
	A4