

	GESTIÓN DE RECURSOS Y SERVICIOS BIBLIOTECARIOS		Código	FO-GS-15
			VERSION	02
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		FECHA	03/04/2017
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES):

NOMBRE(S): BRAYAN LUKEY APELLIDOS: MENDOZA GRANADOS

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

FACULTAD: ECUACIÓN, ARTES Y HUMANIDADES

PLAN DE ESTUDIOS: ARQUITECTURA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): ASTRID MATILDE APELLIDOS: PORTILLO RODRÍGUEZ

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): ENVOLVENTE MODULAR EN GUADUA COMO ESTRATEGIA DE DISEÑO PASIVO PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN LA CIUDAD DE CÚCUTA

RESUMEN

Este proyecto trata acerca de un envolvente modular en guadua como estrategia de diseño pasivo para viviendas de interés social en la ciudad de Cúcuta. Para ello, se realizó una investigación experimental. La recolección de información se obtuvo mediante investigaciones bibliográficas y de documentos que nos permitieron estudiar las diferentes posibilidades de construcción en guadua. La población, corresponde a las viviendas de interés social construidas en la ciudad de Cúcuta. El muestreo, esta conformado por las viviendas VIS en tipología unifamiliar y bifamiliar de la ciudad, de las cuales se reconocieron sus características morfológicas básicas. Se logró, diseñar una envolvente modular como estrategia de diseño pasivo. Se realizó, la identificación y consolidación de posibilidades constructivas de la guadua en edificaciones. Seguidamente, establecieron las características de materialidad en la envolvente de vivienda. Posteriormente, se caracterizaron las posibilidades constructivas y propuesta de diseño de la envolvente modular. Finalmente, se evaluó el rendimiento térmico de la envolvente modular en guadua por medio de herramientas digitales.

PALABRAS CLAVE: envolvente modular, viviendas de interés social, guadua.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 303 PLANOS: _____ ILUSTRACIONES: _____ CD ROOM: 1

Copia No Controlada

ENVOLVENTE MODULAR EN GUADUA COMO ESTRATEGIA DE DISEÑO PASIVO
PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN LA CIUDAD DE CÚCUTA

BRAYAN LUKEY MENDOZA GRANADOS

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE EDUCACIÓN, ARTES Y HUMANIDADES
PLAN DE ESTUDIOS DE ARQUITECTURA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

ENVOLVENTE MODULAR EN GUADUA COMO ESTRATEGIA DE DISEÑO PASIVO
PARA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN LA CIUDAD DE CÚCUTA

BRAYAN LUKEY MENDOZA GRANADOS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:

Arquitecto

Directora:

ASTRID MATILDE PORTILLO RODRÍGUEZ

Arquitecta

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE EDUCACIÓN, ARTES Y HUMANIDADES
PLAN DE ESTUDIOS DE ARQUITECTURA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS – Mediada por herramientas TIC
PLAN DE ESTUDIOS DE ARQUITECTURA**

Fecha: Septiembre 01 de 2020

TITULO:“ ENVOLVENTE MODULAR EN GUADUA COMO ESTRATEGIA DE DISEÑO PASIVO PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN LA CIUDAD DE CÚCUTA.”.

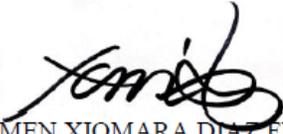
Presentado por: BRAYAN LUKEY MENDOZA GRANADOS Código 1500766

Modalidad: Investigación.

JURADO CARMEN XIOMARA DIAZ FUENTES
RAIZA LORENA BARRERA VEGA
LUIS ARMANDO JAIMES RAMIREZ

DIRECTOR: ASTRID MATILDE PORTILLO RODRIGUEZ

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CALIFICACIÓN	A. M. L.
BRAYAN LUKEY MENDOZA GRANADOS	5.0	LAUREADA


CARMEN XIOMARA DIAZ FUENTES


RAIZA LORENA BARRERA VEGA


LUIS ARMANDO JAIMES RAMIREZ

CARMEN XIOMARA DIAZ FUENTES
Directora Comité Curricular



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta,

Señores
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS
Ciudad

Cordial saludo:

Brayan Lukey Mendoza Granados, identificado(s) con la C.C. N° 1090504403, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado Envolvente modular en quadua como estrategia de diseño pasivo para viviendas de interés social en la ciudad de Cúcuta presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar al título de Arquitecto; autorizo(amos) a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que **“los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores”**, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

C.C. 1090504403

FIRMA Y CEDULA

Agradecimientos

A Dios por sostener y guiar el timón de mi barca, por otorgarme las fuerzas y sabiduría para lograr mis sueños y encontrar tierra firme. A mi hermana y mis padres por enseñarme el valor de honrarlos en sus esfuerzos que han tenido conmigo.

Al programa de Arquitectura junto a mis profesores por acompañarme en el proceso de aprendizaje, desarrollo de la carrera y el proyecto de investigación. Especialmente a mi directora del proyecto Astrid Portillo, mi codirector Javier Lemus y la asesoría proporcionada por el arquitecto Ramón Galvis Centurión.

Contenido

	pág.
Introducción	26
1. Problema	28
1.1 Titulo	28
1.2 Descripción del Problema	28
1.3 Formulación del Problema	30
1.4 Justificación	30
1.5 Objetivos	32
1.5.1 Objetivo general	32
1.5.2 Objetivos específicos	32
1.6 Alcances y Limitaciones	32
1.6.1 Alcances	32
1.6.2 Limitaciones	33
2. Marco referencial	34
2.1 Antecedentes	34
2.1.1 Antecedentes internacionales	34
2.1.2 Antecedentes nacionales	35
2.1.3 Antecedentes regionales	36
2.2 Marco Teórico	36
2.3 Marco Conceptual	40
2.4 Marco Contextual	42
2.4.1 Localización y ubicación	42
2.4.2 Clima	44

2.4.3 Estudio del clima	48
2.5 Marco Legal	52
3. Marco metodológico	59
3.1 Tipo de Investigación	59
3.2 Diseño de la Investigación	59
3.3 Población y Muestra	61
4. Resultados	62
4.1 Guadua	62
4.1.1 El corte	67
4.1.2 Preservación	69
4.1.2.1 Limpieza	72
4.1.2.2 Blanqueamiento	72
4.1.2.3 Secado	73
4.1.3 Selección de la guadua para la construcción	74
4.1.3.1 Observación visual por defectos	74
4.1.3.2 Clasificación visual estructural	76
4.1.4 Diámetros y espesores de la guadua	77
4.1.5 Beneficios sociales y económicos	78
4.1.6 Beneficios ambientales	79
4.1.7 Resistencia al fuego	79
4.1.8 Propiedades fisicomecánicas	80
4.1.9 Aislamiento térmico y acústico	82
4.1.10 La guadua comercial	82
4.1.11 Posibilidades constructivas de la guadua	82

4.1.11.1 Guadua en tejido	84
4.1.11.2 Guadua rolliza	87
4.1.11.3 Latas de guadua	101
4.1.11.4 Tipo panel	104
4.1.11.5 Uniones modernas	112
4.2 Vivienda de Interés Social	120
4.2.1 Características de la envolvente en viviendas de interés social	121
4.2.1.1 Mampostería confinada	129
4.2.1.2 Mampostería estructural	130
4.2.1.3 Sistemas constructivos industrializados	132
4.2.1.4 Outinord	134
4.2.1.5 Con-tech	135
4.2.1.6 Grandes paneles	137
4.2.2 Transmitancia térmica de los sistemas constructivos usados en Colombia	139
4.2.2.1 Muro de mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos	139
4.2.2.2 Mampostería estructural con bloques de concreto	140
4.2.2.3 Muro de concreto mediante sistema industrializado	142
4.2.2.4 El calor específico como propiedad térmica en los materiales de construcción	143
4.2.2.5 La densidad y la inercia térmica en edificaciones	145
4.2.3 Nuevas soluciones constructivas para envolvente en la Región de Norte de Santander	147
4.2.4 Aspectos climáticos de la envolvente en VIS	149
4.2.5 Confort térmico necesario en viviendas de interés social	154

4.2.5.1 Confort térmico	155
4.2.5.2 ASHRAE standard 55	155
4.3 Guía de Diseño y Desarrollo de la Envolvente	158
4.3.1 Estrategias bioclimáticas	158
4.3.2 Estrategias básicas de diseño	159
4.3.2.1 Conducción	160
4.3.2.2 Convección	160
4.3.2.3 Radiación	160
4.3.2.4 Evaporación	161
4.3.3 Estrategias de diseño – carta psicrométrica	161
4.3.4 Dispositivos de control solar	163
4.3.4.1 Horizontales	165
4.3.4.2 Verticales	170
4.3.4.3 Muro doble o “muro escudo”	172
4.3.4.4 Mixtos	173
4.3.4.5 Otros	174
4.3.5 Envolvente arquitectónica	180
4.3.6 Diseño de la envolvente	182
4.3.6.1 Factores determinantes de la envolvente	182
4.3.7 Formulación e implementación de la estructura paramétrica	186
4.3.7.1 Parámetros de diseño	187
4.4 Simulación Energética en Edificios	203
4.4.1 Estado normativo de la evaluación energética de edificios	204
4.4.2 Sistemas de calificación y programas de certificación	207

4.4.2.1 Breeam	208
4.4.2.2 Leed	208
4.4.2.3 Green star	208
4.4.2.4 Funcionamiento y requisitos del LEED	208
4.4.3 Certificación ambiental en Colombia	212
4.4.3.1 Certificación Leed en Colombia	213
4.4.4 Software utilizados para la evolución de edificaciones	215
4.4.4.1 Design Builder	215
4.4.4.2 Ecotect	216
4.4.4.3 Open Studio	217
4.4.5 Ecotect como simulador de rendimiento en edificios	217
4.4.5.1 Uso de Ecotect desde la Academia	219
4.4.6 Metodología de modelización	220
5. Conclusiones	236
Referencias Bibliográficas	244
Anexos	249

Lista de Figuras

	pág.
Figura 1. Mapa área metropolitana de Cúcuta	42
Figura 2. Gráfica de barras Promedio lluvia anual	45
Figura 3. Gráfica de barras brillo solar	45
Figura 4. Promedio humedad relativa	46
Figura 5. Temperaturas medias	47
Figura 6. Grados días de calefacción	49
Figura 7. Grados días de enfriamiento o protección con sombra	51
Figura 8. Gráfica de barras Comparación necesidad de sombreado	52
Figura 9. Ejes estratégicos de la Política de Crecimiento Verde	57
Figura 10. Impactos directos e indirectos del Crecimiento Verde sobre las ODS	57
Figura 11. Metodología de investigación aplicada al proyecto	61
Figura 12. Guadua Angustifolia Kunth (macana)	63
Figura 13. Las partes de la guadua	65
Figura 14. Corte de la caña guadua	68
Figura 15. Fases de la luna para la cosecha de la caña guadua	69
Figura 16. Perforación de entrenudos	70
Figura 17. Proporción solución pentaborato	71
Figura 18. Inmersión de los culmos en la solución pentaborato	71
Figura 19. Escurrimiento de los culmos	72
Figura 20. Blanqueamiento del bambú sobre el burro	73
Figura 21. Esquema del área de almacenamiento	73
Figura 22. Posibilidades constructivas en guadua más utilizadas en la construcción	83

Figura 23. Tejido Cuadrado (Yotsume-Ami)	84
Figura 24. Tejido Hexágono (Mutsume-Ami)	85
Figura 25. Tejido Ajiro	85
Figura 26. Aplicación de tejidos de guadua en la construcción	86
Figura 27. Estera de bambú utilizada como superficie en puentes y caminos	86
Figura 28. Uniones clavadas	88
Figura 29. Cuadrado o trinquete de amarre	88
Figura 30. Amarre diagonal	89
Figura 31. Bípode (Amarre de tijeras)	89
Figura 32. Amarre de ginebra o trípone (Usado como polea)	89
Figura 33. Entalladuras en guadua	90
Figura 34. Proceso de manufactura Corte con dos orejas	91
Figura 35. Soporte vertical con corte 2 orejas	92
Figura 36. Soporte vertical con corte 2 orejas y pieza de madera	92
Figura 37. Soporte con corte boca de pescado y amarre por sección de corte de la guadua	92
Figura 38. Boca de pescado con clavijas y amarres	93
Figura 39. Boca de pescado con clavija y amarre en cruz	93
Figura 40. Boca de pescado y 2 orejas con clavijas	93
Figura 41. Boca de pescado con clavijas y pasadores en madera	94
Figura 42. Boca de pescado con pernotensor	94
Figura 43. Boca de pescado y cuña de madera	95
Figura 44. Pasadores y ajustadores de amarre	95
Figura 45. Empalmes horizontales	96
Figura 46. Unión con pernos axiales y transversales	97

Figura 47. Unión con pernos axiales, transversales y mortero	97
Figura 48. Conexiones zunchadas	98
Figura 49. Conexión con pernos, platinas y mortero	99
Figura 50. Latas de guadua	101
Figura 51. Estructura geodésica con laminados en guadua	102
Figura 52. Estructura de latillas horizontales y verticales	102
Figura 53. Divisiones con latillas	103
Figura 54. Algunas disposiciones de la latilla en paneles de madera	103
Figura 55. Pared de esterilla recubierta con cemento	105
Figura 56. Panel acústico y térmico hecho con residuos de guadua	106
Figura 57. Panel con esterillas de bambú para viviendas residenciales	106
Figura 58. Tableros de guadua para viviendas	107
Figura 59. Tableros de guadua y posibilidades de diseño	107
Figura 60. Detalle de tablero en ventana	108
Figura 61. Chapa estructural en guadua	108
Figura 62. Chapas en guadua con núcleo de madera	109
Figura 63. Tablero de partículas de guadua	109
Figura 64. Tablero de chapa tejida	110
Figura 65. Chapas plastificadas en láminas de guadua	110
Figura 66. Unión con piezas de caucho	112
Figura 67. Estructura espacial en guadua	113
Figura 68. Estructura espacial con unión de esferas metálicas	113
Figura 69. Unión de bola metálica con aberturas perforadas	114
Figura 70. Unión moderna de botellas pet, cilindro de hierro y guadua	114

Figura 71. Uniones con guadua, madera y platinas	115
Figura 72. Extremo de guadua cónica y módulos de ensambles metálicos	116
Figura 73. Unión de guadua con módulo cilíndrico metálico	116
Figura 74. Unión con articulación de juntas metálicas	117
Figura 75. Unión con cordones metálicos	118
Figura 76. Estructura geodésica con módulos de barras planas metálicas	119
Figura 77. Esquema básico y áreas mínimas para diseño arquitectónico de VIS	122
Figura 78. Ciudadela el Progreso, año 2011	123
Figura 79. Fachada casa tipo Urbanización García Herreros IV, año 2009	123
Figura 80. Fachada casa tipo Urbanización Metrópoli, año 2009	124
Figura 81. Viviendas tipo Urbanización Metrópoli, año 2009	124
Figura 82. Fachada tipo vivienda bifamiliar Villas de Comfanorte, año 2013	125
Figura 83. Fachada tipo vivienda unifamiliar Villas de Comfanorte, año 2013	125
Figura 84. Vivienda VIS en altura con sistema industrializado	127
Figura 85. Distribución de sistemas constructivos usados para VIS durante el segundo trimestre del 2012 hasta el cuarto trimestre del 2015 según cifras de CAMACOL (2016)	128
Figura 86. Mampostería confinada compuesto de bloques de arcilla	129
Figura 87. Ejemplo de sistema constructivo en mampostería estructural	131
Figura 88. Ejemplo de sistema industrializado	133
Figura 89. Sección y valores “U” de un muro de mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos	139
Figura 90. Sección y valores “U” de un muro de mampostería estructural con bloques de concreto	141
Figura 91. Sección y valores “U” de un muro de concreto	142

Figura 92. Comparación del funcionamiento térmico entre bloque tradicional y bloque termodisipador	147
Figura 93. Posibilidades de diseño usando Bloque Termodisipador	148
Figura 94. Muro con Bloque Termodisipador	149
Figura 95. Modelos de confort	156
Figura 96. ASHRAE Standard 55-2004	157
Figura 97. ASHRAE Standard 55-2010	157
Figura 98. Estrategias básicas de diseño	160
Figura 99. Carta psicrométrica	162
Figura 100. Dispositivos de control solar	164
Figura 101. Esquema de Voladizo y ejemplificación - Mercedes Benz, Stuttgart –Renzo Piano	165
Figura 102. Esquema de Pórtico y ejemplificación - Stansted Airport, London –Norman Foster	166
Figura 103. Esquema de Repisa y ejemplificación - Centro de Cómputo UAM-Azcapotzalco	167
Figura 104. Esquema de Persiana y ejemplificación - Oficinas Centrales de Boots, Nottingham UK, DEGW Arch	167
Figura 105. Esquema de Faldón y ejemplificación - BMW, London UK, Motor Design Group Arch	168
Figura 106. Esquema de Pérgola y ejemplificación - Edificio Administrativo, Sunshine Cost University, Queensland Australia	169
Figura 107. Esquema de Toldo y ejemplificación - Royal Free Hospital, Hampstead, London	169
Figura 108. Esquema de Doble techo y ejemplificación - Galery Cy Twombly, Houston	

Texas, Renzo Piano	170
Figura 109. Esquema de Pantalla y ejemplificación - Facultad de Artes, Sunshine Cost University, Queensland Australia	171
Figura 110. Esquema de Partesol y ejemplificación - INFONAVIT, México DF. Teodoro González de León	171
Figura 111. Esquema de Persiana Vertical y ejemplificación - Facultad de Ciencias Sociales, Sunshine Cost University, Queensland Australia	172
Figura 112. Esquema de Muro doble y ejemplificación - Maison Hermes, Tokyo –Renzo Piano	173
Figura 113. Esquema de Marcos y ejemplificación - Villa Shodan, Ahemdabad India. Le Corbusier	173
Figura 114. Esquema de Celosía y ejemplificación - Instituto del Mundo Árabe. Paris, Jean Nouvel	174
Figura 115. Esquema de Remetimiento de Ventanas - El Colegio de México, Teodoro González de León	175
Figura 116. Esquema de Cambio de orientación de ventanas y ejemplificación - Museo Whitney, Nueva York, Marcel Breuer	175
Figura 117. Esquema de Contraventanas y ejemplificación - Contraventanas en cuatro hojas. Luis Barragán	176
Figura 118. Esquema de Nuevos acristalamientos y ejemplificación - DLS-Micro Louvers. SITECO prism systems	177
Figura 119. Esquema de Cortinajes y ejemplificación - Selly Park School, England	177
Figura 120. Esquema de Vegetación y ejemplificación - Casa Gilardi, México –Luis Barragán	178

Figura 121. Esquema de Elementos combinados y ejemplificación - City Internationale, Lyon –Renzo Piano	179
Figura 122. Efectividad de orientaciones para dispositivos de control solar	180
Figura 123. Factores determinantes de la envolvente	183
Figura 124. Morfología y escala de la envolvente	188
Figura 125. Variaciones de rejilla cuadrada	189
Figura 126. Variaciones de rejilla reforzada	189
Figura 127. Variaciones de rejilla en diamante	189
Figura 128. Variación del radio en rejilla cuadrada	189
Figura 129. Variación del radio en rejilla reforzada	190
Figura 130. Variación del radio en rejilla diamante	190
Figura 131. Tipología de cerramiento en forma de panel	190
Figura 132. Tipología de cerramiento en forma de panel o tejido	191
Figura 133. Patrón de tejido cuadrado	191
Figura 134. Variante patrón de tejido cuadrado. Fuente: Elaboración propia	191
Figura 135. Grado de permeabilidad - patrón de tejido cuadrado	192
Figura 136. Grado de permeabilidad - variante patrón de tejido cuadrado	192
Figura 137. Aplicación de las fórmulas en superficies orgánicas	194
Figura 138. Definición de estructura	195
Figura 139. Definición patrones de tejido cuadrado	195
Figura 140. Proceso constructivo para la conformación del módulo	196
Figura 141. Despiece y requerimiento constructivo del panel	197
Figura 142. Módulo de envolvente	198
Figura 143. Sistema de anclaje entre armazón de columna y guadua	199

Figura 144. Unión inferior con pernotensor y sistema de anclaje entre viga de cimentación y la guadua	199
Figura 145. Unión superior con pasadores entre culmos y Sistema de anclaje entre viga de amarre y la guadua	200
Figura 146. Unión longitudinal	201
Figura 147. Fijación del patrón de tejido a estructura en guadua	201
Figura 148. Patrón 1 y patrón 2 de tejido	202
Figura 149. Progreso en la implementación de códigos energéticos en la construcción en países de la IEA, BRICS y Túnez	205
Figura 150. Uso mundial de códigos energéticos de edificación en nuevos edificios residenciales	206
Figura 151. Uso mundial de códigos energéticos de edificación en edificios existentes residenciales	206
Figura 152. Uso mundial de códigos energéticos de edificación en edificios nuevos no residenciales	207
Figura 153. Niveles de calificación LEED	209
Figura 154. Certificación Leed en Colombia	214
Figura 155. Interface de Design Builder	216
Figura 156. Interface de Ecotect	216
Figura 157. Interface de OpenStudio	217
Figura 158. Ejercicio académico de Niveles Eficientes de Iluminación para una oficina con variación de aberturas en ventanas	220
Figura 159. Proceso modelización de sólidos para asignación de materiales en Ecotect	221
Figura 160. Creación de capas para muro en mampostería confinada con ladrillos de arcilla	

huecos	222
Figura 161. Creación de capas para muro estructural en bloques de concreto	222
Figura 162. Creación de capas para muros de concreto de sistema industrializado	223
Figura 163. Creación de capas para muro o panel en guadua	223
Figura 164. Doble envolvente de panel en guadua con cámara de aire	224
Figura 165. Sólidos asignados con los valores y materiales correspondientes	225
Figura 166. Periodo de tiempo asignado para el análisis en Ecotect	226
Figura 167. Análisis de radiación térmica en Ecotect	227
Figura 168. Desempeño térmico de muro en mampostería en arcilla (amarillo), mampostería con bloques de concreto (negro), muros con sistema industrializado (naranja) y guadua (marrón)	228

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. Temperatura máxima y temperatura mínima para la ciudad de Cúcuta	46
Tabla 2. Determinación de necesidades de protección solar medida en horas	47
Tabla 3. Días de calefacción necesarios para la ciudad de Cúcuta	48
Tabla 4. Necesidades bioclimáticas de la ciudad de Cúcuta	49
Tabla 5. Grados días de enfriamiento o protección con sombra para la ciudad de Cúcuta	50
Tabla 6. Necesidad de sombra en la ciudad de Cúcuta	51
Tabla 7. Categorización de intervenciones en viviendas con subsidio familiar	53
Tabla 8. Diámetros de la Guadua Angustifolia Kunth	77
Tabla 9. Espesores comunes en la pared del culmo de la Guadua Angustifolia Kunth	77
Tabla 10. Matriz resumen de la Guadua en Tejido	87
Tabla 11. Matriz resumen Guadua rolliza	100
Tabla 12. Matriz resumen de la Guadua en Lata	104
Tabla 13. Matriz resumen de la Guadua en Lata	111
Tabla 14. Matriz resumen Uniones Modernas en guadua	119
Tabla 15. Áreas mínimas de lote para Viviendas de Interés Social (VIS) tipo 1 y 2	121
Tabla 16. Determinantes bioclimáticas y de diseño para el diseño arquitectónico en VIS	122
Tabla 17. Valores de conductividad térmica y Resistencia térmica según datos del catálogo de elementos constructivos CTE	140
Tabla 18. Valores de conductividad térmica y Resistencia térmica según datos del catálogo de elementos constructivos CTE	141
Tabla 19. Valores de conductividad térmica y Resistencia térmica según datos del catálogo de elementos constructivos CTE	143

Tabla 20. Calor específico en materiales de construcción	145
Tabla 21. Densidad de materiales o elementos de construcción	146
Tabla 22. Matriz parámetros generales de diseño	193
Tabla 23. Comparación de los puntajes LEEDv3 2009 – LEEDv4 2013	210
Tabla 24. Desempeño térmico del muro en mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos	229
Tabla 25. Desempeño térmico de la mampostería estructural con bloques de concreto	230
Tabla 26. Desempeño térmico de muros de concreto en sistema industrializado	231
Tabla 27. Desempeño térmico de muro tipo panel en guadua	232
Tabla 28. Comparación horas de confort según normas ASHRAE	234

Lista de Anexos

	pág.
Anexo 1. Posibilidades constructivas de la guadua	250
Anexo 2. Compendio gráfico del proyecto de investigación	251
Anexo 3. Manual gráfico descriptivo para elaboración de envolvente en guadua	277
Anexo 4. Certificaciones de productos dentro de la investigación	300

Resumen

La construcción es una de las principales causas de la degradación del medio ambiente en el mundo y que a Colombia le ha costado gran parte de su inversión económica por año con el fin de controlarlo. Desde 1960 se han tomado medidas mundiales en el sector de la construcción con el fin de reducir las necesidades energéticas globales por medio de las condiciones climáticas y del entorno, siendo pertinente el empleo de materiales de bajo impacto ambiental (Ihobe, 2010).

La explotación de los recursos naturales para la construcción, el sobrecalentamiento de las edificaciones y la falta de planificación en viviendas de interés social han sido una problemática urgente de atender, esto último a causa de la pobreza y la migración de las zonas rurales y el vecino país a la ciudad. Debido a la falta de planificación, el déficit habitacional, la accesibilidad de familias a estas y la falta de confort térmico en las viviendas se justifica nuevas alternativas de construcción sostenible en estas edificaciones. La falta de recursos de las familias más vulnerables y los ajustados precios para la construcción de VIS por parte del gobierno nacional evidencia la necesidad de nuevas soluciones constructivas que permita facilitar el acceso económico a estas. Se planteó como hipótesis que por medio de una envolvente modular en guadua se optimice el confort térmico en las viviendas de interés social. De esta manera el proyecto se resuelve por medio de la investigación documental y experimental que cumple cuatro etapas: recopilación de información, establecer las características de envolvente en la vivienda de interés social, caracterizan los aspectos constructivos y de diseño de la envolvente y la evaluación de los aspectos de confort térmico.

Abstract

Construction is one of the main causes of environmental degradation in the world and it has cost Colombia a large part of its economic investment per year in order to control it. Since 1960, global measures have been taken in the construction sector in order to reduce global energy needs through climatic conditions and the environment, the use of materials with low environmental impact being relevant (Ihobe, 2010). The exploitation of natural resources for construction, the overheating of buildings and the lack of planning in affordable housing have been an urgent problem to address, the latter due to poverty and migration from rural areas and the neighbor country to city. Due to the lack of planning, the housing deficit, the accessibility of families to these and the lack of thermal comfort in the houses, new alternatives of sustainable construction in these buildings are justified. The lack of resources of the most vulnerable families and the adjusted prices for the construction of VIS by the national government show the need for new constructive solutions that facilitate economic access to them. It was hypothesized that by means of a modular guadua envelope, thermal comfort in low-income dwellings would be optimized. In this way, the project is resolved by means of documentary and experimental research that fulfills four stages: gathering information, establishing the characteristics of the envelope in the social housing, characterizing the construction and design aspects of the envelope, and evaluating thermal comfort aspects.

Introducción

La presente investigación hace referencia a una propuesta de diseño en viviendas de interés social sostenibles, donde la prioridad es el cuidado y la preservación del medio ambiente debido a los cambios climáticos que se han presentado en los últimos años como las altas temperaturas y la contaminación por parte de la fabricación y el desecho de materiales de construcción, por este motivo se entiende la necesidad que desde la vivienda se genere una conciencia frente a al medio ambiente, no solo por la construcción en sí misma sino por las personas que las habitan. Que el individuo piense desde su hogar en la protección del medio ambiente es un avance hacia lo colectivo, hacia la construcción de una ciudad verde y que entre en una planificación urbana sostenible en mente de los entes gubernamentales del país y la región.

De esta manera se atiende también a una problemática social donde los recursos naturales se consideran como una respuesta al futuro de la construcción en el planeta. Esta problemática ambiental ha generado la necesidad a investigadores de diversas disciplinas esencialmente a estudiar las causas que originan los cambios climáticos con el objetivo de arrojar alternativas y soluciones que aminoren significativamente al impacto ambiental, principalmente en el sector de la construcción donde presenta un alto porcentaje de contaminación en el mundo. La atención hacia investigar lo disponible en materia prima para la construcción y apropiación del lugar es esencial para lograr un aporte significativo a la sociedad, entender lo que se tiene y lo que se puede utilizar será clave para el fortalecimiento y potencialización de una región que planifica y que dentro de la visión de los entes gubernamentales se ve altamente competitiva.

Desde el Semillero de Investigación de Arquitectura y Materiales Sostenibles, Eco-Habitad del programa de arquitectura se estudian las posibilidades constructivas para una fachada en una

vivienda de interés social con el uso de la guadua como material de construcción, lo cual no respondería solamente como un material sostenible y de muy baja contaminación, sino también a una respuesta de apropiación del lugar que aporta a un carácter cultural y social, así mismo se entiende también a la guadua como un material de construcción de muy bajo costo como una respuesta constructiva a viviendas de interés social, lo que determinaría una solución de alta importancia para la región ante necesidades de acceso a las viviendas pues la guadua es generadora de empleo desde el momento de su cultivo hasta su construcción.

1. Problema

1.1 Título

ENVOLVENTE MODULAR EN GUADUA COMO ESTRATEGIA DE DISEÑO PASIVO PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN LA CIUDAD DE CÚCUTA.

1.2 Descripción del Problema

La práctica constructiva es uno de los principales actores en el proceso de modificación del planeta y de contaminación, pues es un gran consumidor de recursos y generador de desechos. El 40% de las materias primas en el mundo, que equivalen a 3000 millones de toneladas por año, son destinadas para la construcción. El sector constructor es también el responsable de más de un tercio del consumo de energía en el mundo, en su mayoría durante el tiempo de habitación y uso del inmueble. Un 20% de la energía es consumida durante el ciclo de vida de la edificación, desde el proceso de construcción, elaboración de materiales y demolición de las obras de construcción (UNEP- SBCI, 2009).

Asimismo, la construcción es responsable de la generación del 30% de los residuos sólidos mundiales, demostrando la necesidad de generar métodos y aplicar prácticas que reduzcan la cantidad de residuos en vista del agotamiento del espacio para su adecuada disposición (UNEP SBCI, 2006). Esta problemática se traduce en costos a causa de la degradación ambiental que, para Colombia, supera el 3.7% del PIB por año (Sánchez, 2007). La falta de planificación consciente en el futuro de las edificaciones causará no sólo la pérdida indiscriminada de nuestros recursos naturales sino la pérdida paulatina de una cultura que no se apropia de lo que posee.

El crecimiento demográfico ha llevado a un aumento desenfrenado de edificaciones y debido a la ambición de construir no se genera consciencia de lo que se edifica, especialmente en la vivienda, donde por falta de estrategias bioclimáticas que respondan a un contexto determinado el consumo de energía y el uso de aires acondicionados ha aumentado. El CAF-Banco de Desarrollo de América Latina afirma que la vivienda representó en el 2014 el 20% del consumo de energía del país, cifras que activa alarmas a crear nuevas estrategias de consumo de energía para viviendas y el sector de la construcción.

En el país hay 14.060.645 hogares (excluyendo los hogares que viven en viviendas étnicas o indígenas). De estos, el 9,8% (1.378.829) se encuentra en déficit cuantitativo de vivienda, y el 26,78% (3.765.616) están en déficit cualitativo de vivienda. En consecuencia, el 36,6% de hogares que hay en Colombia se encuentra en déficit habitacional (DANE, CNPV 2018). En este orden de ideas se entiende la importancia de las edificaciones sostenibles como un control de las problemáticas planteadas, donde es propio mencionar la arquitectura bioclimática. Ésta “integra las consideraciones de eficiencia en el uso y la energía, produce edificios sanos, utiliza materiales ecológicos y considera la sensibilidad estética que inspire, afirme y emocione. Es la que diseña para conseguir las condiciones para el bienestar humano en el interior, aumentando notablemente la calidad de vida” (International Union of Architects, IUA y American Institute of Architects, AIA). Acorde con lo anterior, el diseño bajo consideraciones bioclimáticas es una herramienta fundamental en el propósito de concebir proyectos que propugnen por el uso eficiente de los recursos, y aprovechando las consideraciones del entorno con la finalidad de disminuir el consumo energético (Agudelo, Hernández & Cardona, 2012).

Los materiales ecológicos son aquellos que acompañan al desarrollo sustentable y ayudan a evitar la contaminación del medio ambiente, pues desde su extracción, fabricación, aplicación,

hasta su reutilización, reciclamiento y desecho, no lo dañan de manera agresiva, gracias a sus características físicas y químicas (Hernández, 2010). En consecuencia a esta idea se pretende que por medio de los materiales ecológicos y la arquitectura bioclimática se pueda responder a las problemáticas expuestas anteriormente.

Entendiendo que Colombia ocupa el segundo lugar en diversidad de guadua en Latinoamérica y Norte de Santander es de los principales departamentos en poseer mayor diversidad en bosques de la especie de *Guadua Angustifolia kunth* (Delgado, 2006) se pretende usar este material dispuesto como una estrategia de diseño pasiva en las fachadas de viviendas de interés social en la ciudad de Cúcuta con el fin de mitigar el sobrecalentamiento al interior de la edificación y también fortalecer una cultura e identidad que junto al desarrollo del café la guadua también ha sido un componente importante para el desarrollo del paisaje en Colombia.

1.3 Formulación del Problema

El problema de investigación se formulará en base del siguiente cuestionamiento:

¿Qué posibilidades de diseño pasivo de envolvente modular en guadua se podría establecer para optimizar el confort térmico en viviendas de interés social?

1.4 Justificación

La presente investigación se desarrolla en el contexto del fortalecimiento investigativo de la Universidad Francisco de Paula Santander aportando a los objetivos misionales de la institución. Por medio de esta propuesta de investigación se enriquecen los conocimientos académicos y profesionales con el fin de lograr alcances significativos y pertinentes para la región, abarcando el tema de la construcción de vivienda social, su diseño y sus impactos en el medio ambiente.

Por consiguiente, es necesario comprender la pertinencia del diseño proyectual y uso de materiales que anteceden a la construcción actual de una vivienda de interés social en Colombia, por esta razón se realiza un análisis del estado actual de estas edificaciones, principalmente de confort térmico, sistemas constructivos más usados y demás dinámicas como el déficit habitacional que es tan determinante para los habitantes del país.

Desde la perspectiva anteriormente mencionada, se pretende reconocer lo que actualmente la arquitectura bioclimática concibe como solución a problemáticas ambientales desde el sector de la construcción, por esta razón, el estudio de las estrategias de diseño bioclimáticas que aporten al confort de la edificación, el uso de materiales ecológicos y los medios digitales como estrategias de evaluación y diseño serán estudiadas y analizadas en la presente investigación.

En este orden de ideas, la investigación acerca de las bondades de la guadua en la arquitectura y el diseño de fachadas como estrategias de diseño pasivo para la ciudad de Cúcuta, puede permitir proponer una fachada modular para contrarrestar los efectos dados por el clima y las condiciones del lugar a las viviendas de interés social. La arquitectura debe propiciar la inclusión de materiales tan autóctonos de nuestro entorno como renovables y biodegradables intentando disminuir al máximo la huella de carbono provista por la cantidad de tiempo y distancia que tardan los materiales de construcción tradicionales en llegar a su lugar destino.

Por lo anteriormente expuesto, existe la motivación de afrontar los objetivos de esta investigación para identificar, establecer y evaluar cuál es el uso más adecuado y acertado de materiales propios de la región como la guadua, aplicada en proyectos de arquitectura más específicamente en la ideación y diseño de una propuesta de fachada modular en guadua. Lo anterior da la oportunidad a que la vivienda de interés social contribuya en forma sustancial a

elevar la calidad de la edificación.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general. Diseñar una envolvente modular como estrategia de diseño pasivo para viviendas de interés social con la utilización de la guadua para optimizar el confort térmico.

1.5.2 Objetivos específicos. Como se muestra a continuación:

Identificar y consolidar posibilidades constructivas de la guadua en edificaciones como alternativas en la construcción de viviendas de interés social.

Establecer las características de materialidad en la envolvente de vivienda de interés social con el fin de responder a las necesidades climáticas de la ciudad de Cúcuta.

Caracterizar las posibilidades constructivas y propuesta de diseño de la envolvente modular en guadua aplicadas para viviendas de interés social.

Evaluar el rendimiento térmico de la envolvente modular en guadua por medio de herramientas digitales donde compruebe la disminución de temperatura al interior de la edificación.

1.6 Alcances y Limitaciones

1.6.1 Alcances. Después de adentrarnos en la investigación se ha considerado que se puede contribuir hasta ciertos aspectos y características como:

El uso específico de la guadua *angustifolia kunth*.

El proyecto se realizará en una sola vivienda, las características y la tipología morfológica de esta será especificada en el desarrollo de la investigación con el fin de trabajar en la edificación más pertinente para la ciudad y el país.

Desarrollo de la envolvente en la vivienda de interés social sin especificar demás sistemas constructivos internos de ésta. El proyecto se concentra únicamente en la envolvente, definiendo el diseño final con medidas, módulos, ensambles, materiales, método de construcción y recomendaciones.

El estudio final de la envolvente modular se estudiará en conjunto, es decir, el estudio de simulación energética por medio de herramientas digitales de los módulos que sean diseñados serán estudiados en la fachada completa de la vivienda sin antes pasar por una simulación individual. Esto con el fin de obtener resultados más cercanos a la realidad.

1.6.2 Limitaciones. En el transcurso de la investigación se encuentran algunas limitaciones, entre las cuales se tienen:

Acceso a la información encontrada por el uso de la guadua como método de construcción en la envolvente de una edificación y la evaluación de este material por medio de herramientas digitales.

Base de datos incompleta o desactualizada como recurso de búsqueda y documentación para el proyecto.

Falta de conocimiento del software utilizado para el diseño y evaluación térmica del resultado final de la envolvente.

2. Marco referencial

2.1 Antecedentes

Se han desarrollado diversas investigaciones acerca del uso de la guadua como una solución constructiva en edificaciones donde se responde positivamente a problemáticas ambientales, las cuales han aportado significativamente a la presente propuesta de investigación:

2.1.1 Antecedentes internacionales. Real (2012). Ha demostrado en resultados numéricos, a partir de los cuales se ha podido determinar que la energía consumida en la construcción de tres viviendas construidas en guadua, equivalen a la utilizada en apenas una unidad en sistemas constructivos tradicionales como el hormigón armado y el acero. Además, el tiempo utilizado para el montaje de la vivienda en los sistemas de acero y caña guadua es similar, lo cual aporta otra ventaja frente al hormigón armado. La vivienda proyectada es de interés social lo que significa que se construiría de forma masiva, esto a su vez implica que el ahorro energético y protección al aire sería mucho mayor a nivel global.

Calva (2015). Comprobó que entre la guadua y el acero el módulo de elasticidad del hormigón-bambú es de 150000 hasta 180000 kg/cm², igual al hormigón (acero) de mezcla. También demostró que las construcciones en este material no requieren herramienta especializada y permiten el uso de mano de obra no tan calificada, ello contribuye positivamente a la generación de empleo. Añade que una vivienda ecológica interactúa con actividades del hombre en el hogar y la remediación de la contaminación que este genera, así como el buen vivir, en cuanto a salud, alimentación y la interacción hombre-naturaleza.

Ancho (2017). Por medio de herramientas digitales como Ecotect y Design Builder diagnosticó bioclimáticamente seis edificaciones de Costa Rica donde pudo establecer cuáles fueron las variables a modificar en cada uno de estos: ventilación, materialidad y exposición solar. Una vez realizada la modificación, se comprueba mediante el índice de confort de Fanger que en efecto las variaciones están generando un aumento en el nivel de bienestar.

Herrera (2016). Mediante el uso de herramientas digitales como Ecotect Analysis diagnosticó el confort térmico de una vivienda de interés social construida en la ciudad de México y propuso nuevas estrategias de diseño bioclimático como: diseño de protecciones solares, la ventilación cruzada y el efecto chimenea, después evaluó los resultados de las propuestas y comprobó que las estrategias aplicadas aportaron significativamente a la vivienda en ahorro energético y en el confort térmico de los habitantes.

2.1.2 Antecedentes nacionales. Palacios (2009). Creó un nuevo sistema constructivo con base de guadua donde compite mano a mano con las estructuras metálicas de rápido ensamble en tiempos de instalación. El sistema reduce los costos de mano de obra al disminuir la artesanía y al utilizar procesos realizados por máquinas. En el costo final, alrededor del 18% representan costos de mano de obra. Ampliar la utilización de la Guadua Angustifolia, haciéndolo con calidad, brindará ventajas competitivas únicas en Colombia. Es así como busca la reducción de los tiempos de construcción, la utilización racional de materiales y propone nuevas estéticas.

Feldman & Quiñónez (2013). Por medio de la construcción de un CDI donde por medio de estrategias de recolección de agua, uso de luz, ventilación natural, orientación de las aulas respecto al sol y el viento, el uso de materiales locales como la guadua, la reinterpretación de técnicas tradicionales de construcción y la creación de espacios públicos y culturales demostraron

que el proyecto es un ejemplo de construcción de baja tecnología, responsable con el ambiente, perdurable en el tiempo y culturalmente significativo.

2.1.3 Antecedentes regionales. Ascanio & Castro (2012). Lograron fomentar el cultivo de la *Guadua angustifolia* Kunth como alternativa maderable en la zona rural del municipio de Hacarí, Norte de Santander, esto por medio de realizar exposiciones frente al pueblo campesino y ciudadano en general, en demostrar las ventajas de la guadua frente a las maderas convencionales junto a la importancia de cuidar y mantener los bosques propios de la región. También realizaron pruebas de cultivos donde demostraron que es posible la implementación y el establecimiento del cultivo de la guadua, los resultados fueron socializados con la comunidad con el fin de capacitarlos.

2.2 Marco Teórico

A continuación, se presentan las bases teóricas que sustentan el trabajo de investigación acerca del diseño arquitectónico como un componente de planificación frente a las eventualidades que conlleva la práctica constructiva, actuando como un desarrollador social, innovador y a su vez, una figura respetuosa del medio ambiente.

Acosta (2009) desarrolló un conjunto de conceptos, problemas y estrategias que abarcan a las edificaciones para lograr una mayor sostenibilidad o ecoeficiencia. En su investigación *Arquitectura y Construcción Sostenibles: Conceptos, Problemas y Estrategias* hace referencia a Manzini & Bigues (2000), demostrando la relación actual que debería tener la arquitectura frente a las problemáticas ambientales:

“Superar la cultura de la emergencia para entrar en la de la sostenibilidad, entendida en sentido positivo, como una actuación oportuna en el tiempo a fin de facilitar medidas capaces para prevenir los problemas” (Manzini & Bigues, 2000, p.18-19).

Así mismo, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente en el Capítulo 7 del Diario Oficial de las Comunidades Europeas (1997) enfatiza en el desarrollo de una práctica constructiva sostenible como un acierto a las problemáticas de la sociedad.

La investigación y el desarrollo tecnológico de la construcción deben, como prioridad ética y política, generar conocimiento que contribuya a resolver los mencionados problemas reales de nuestra sociedad y a la vez no dejar de atender las consecuencias no deseables de nuestros intentos por resolverlos, procurando el fomento de una sostenibilidad múltiple. (p.16-21)

Investigación y Desarrollo (I&D): Para el autor Acosta (2009) el desarrollo y la investigación proceden en la sociedad como un generador sistemático de soluciones frente a los problemas que se relacionan a causa de la práctica constructiva.

Si el conocimiento científico y tecnológico es tan trascendente para la sociedad, entonces la dirección y sentido de la ciencia y la investigación deben ser abiertas a escrutinio público, deben ser objeto de planificación y diseño. La planificación y el diseño son propias de la sociedad, de lo político, son actividades en las que se producen planes para resolver problemas que atañen al público. (p.16)

Por otro lado, autores como Arocena & Sutz (2001) consideran el papel del trabajo académico como una escala considerable de aporte científico y tecnológico como agente de desarrollo en la sociedad latinoamericana, dando valor a los productos o resultados que por medio de las universidades es generado a causa de las problemáticas propias del territorio a lo largo del tiempo, permitiendo mencionar entonces la problemática ambiental que se ha venido presentando

en la historia y particularmente en el continente.

En semejante panorama, una condicionante fundamental del futuro del continente será la evolución que vivan sus universidades públicas. Éstas no sólo son las principales transmisoras del conocimiento avanzado sino también sus grandes creadoras; el papel de esas universidades en la investigación latinoamericana es, en términos relativos, muy superior al que se observa en los países industrializados. Además, la Universidad Latino-americana constituye una institución original, fruto de una construcción histórica específica, cuya tradición la liga tanto a la crítica del conocimiento —de sus contenidos y de sus usos— como a la búsqueda de caminos propios para el desarrollo latinoamericano. (p.4)

Diseño e investigación: El diseño y la investigación se entiende como una herramienta de planificación, siendo para la arquitectura una actividad que presenta planes óptimos sin tener imprevistos o situaciones que estén fuera del producto esperado.

De esta manera, Acosta (2009) da una opinión sobre el diseño en la arquitectura:

Como vemos, diseñar es pensar antes de actuar. El diseño es una actividad, no un producto, que genera planes y proyectos, no obras o construcciones y que apunta a una situación deseada, unos fines. Abrir el proceso de diseño es importante porque, como sabemos, los problemas de la sociedad no son sólo científicos ni disciplinarios: su resolución involucra cuestiones clave como quién paga y quién se beneficia, que afectan a la ciudadanía y que por lo tanto deben inevitablemente tener respuestas políticas. (p.17)

Dentro de la toma de decisiones en el diseño arquitectónico, la investigación aplicada a la construcción hace referencia a la comprobación de la utilidad y funcionamiento del edificio, donde por medio de la evaluación son mostrados los resultados de proyectos arquitectónicos, así como la sustentación y viabilidad de diseños alternativos.

De esta manera, Sanoff (2006) dictamina que:

La evaluación del edificio puede utilizarse tanto para valorar las características del diseño como para obtener información valiosa en el desarrollo del programa. Con frecuencia, la POE descubre que una causa del mal funcionamiento de un edificio radica en una falsa suposición durante el proceso de programación. Las evaluaciones han ayudado también a convencer a los clientes para que eligieran diseños alternativos que, de lo contrario, no habrían siquiera considerado. Algunos estudios de arquitectura realizan sus propias evaluaciones para comparar el funcionamiento del edificio con el programa original, para dar a conocer al diseñador las opiniones y posturas del cliente o usuario y para asegurarle una respuesta útil al diseño de instalaciones similares (p.22)

Desarrollo sostenible: Para Gallopin (2003), precisa al desarrollo sostenible como el mecanismo por el cual se hace frente a las problemáticas ambientales y de la sociedad, de forma sistémica e involucrada en cualquier pensamiento de desarrollo.

La velocidad y magnitud del cambio global, la creciente conectividad de los sistemas sociales y naturales y la complejidad cada vez mayor de las sociedades y de sus impactos sobre la biosfera, ponen de relieve que el desarrollo sostenible debe orientarse no sólo a preservar y mantener la base ecológica del desarrollo y la habitabilidad, sino también a aumentar la capacidad social y ecológica de hacer frente al cambio, y la capacidad de conservar y ampliar las opciones disponibles para confrontar un mundo natural y social en permanente transformación. En consecuencia, el concepto de desarrollo sostenible no puede significar simplemente la perpetuación de la situación existente. La pregunta central es qué es lo que ha de sostenerse, y qué es lo que hay que cambiar (p.22)

Por otra parte, Gudynas (2003) advierte sobre el futuro del medio ambiente bajo las actividades del desarrollo tradicional con fines económicos solamente, entendiéndolo como un proceso insostenible e incomprensible frente a los recursos naturales.

Si se entiende desarrollo tradicional, en un amplio sentido, como aquel que apunta al crecimiento económico como su meta, y lo hace promoviendo la expansión del consumo material y energético, caemos en una trampa. Por un lado, se generan enormes impactos, y por el otro, existen limitaciones ecológicas severas que impiden perpetuar el crecimiento. El crecimiento continuado es imposible; más tarde o más temprano se chocarán contra sucesivos límites ambientales y en ese camino se perderá parte de la riqueza biótica del planeta. (p.66)

2.3 Marco Conceptual

A continuación, se amplían los conceptos necesarios a tener en cuenta para una mejor comprensión del documento:

Guadua: Es una planta que pertenece a la misma familia que el arroz, el trigo, la cebada y la caña de azúcar esto es a las gramíneas, aunque también hay especies herbáceas es decir que tienen naturaleza o cualidad de hierba razón por la que es catalogada como un pasto gigante. Su tallo es leñoso como un árbol y puede alcanzar la altura de uno de ellos dependiendo de la variedad. Existen alrededor de 1200 especies de bambúes, con tamaños, formas y colores diferentes (Nolivos & Yacelga, 2010).

Confort Térmico: Para la definición de este término, mencionamos a Pérez Mariana, Parra (2018), donde en su artículo “Percepción del confort térmico y estrategias de adaptación al clima en Ecuador” presentado al IV Congreso Edificios Energía Casi Nula, sintetiza al confort térmico como la percepción del ambiente circundante a través de la piel y por el intercambio de aire en los pulmones. El ser humano en condiciones de saludables, bajo cualquier situación climática, debe mantener una temperatura corporal de 36.5 a 37.5°C. Para lograrlo utiliza procesos metabólicos que generan energía. Debido a que la percepción de confort térmico puede variar de

persona a persona por los diferentes factores ya apuntados, los métodos para determinarlo son complejos. La mayoría de estándares que definen el confort térmico están basados en ecuaciones de balance térmico del cuerpo humano y experimentos en cámaras climatizadas en regiones de latitud media.

Vivienda de interés social: El ministerio de vivienda, ciudad y territorio, Artículo 44 de la Ley 9 de 1989 define Vivienda de interés social (VIS), “Se entiende por viviendas de interés social aquellas que se desarrollen para garantizar el derecho a la vivienda de los hogares de menores ingresos.” Estas deben proporcionar características como el título de propiedad, servicios públicos como agua, gas y alcantarillado, materiales de construcción estables, gastos ajustados al presupuesto de las familias, debe ser fresca, cómoda, habitable, y que en su entorno tenga vías de acceso y espacio público.

Envolvente: Marianacci (2018) define la envolvente térmica como:

La piel o capa externa del edificio, compuesta de cada cerramiento que delimita los espacios habitables con el exterior. Actúa como membrana de protección y de su correcto diseño dependerá en gran medida el confort térmico y acústico dentro del edificio. Una envolvente está integrada por cubiertas, muros, aberturas y pisos. Y tiene como funciones principales: servir como soporte a la edificación; controlar las cargas térmicas y acústicas; controlar la iluminación y la ventilación del edificio; cumplir con una adecuada apariencia estética y armónica. (p.17)

Arquitectura Bioclimática: Celis (2000) menciona: “La ‘arquitectura bioclimática’, entendida en términos conceptuales, se fundamenta en la adecuación y utilización positiva de las condiciones medioambientales y materiales, mantenida durante el proceso del proyecto y la obra” (p.30.). Además, Páez (2006) señala que:

La concepción bioclimática busca diseñar edificios adaptados a su propio clima utilizando con acierto las transferencias naturales de calor y los recursos que la naturaleza ofrece con la intención de crear condiciones de confort físico y psicológico limitando el uso de sistemas mecánicos de calefacción o climatización, lo que representa un ahorro importante para la sociedad. (p.50)

2.4 Marco Contextual

2.4.1 Localización y ubicación. El problema de investigación se ubica en la ciudad de Cúcuta con una latitud de $7^{\circ}53'38''$ N, longitud de $72^{\circ}30'28''$ O y a 309m sobre el nivel del mar, limita por el Norte con el municipio de Tibú; por el Occidente con los municipios del Zulia y San Cayetano; por el Sur con los municipios de Villa del Rosario, Bochalema y Los Patios y por el Oriente la República de Venezuela y el municipio de Puerto Santander.

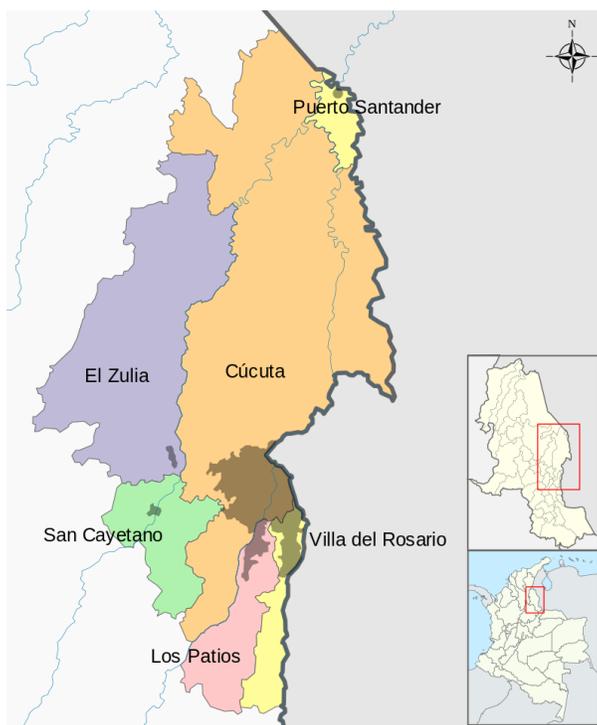


Figura 1. Mapa área metropolitana de Cúcuta

Fuente: Municipio de San de Cúcuta, 2020.

El Ideam establece a la ciudad de Cúcuta con un clima cálido – muy seco donde las temperaturas son mayores a 30° al medio día, de esta manera se entiende la necesidad de involucrar la arquitectura bioclimática y materiales que aporten al confort térmico de las edificaciones, las cuales han venido presentando falencias a causa del mal manejo administrativo y la negligencia de construir rápidamente en consecuencia de la sobrepoblación.

Entendiendo a la ciudad y su situación de frontera, junto a problemáticas internas del país que hacen referencia a la migración de los campesinos a la ciudad nos da a entender la necesidad de pensar en la accesibilidad a una vivienda digna y de bajo costo, que repercuta social y culturalmente como una respuesta positiva a los problemas planteados.

Cúcuta se muestra como una ciudad de alojamiento a las personas del vecino país que buscan oportunidades laborales y de vivienda para sus familias, se piensa en la arquitectura sostenible como una oportunidad de ampliar la economía y las oportunidades en la ciudad por medio de las materias primas que se encuentran en la región, generando una colectividad entre los campesinos, migrantes de Venezuela y el ciudadano que apuesta por una economía propia del territorio nortesantandereano.

Se entiende al componente ambiental como un factor que es trascendente para las políticas y estrategias en el desarrollo y proyección del territorio. El Plan de Ordenamiento Territorial para el municipio de San José de Cúcuta, en su versión 19 de diciembre del 2019 documenta:

Capítulo I: Visión, vocación y principios rectores del ordenamiento territorial

Vocación. Un municipio con vocación ambiental: esto es, que se dé la existencia, manejo y promoción de un sistema de áreas ambientales y elementos paisajísticos, que garanticen al corto, mediano y largo plazo tanto los recursos ecosistémicos necesarios para los habitantes actuales y futuros del municipio,

como el reconocimiento de la necesidad de preservar y mantener los valores ambientales del territorio por lo que ellos representan y la necesidad de su existencia. (Art.5)

Se proyecta dentro de la estructura ecológica principal de la ciudad la importancia de la adaptación al cambio climático mundial, en búsqueda de esto se presenta la construcción como un factor determinante en ámbitos de espacio público, construcción de viviendas sociales, conjuntos residenciales, construcción de vías, incorporación y protección de recursos naturales (haciendo referencia también a las actividades económicas que hagan de la ciudad competitiva en su territorio). Por lo anterior, se ha entendido que dentro de las dimensiones que rigen el desarrollo del territorio es la sustentabilidad, factor que a la vez se integra con componentes como lo competitivo, la equidad y la gobernabilidad.

2.4.2 Clima. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia documenta el clima de Cúcuta como Cálido – Muy seco. La temperatura promedio es de 25.5 °C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 30 y 33°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 21 y 24°C. El sol brilla cerca de 6 horas diarias durante la mayor parte del año, pero en los meses lluviosos del primer semestre, la insolación baja a 4 horas diarias/día. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 62 y 77 %, siendo mayor en los meses de noviembre y diciembre y la menor, hacia mitad de año.

Así mismo, la fuente de información proporcionada por el Ideam respecto al promedio de lluvia total anual es de 878 mm. Durante el año las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas. Los meses de enero, febrero, junio, julio y agosto son predominantemente secos. Las temporadas de lluvia se extienden desde finales de marzo hasta principios de junio y desde finales de septiembre hasta principios de diciembre. En los meses

secos llueve alrededor de 5 días/mes; en los meses de mayores lluvias del segundo semestre puede llover entre 16 y 19 días/mes.

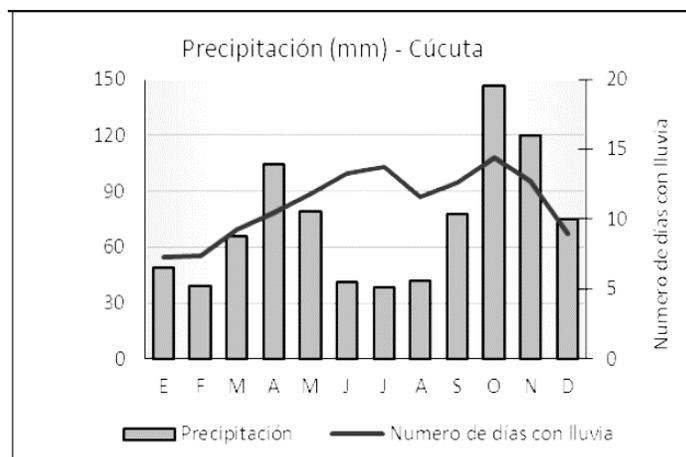


Figura 2. Gráfica de barras Promedio lluvia anual

Fuente: IDEAM, s.f.

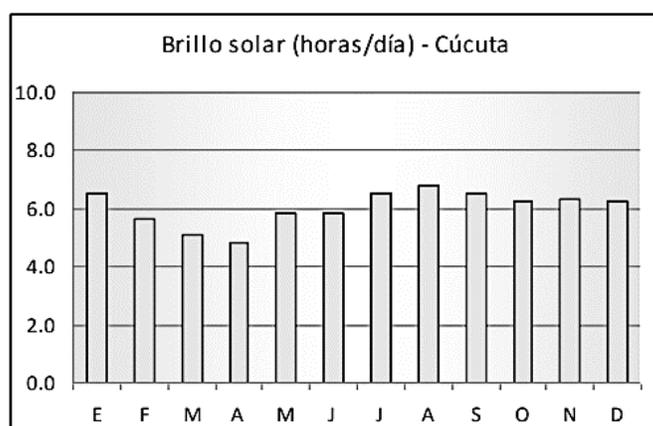


Figura 3. Gráfica de barras brillo solar

Fuente: IDEAM, s.f.

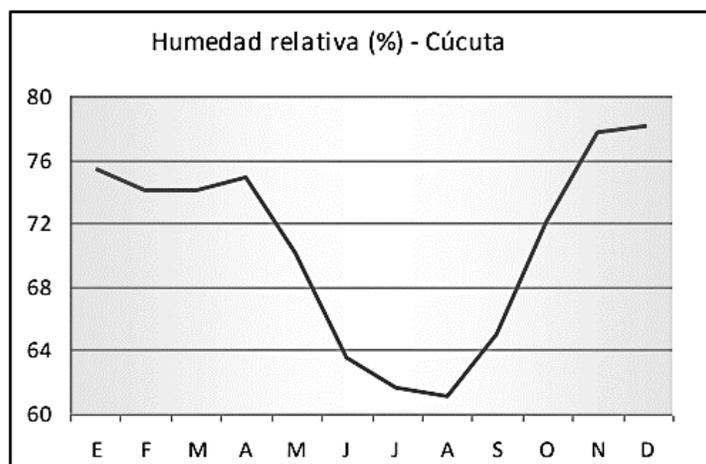


Figura 4. Promedio humedad relativa

Fuente: IDEAM, s.f.

Tabla 1. Temperatura máxima y temperatura mínima para la ciudad de Cúcuta

METODO DE BRUCE NOVELL AMPLIADO PARA LA DETERMINACION DE NECESIDADES DE PROTECCION SOLAR

TEMPERATURAS HORARIAS SEGUN MAXIMA MEDIA Y MINIMA MEDIA.															
ESTACION:	Cúcuta - Colombia												TEMP.MEDIA ANUAL:	27,4	
FUENTE:	IDEAM 1981 - 2010												TEMP.NEUTRALIDAD:	26,09	
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL	TMA	27,4
TEMP.MED.MAX	30,3	30,8	31,1	31,5	32,8	32,9	33,0	33,9	34,0	32,7	31,2	30,1	32,0		
TEMP.MED.MIN	21,3	21,8	22,3	22,7	23,4	23,9	23,6	23,7	23,3	22,7	22,4	21,7	22,7		
DIFERENCIA	9,0	9,0	8,8	8,8	9,4	9,0	9,4	10,2	10,7	10,0	8,8	8,4	9,3		

Temperaturas horarias según máxima media y mínima media con el Método Bruce Novel Ampliado para la determinación de necesidades de protección solar. Los datos y fuentes de información suministrados en la tabla fueron extraídos por la Subdirección de Meteorología del Ideam para la ciudad de Cúcuta.

Tabla 2. Determinación de necesidades de protección solar medida en horas

HORA	COEFICIENTES	TEMPERATURAS HORARIAS												PROMEDIOS		
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	D-E-F	M-J-J	AÑO
0,46	1	25	26	26	27	28	28	28	28	28	27	26	26	25,6	27,9	27,0
0,32	2	24	25	25	26	26	27	27	27	27	26	25	24	24,4	26,6	25,7
0,19	3	23	24	24	24	25	26	25	26	25	25	24	23	23,3	25,4	24,5
0,08	4	22	23	23	23	24	25	24	25	24	24	23	22	22,3	24,4	23,5
0,02	5	21	22	22	23	24	24	24	24	24	23	23	22	21,8	23,8	22,9
0,00	6	21	22	22	23	23	24	24	24	23	23	22	22	21,6	23,6	22,7
0,06	7	22	22	23	23	24	24	24	24	24	23	23	22	22,1	24,2	23,3
0,15	8	23	23	24	24	25	25	25	25	25	24	24	23	22,9	25,0	24,1
0,26	9	24	24	25	25	26	26	26	26	26	25	25	24	23,9	26,0	25,1
0,44	10	25	26	26	27	28	28	28	28	28	27	26	25	25,5	27,7	26,8
0,79	11	28	29	29	30	31	31	31	32	32	31	29	28	28,6	31,0	30,1
0,91	12	29	30	30	31	32	32	32	33	33	32	30	29	29,6	32,1	31,2
0,97	13	30	31	31	31	33	33	33	34	34	32	31	30	30,1	32,6	31,7
1,00	14	30	31	31	32	33	33	33	34	34	33	31	30	30,4	32,9	32,0
0,98	15	30	31	31	31	33	33	33	34	34	33	31	30	30,2	32,7	31,8
0,94	16	30	30	31	31	32	32	32	33	33	32	31	30	29,9	32,3	31,5
0,91	17	29	30	30	31	32	32	32	33	33	32	30	29	29,6	32,1	31,2
0,87	18	29	30	30	30	32	32	32	33	33	31	30	29	29,3	31,7	30,8
0,83	19	29	29	30	30	31	31	31	32	32	31	30	29	28,9	31,3	30,4
0,80	20	29	29	29	30	31	31	31	32	32	31	29	28	28,6	31,0	30,2
0,75	21	28	29	29	29	30	31	31	31	31	30	29	28	28,2	30,6	29,7
0,70	22	28	28	28	29	30	30	30	31	31	30	29	28	27,8	30,1	29,2
0,64	23	27	28	28	28	29	30	30	30	30	29	28	27	27,2	29,6	28,7
0,57	24	26	27	27	28	29	29	29	30	29	28	27	26	26,6	28,9	28,0
	1,00	21,30	21,80	22,30	22,70	23,40	23,90	23,60	23,70	23,30	22,70	22,40	21,70	21,60		
	24,00	30,30	30,80	31,10	31,50	32,80	32,90	33,00	33,90	34,00	32,70	31,20	30,10	30,40		

Elaboración con el Método Bruce Novel Ampliado para la determinación de necesidades de protección solar. Los datos y fuentes de información suministrados en la tabla fueron extraídos por la Subdirección de Meteorología del Ideam para la ciudad de Cúcuta.

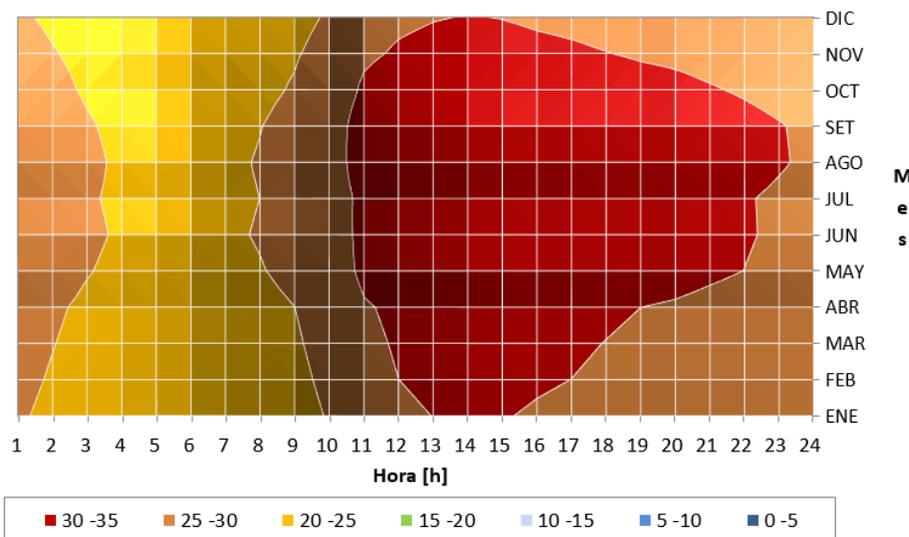


Figura 5. Temperaturas medias

2.4.3 Estudio del clima. Las condiciones climáticas son determinantes para el desarrollo del proyecto, y con el fin de buscar la asertividad y conocimiento de la condiciones ambientales de la ciudad, los aspectos generales se identifican por medio de la utilización del Método de Bruce Novell Ampliado los cuales son resultados de estudios previos a la investigación, esto lleva a un análisis de datos introducidos en tablas de Excel usando estadísticas proporcionadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Análisis Ambientales (IDEAM), las cuales son traducidas en gráficas que proporcionan información aplicable y considerable en el desarrollo del proyecto.

Tabla 3. Días de calefacción necesarios para la ciudad de Cúcuta

GRADOS DIAS DE CALEFACCION (TEMP-18)													PROMEDIOS		
ESTACION: Cúcuta - Colombia													D-E-F	M-J-J	AÑO
HORAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	D-E-F	M-J-J	AÑO
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

El resultado es ninguno. Como una información pertinente a estudios exteriores del presente proyecto es necesario descartar y brindar información acerca de las necesidades climatológicas del lugar. Se entiende al contexto como precario en circunstancias de altas temperaturas y necesidad de confort o enfriamiento del lugar.

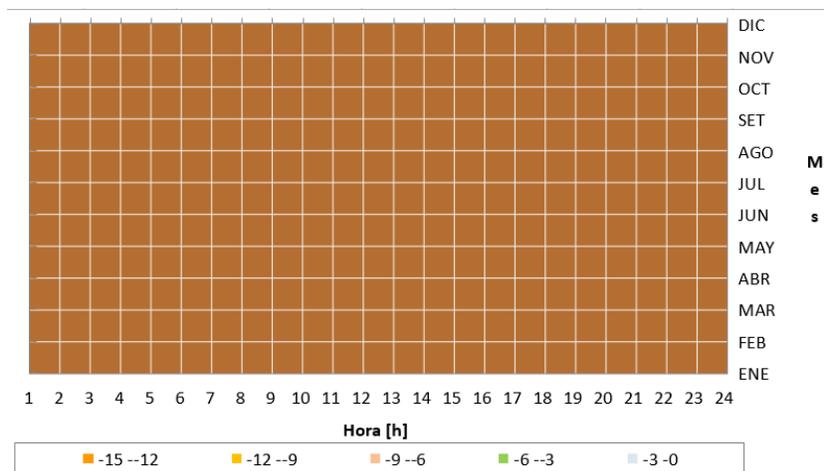


Figura 6. Grados días de calefacción

Tabla 4. Necesidades bioclimáticas de la ciudad de Cúcuta

NECESIDADES BIOCLIMÁTICAS: C=CONFORT - F=FRIO(NECESIDAD CALEFACCION) - S=NEC. DE SOMBRA - E=NEC. DE ENFRIAMIENTO																
METODO BRUCE NOVELL AMPLIADO																
ESTACION: Cúcuta - Colombia TCON 26,09 TCMX 30,1 TCMi 23,1																
HORA	ESTACIONES												TOTALES AÑO			
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	FRIO	CONF.	ENFR.	
1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	0	12	0	
2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	0	12	0	
3	F	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	1	11	0	
4	F	F	F	C	C	C	C	C	C	C	C	F	4	8	0	
5	F	F	F	F	C	C	C	C	C	F	F	F	7	5	0	
6	F	F	F	F	C	C	C	C	C	F	F	F	7	5	0	
7	F	F	F	C	C	C	C	C	C	C	F	F	5	7	0	
8	F	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	F	2	10	0	
9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	0	12	0	
10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	0	12	0	
11	C	C	C	C	E	E	E	E	E	E	C	C	0	6	6	
12	C	C	E	E	E	E	E	E	E	E	C	C	0	3	9	
13	C	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	C	0	2	10	
14	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	C	0	0	12	
15	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	C	0	1	11	
16	C	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	C	0	2	10	
17	C	C	E	E	E	E	E	E	E	E	E	C	0	3	9	
18	C	C	C	E	E	E	E	E	E	E	C	C	0	5	7	
19	C	C	C	C	E	E	E	E	E	E	C	C	0	6	6	
20	C	C	C	C	E	E	E	E	E	E	C	C	0	6	6	
21	C	C	C	C	E	E	E	E	E	E	C	C	0	6	6	
22	C	C	C	C	C	E	E	E	E	C	C	C	0	8	4	
23	C	C	C	C	C	C	C	E	E	C	C	C	0	10	2	
24	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	0	12	0	
FRIO	6	4	4	2	0	0	0	0	0	2	3	5	TOT.F	26	% F.	9
CONF.	16	16	14	15	13	12	12	11	11	11	15	18	TOT.C	164	% C.	57

Se entienden los datos de la tabla en un gran porcentaje de confort en la mañana como mayor parte del tiempo, a partir de las once de la mañana las temperaturas son elevadas hasta casi la media noche, por consiguiente, la necesidad de enfriamiento será necesaria para las edificaciones

en este contexto.

Tabla 5. Grados días de enfriamiento o protección con sombra para la ciudad de Cúcuta

GRADOS DIAS DE ENFRIAMIENTO O PROTECCION CON SOMBRA (TEMP.-TEMP.NEUT.)															
ESTACION: Cúcuta - Colombia															
HORAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROMEDIOS		
													D-E-F	M-J-J	AÑO
1	0	0	0	1	2	2	2	2	2	1	0	0	0,0	1,8	12,4
2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0,0	0,5	3,0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,1	0,4
10	0	0	0	0	1	2	2	2	2	1	0	0	0,0	1,6	10,7
11	2	3	3	4	5	5	5	6	6	5	3	2	2,5	4,9	47,8
12	3	4	4	5	6	6	6	7	7	6	4	3	3,5	6,0	61,2
13	4	4	5	5	6	7	7	8	8	6	5	4	4,0	6,5	67,9
14	4	5	5	5	7	7	7	8	8	7	5	4	4,3	6,8	71,2
15	4	5	5	5	7	7	7	8	8	6	5	4	4,1	6,6	69,0
16	4	4	4	4	5	6	6	7	7	6	5	4	3,8	6,3	64,6
17	3	4	4	5	6	6	6	7	7	6	4	3	3,5	6,0	61,2
18	3	4	4	4	5	6	6	6	7	5	4	3	3,2	5,6	56,8
19	3	3	4	4	5	5	5	6	6	5	4	3	2,8	5,2	52,3
20	2	3	3	4	5	5	5	6	6	5	3	2	2,6	5,0	48,9
21	2	2	3	3	4	5	5	5	5	4	3	2	2,1	4,5	43,4
22	2	2	2	3	4	4	4	5	5	4	2	1	1,7	4,0	37,8
23	1	1	2	2	3	4	4	4	4	3	2	1	1,1	3,5	31,1
24	0	1	1	2	3	3	3	3	3	2	1	0	0,5	2,8	23,3
	38	45	50	56	75	79	79	91	90	71	52	37	39,8	77,7	763,1
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,21	4,71	5,01
	4,21	4,71	5,01	5,41	6,71	6,81	6,91	7,81	7,91	6,61	5,11	4,01			

Se interpreta que a partir de las diez de la mañana es necesario involucrar la protección solar o la necesidad de enfriamiento en la edificación, la necesidad se ve reflejada incluso hasta la hora 24 del día, de esta manera se refleja la precariedad de las condiciones ambientales de la ciudad.

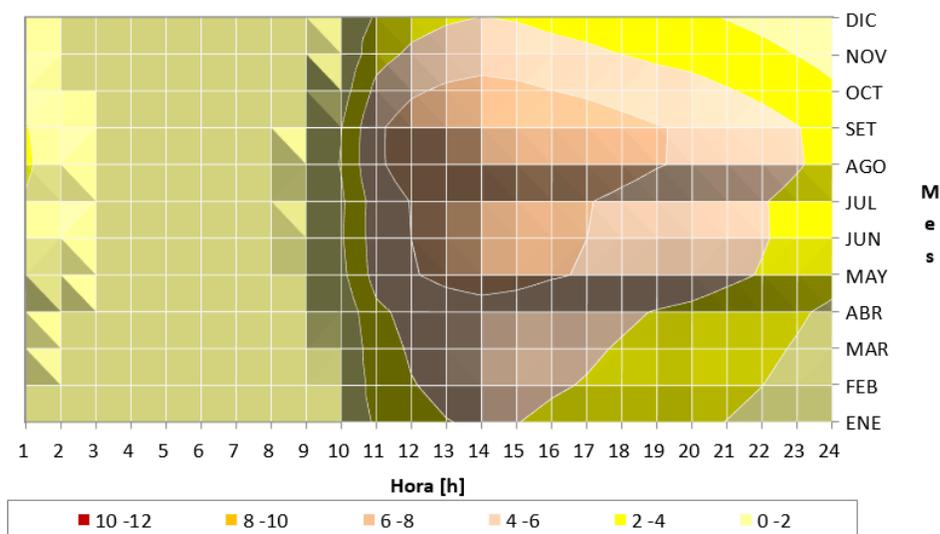


Figura 7. Grados días de enfriamiento o protección con sombra

Tabla 6. Necesidad de sombra en la ciudad de Cúcuta

NECESIDADES DE SOMBRA PARA TRASLADAR AL DIAGRAMA DE TRAYECTORIAS SOLARES EN PROY.CILINDRICA DESARROLLADA METODO BRUCE NOVELL AMPLIADO																
HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Total Horas			
6					S	S	S	S	S				5			
7				S	S	S	S	S	S	S			7			
8		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		10			
9	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	12			
10	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	12			
11	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	12			
12	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	12			
13	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	12			
14	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	12			
15	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	12			
16	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	12			
17	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	12			
18	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	12			
19	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	12			
20	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	12			
SOM	12	13	13	14	15	15	15	15	15	14	13	12	166	166	% S.	92
															% S.	92

En un promedio anual de necesidad de sombra para la ciudad de Cúcuta 92% de horas al día es necesaria la protección del sol directa, prevaleciendo hasta 20 horas al día en los meses de mayo y de septiembre.

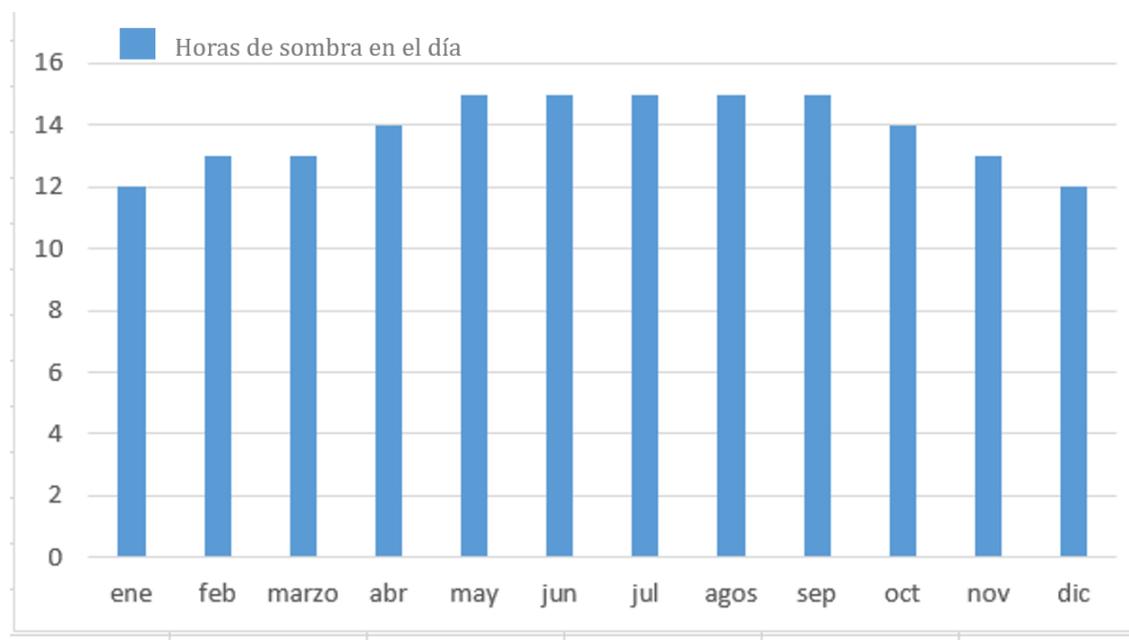


Figura 8. Gráfica de barras Comparación necesidad de sombreado

2.5 Marco Legal

Constitución política de Colombia:

Todos los colombianos tienen derecho a 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. (Art. 51)

Ley 3ª de 1991:

Establece como solución de vivienda el conjunto de operaciones que permite a un hogar disponer de habitación en condiciones sanitarias satisfactorias de espacio, servicios públicos y calidad de estructura, o iniciar el proceso para obtenerlas en el futuro, siendo acciones conducentes para su obtención, entre otras, el mejoramiento, habilitación y subdivisión de vivienda. (Art. 5)

Art. 6. Define el Subsidio Familiar de Vivienda como un aporte estatal en dinero o en especie, que podrá aplicarse en lotes con servicios para programas de desarrollo de autoconstrucción, entre otros, otorgado por una sola vez al beneficiario con el objeto de facilitar el acceso a una solución de vivienda de interés social o interés prioritario, sin cargo de restitución, siempre que el beneficiario cumpla con las condiciones que establece la ley.

Establece que está en cabeza del Gobierno Nacional la facultad de determinar la cuantía del subsidio familiar de vivienda, de acuerdo con los recursos disponibles, el valor final de la solución de vivienda y las condiciones socioeconómicas de los beneficiarios, en cuya postulación se dará un tratamiento preferente a las mujeres cabeza de familia de los estratos más pobres de la población, a las trabajadoras del sector informal y a las madres comunitarias. (Art. 6)

Decreto 867 de 2019:

“Las intervenciones a efectuar en las viviendas donde se aplique el subsidio familiar de vivienda en la modalidad de mejoramiento de que trata el presente capítulo” (Art.1), se categorizarán de la siguiente manera:

Tabla 7. Categorización de intervenciones en viviendas con subsidio familiar

CATEGORIA	DESCRIPCION
I	Viviendas cuya intervención no es estructural y requiere mejoras locativas. Estas intervenciones no requieren licenciamiento.
II	Viviendas que requieran una intervención estructural y mejoras locativas, y estas últimas pueden desarrollarse sin necesidad de efectuar previamente la intervención estructural.
III	Viviendas que requieran una intervención estructural y mejoras locativas, y la intervención estructural que puede incluir mitigación de vulnerabilidad debe efectuarse previo a las mejoras locativas. Estas intervenciones requieren licenciamiento.

Fuente: Departamento Administrativo de la Función Pública, 2020.

Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-10, Título G: Estructura de madera y estructuras de guadua:

Dentro de los alcances que tiene este reglamento para las edificaciones en madera afirma que son comparables en diseño, infraestructura y nivel de seguridad con cualquier otra edificación construida con otros materiales especificados en la presente norma.

Sello Ambiental Colombiano, Resolución 1555 de 2005:

En el marco del Plan Nacional Estratégico de Mercados Verdes, cuyo objetivo es consolidar la producción de bienes ambientalmente sostenibles e incrementar la oferta de servicios ecológicos competitivos en los mercados nacionales e internacionales, creó el Sello Ambiental Colombiano - SAC y reglamentó su uso mediante la Resolución 1555 de 2005 expedida conjuntamente con el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible define el Sello Ambiental Colombiano como un distintivo o sello que se obtiene de forma voluntaria y que puede portar un producto (bien o servicio) que cumpla con unos requisitos ambientales definidos para su categoría.

Se obtiene mediante auditoría de certificación realizada por una organización independiente denominada “Organismo de Certificación”.

A continuación, se mencionan algunas características de un producto identificado con el Sello Ambiental Colombiano:

Hace uso sostenible de los recursos naturales que emplea (materia prima e insumos).

Emplea procesos de producción que involucran menos energía o hacen uso de fuentes de energías renovables o ambas.

Considera aspectos de reciclabilidad, reutilización o biodegradabilidad.

Usa materiales de empaque preferiblemente reciclables, reutilizables o biodegradables y en cantidades mínimas.

Emplea tecnologías limpias o que generen un menor impacto relativo sobre el ambiente e indica a los consumidores las mejores formas sobre su disposición final

Política de crecimiento verde:

La implementación de la Política de Crecimiento Verde en Colombia busca equilibrar el uso de los recursos naturales junto con el desarrollo económico del país, permitiendo también al país alinearse a las prioridades en materia a nivel internacional, lo que es favorable ante el ingreso de Colombia a la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos).

Su principal objetivo es impulsar al 2030 el aumento de la productividad y la competitividad económica del país, al tiempo de asegurar el uso sostenible del capital natural y la inclusión social, de manera compatible con el clima.

Esta política fue aprobada por el Consejo Nacional de Política Económica y Social el 10 de julio de 2018 mediante el Documento CONPES 3934.

Este documento de política establece que para mantener e incrementar el ritmo de crecimiento económico que necesita el país, y así atender las problemáticas sociales, en materia de pobreza, desigualdad y construcción de paz, se requiere la búsqueda de nuevas fuentes de crecimiento que sean

sostenibles a partir de la oferta de capital natural para la producción de bienes y servicios ambientales, representada en más de 62.829 especies registradas, 24,8 millones de hectáreas con aptitud forestal y un potencial eólico de 29.500 Megavatios (SiB, 2018; UPRA, 2018; UPME, 2015). Igualmente, esta política reconoce que el desarrollo económico actual será insostenible a largo plazo, ya que degrada y agota la base de los recursos para la producción económica y genera altos costos para el ambiente y la sociedad, valorados en más de 16,6 billones de pesos, equivalente al 2,08 % del producto interno bruto (PIB) del 2015 (DNP, 2018). Lo anterior, hace necesario internalizar las externalidades negativas del desarrollo de manera que los sectores sean cada vez más competitivos, más sostenibles en el uso de los recursos y generen menos impactos ambientales. (p.3)

Esta política se encuentra alineada con los compromisos internacionales relacionados con desarrollo sostenible como la Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible, la implementación del Acuerdo de París sobre cambio climático y las recomendaciones e instrumentos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. Igualmente, se articula con políticas y planes nacionales en materia sectorial y ambiental. (p.4)

La política contiene cinco ejes estratégicos que se implementarán durante 13 años (2018-2030) y comprende acciones específicas de carácter intersectorial, es decir, en el que participan diferentes sectores (educación, minas y energía, agricultura y desarrollo rural, planeación, comercio, industria y turismo, etc.) y entidades.



Figura 9. Ejes estratégicos de la Política de Crecimiento Verde

Fuente: CONPES, 2018.

El Crecimiento Verde incide directamente en el cumplimiento de 9 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), e indirectamente en otros 7 ODS, y promueve acciones asociadas al cumplimiento de los compromisos del Acuerdo de París.



Figura 10. Impactos directos e indirectos del Crecimiento Verde sobre las ODS

Fuente: CONPES, 2018.

Por lo anteriormente expuesto, se puede evidenciar la importancia del componente ambiental y su pertinencia en el marco del desarrollo social en Colombia, a su vez se entiende el crecimiento verde como una oportunidad con gran potencial económico. Adicionalmente la política dentro de sus objetivos por medio del documento CONPES determina el factor académico como un aporte significativo a la sostenibilidad y un futuro mejor, por consiguiente, se toma una postura responsable y comprendida en la presente investigación frente a los objetivos misionales y políticas de Colombia y su crecimiento verde.

3. Marco metodológico

3.1 Tipo de Investigación

El tipo de investigación realizado en este trabajo de investigación ha sido de tipo documental y experimental, entendiendo la investigación documental según Fideas G. Arias como un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

La investigación experimental es un proceso que consiste en someter un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente).

3.2 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación será dispuesto de la siguiente manera:

Principalmente se usará la investigación bibliográfica y de documentos que nos permiten estudiar las diferentes posibilidades de construcción en guadua, de igual forma sus diferentes maneras de ensamblar y comprobación de que estos métodos funcionan, para esto se estudiarán tesis de pregrado, maestrías, doctorados, al igual que revistas y artículos científicos y páginas de internet que abarquen el mundo científico y actualizado del tema estudiar.

Se identifican las características de materialidad de la envolvente a trabajar en la vivienda de interés social con el fin de estudiar las determinantes necesarias y lograr responder de la mejor manera a las necesidades climáticas de la edificación.

Se establece una propuesta de diseño según lo recopilado y estudiado de la información bibliográfica obtenida. La utilización de herramientas digitales como Grasshopper y Rhinoceros serán también influyentes para consolidar el diseño arquitectónico logrando una sinergia entre el conocimiento constructivo documentado y el conocimiento en materia de diseño digital y paramétrico. El control de las formas paramétricas que presente el diseño final serán resultado de fórmulas y plugins proporcionados por el software Grasshopper y correspondientemente modelado en Rhinoceros.

La propuesta de diseño será sometida al software de simulación térmica Ecotect con el fin de analizar y concluir qué ventajas térmicas nos puede dar el uso de la guadua como una alternativa de construcción de fachadas en viviendas de interés social. Los modelos desarrollados en el software se evalúan en un mismo entorno determinado por un periodo estacionario del año propuesto por la investigación, por consiguiente, la variación de resultados estará dada según el periodo asignado y los datos climatológicos documentados en el proyecto (la recolección de datos referentes al clima se da en un momento único) e introducidos en el software.

Se especificarán las características constructivas y de diseño de la envolvente modular en guadua establecida como resultado final para la vivienda.

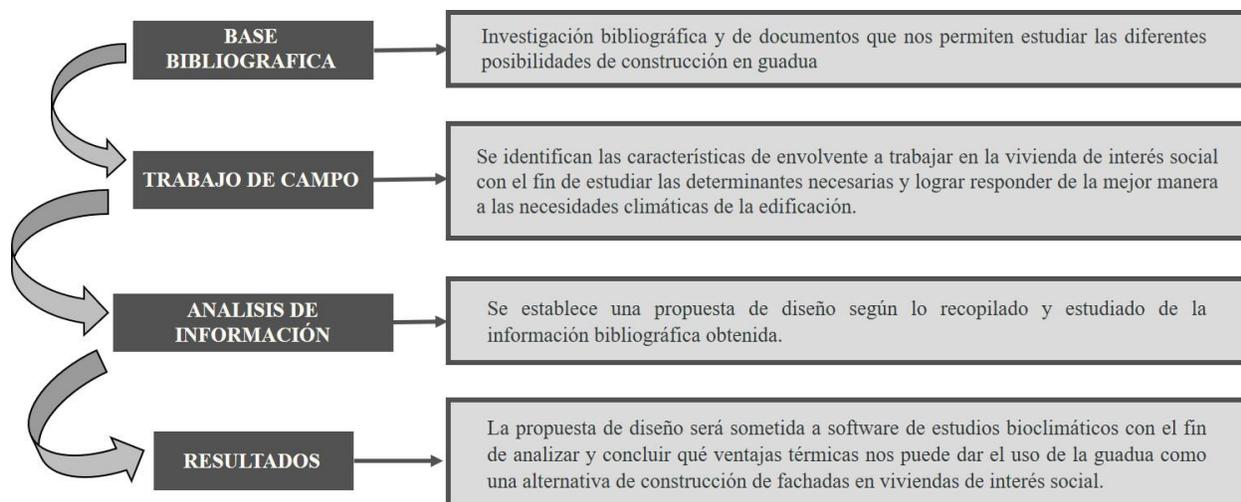


Figura 11. Metodología de investigación aplicada al proyecto

3.3 Población y Muestra

La población se precisa como un conjunto de elementos que presentan características comunes. En este caso de estudio la población o universo está representada por las edificaciones que corresponden a las viviendas de interés social construidas en la ciudad de Cúcuta, de las cuales dan respuesta a usuarios que son beneficiados por el gobierno para optar las propiedades. Se identifican algunos proyectos de viviendas VIS en tipología unifamiliar y bifamiliar de la ciudad como un subconjunto de la población, de los cuales se reconocen sus características morfológicas básicas y se analizan sus sistemas constructivos con enfoque a la materialidad de la envolvente.

4. Resultados

4.1 Guadua

Para el libro *Bamboo* (2000) Oscar Hidalgo Lopez proporciona información importante acerca de la guadua gracias a sus múltiples estudios e investigaciones por querer alcanzar el mayor provecho de este recurso. Lo siguiente hace referencia a la descripción de la especie *Angustifolia Kunth*, esta especie se conoce con diferentes nombres comunes en cada país: en Panamá se conoce como "Cafiaza"; en Colombia "guadua" o "macana"; en Ecuador como "cafia guadua o caña brava"; en Venezuela como "guafa"; en Brasil como "tacuarucu"; en Argentina, como "tacuara"; en Paraguay como "tacuru-pucu; y en Perú como "cana de Guayaquil".

El bambú no es un árbol, como lo considera la mayoría de las personas, sino una hierba arborescente gigante, o en otras palabras, una hierba gigante leñosa. Como tal, pertenece a la familia Gramineae (Poaceae), subfamilia Bambusoideae, cuyos miembros poseen un distintivo similar en la anatomía de la lámina de la hoja, es decir, células fusoides y células del brazo, que distinguen al bambú de los pastos. Todas las hierbas que poseen este tipo de anatomía de la hoja se conocen como "pastos bambusoides". Varían desde unos pocos centímetros de altura, como los de los géneros *Raddiella* que crecen en rocas húmedas cerca de los rápidos en las Guayanas, América del Sur, hasta especies gigantes de hasta 40 metros de altura, como *Dendrocalamus giganteus*, de la India.



Figura 12. *Guadua Angustifolia* Kunth (macana)

Fuente: Hidalgo, 2003.

Esta es una de las especies más importantes del mundo, debido a su gran resistencia y durabilidad y, en consecuencia, es el mejor material para la construcción de estructuras, y tiene un gran potencial para la fabricación de materiales compuestos.

Esta especie es nativa de América del Sur, donde creció originalmente desde Panamá y el norte de Colombia hasta aproximadamente 280 latitud sur a lo largo del río Paraná, en la frontera norte entre Argentina y Paraguay. Esta especie se encontró originalmente en las orillas y en las cuencas de los ríos más grandes de Colombia, Ecuador, Venezuela, las Guayanas, Brasil y Paraguay. Creció en las orillas del río Paraná desde Minas Geraes y Goias hasta Posadas y Corrientes en Argentina en la frontera con Paraguay. Desafortunadamente, ha sido destruido en Venezuela y en la mayoría de los países de América Central y del Sur, excepto en Colombia.

Es el vegetal de más rápido crecimiento en el mundo. Llegando en una etapa a crecer hasta 20 cm diarios. Produce más biomasa que cualquier madera tropical, y de mejor calidad, en condiciones ideales se podría llegar a 50 Tn/ha/año. En cuatro años puede ser cosechada. Se siembra una sola vez, y produce brotes indefinidamente, mejorando su calidad con el tiempo.

Retiene más humedad que cualquier vegetal; en épocas húmedas almacena agua dentro de los canutos. Esta absorción también controla las inundaciones, y en época seca dosifica el agua a las raíces reteniendo la humedad en los suelos.

A nivel mundial se conocen alrededor de 1500 aplicaciones diferentes para el bambú, desde papel hasta grandes estructuras, específicamente la especie *Guadua Angustifolia Kunth* tiene mucha versatilidad, la misma que se plasma en los variados usos que se le puede dar, sin embargo, éstos se distinguen de acuerdo a las características propias de cada sección de la planta.

El **rizoma** es también conocido como “caimán” y su uso es en decoración, muebles y juegos infantiles.

La **cepa** es la sección de mayor diámetro de la guadua y debido a que sus entrenudos son más cortos ofrece mayor resistencia por lo que es utilizada como elemento estructural de construcciones, cerramientos y particiones.

La **basa** de diámetro intermedio es usada para esterillas y también como elemento estructural de edificaciones.

La **sobrebasa** es utilizada como andamios, encofrados y postes para cultivos.

El **varillón** es la sección de menor diámetro y es utilizado como correas de cubiertas de paja o tejas.

La **copa** sirve como aporte orgánico para el suelo del guadual.

PARTES DE UNA GUADUA		
DESCRIPCIÓN		UTILIZACIÓN
COPA Parte apical de la guadua con una longitud de 1,20 a 2,00 m.	2 m. 20 m.	Se rapica en el suelo del guadual como aporte de materia orgánica.
VARILLON Sección de menor diámetro. Su longitud tiene aproximadamente 3 metros.	3 m. 18 m.	Se utiliza en la construcción como correa de techos con tejas de barro o de paja. Se emplea como tutor en cultivos transitorios.
SOBREBASA Es un tramo de guadua con buen comercio debido a su diámetro, que permite un uso variado. Posee una longitud aproximada de 4 metros.	4 m. 15 m.	Utilizada como elemento de soporte en estructuras de concreto de edificios en construcción. También se emplea como viguetas para formaletear planchas y como postes de espalderas en cultivos.
BASA Parte de la guadua que mayores usos tiene, debido a su diámetro intermedio. Es la sección más comercial de la guadua. La longitud es de 8 metros aproximadamente.	8 m. 11 m.	De esta sección se elabora generalmente la estanilla, la cual tiene múltiples usos: en construcción de paredes, casetones y formaletas de planchas. Esta parte se utiliza como vigas y columnas en construcciones nuevas de guadua.
CEPA Sección basal del culmo de mayor diámetro, debido a sus entrenudos más cortos proporciona una mayor resistencia y tiene una longitud de 3 metros.	3 m. 3 m.	Se utiliza como columnas en construcción y para cercos.
RIZOMA Es un tallo modificado, subterráneo, que se conoce popularmente como "caimán"	0 m. -2 m.	En decoración, muebles y juegos infantiles.

Figura 13. Las partes de la guadua

Fuente: CIVILGEEKS, s,f.

Ventajas:

Entre las ventajas que presenta la guadua, merecen citarse las siguientes (Pecha, 2013).

Tiene extraordinarias características físicas, permitiendo su empleo en todo tipo de miembros estructurales.

Su sección circular, generalmente hueca, la hace más liviana, fácil de transportar y almacenar, permitiendo la construcción rápida de estructuras temporales o permanentes.

En cada nudo existe un tabique o septo transversal que, a la vez que le da mayor rigidez y elasticidad, evita su ruptura al curvarse. Por eso es apropiada para estructuras antisísmicas.

No tiene corteza o partes que se consideren desperdicios.

Además de su uso como elemento estructural, tiene otros usos, como tuberías de agua y líquidos para drenajes, para muebles, vallados y alambradas, postería, puentes, cerramientos, etc.

Puede combinarse con otros materiales de construcción tales como: madera, concreto, zinc, celulosa-cemento, barro, etc.

Es de más alto rendimiento en crecimiento y propagación que la madera.

Su manejo es sencillo y no requiere especialistas.

De ella pueden obtenerse materiales para: mallas estructurales, esterillas, parquet, contrachapados, y de manera especial las latillas para tableros prefabricados.

Continúa siendo el material de más bajo precio.

Desventajas:

La humedad constante la pudre, si no se protege.

Debe mantenerse en lo seco. A pesar de que la (GAK), es una de las especies más resistentes al ataque de insectos, principalmente del *Dinoderus minutus*, deben tomarse precauciones en su selección, tiempo de Corte y de seccionamiento; su curado y secado deben realizarse

inmediatamente después del seccionamiento, con el fin de preservarlo de dichos ataques y para asegurar una mayor duración.

Al envejecer, pierde resistencia, si no se la trata adecuadamente.

Se contrae al secarse, cuando se utiliza como refuerzo estructural del concreto, por lo que deben tomarse las precauciones del caso.

Las uniones de miembros estructurales deben ser reforzadas cuando se utilizan los mismos tipos de unión de la madera. Se recomienda, por lo tanto, usar su propia carpintería.

Los entrenudos se aplastan ante fuertes compresiones puntuales, por lo que las tensiones no deben ejercerse en el entrenudo sin antes haber rellenado dicho entrenudo con un cilindro de madera; con un trozo de guadua, de menor diámetro o con una mezcla licuada de cemento, arena y agua.

Tiene la tendencia a rajarse si se utilizan clavos gruesos.

No tiene diámetro constante en toda la longitud del tallo ni espesor constante en las paredes de los entrenudos, por lo que debe hacerse una selección y colocación cuidadosa de las piezas cuando son utilizadas, por ejemplo, como viguetas de pisos o como parantes en las paredes.

4.1.1 El corte. Autores como Aguilar (2018) afirma que: “La edad óptima para cortar el bambú *Guadua Angustifolia* y utilizarlo en la construcción es de 4-6 años de edad, que es cuando alcanza su madurez caracterizada por tener menos humedad y un tejido más duro” (p.11).

Los ciclos de corte son los periodos de tiempo entre un aprovechamiento y otro; y están determinados por la capacidad de regeneración del guadual y la maduración de los tallos, estos

periodos generalmente fluctúan entre un año y medio. El corte del culmo se lo realiza a ras del primer o segundo nudo sobre el nivel del terreno, esto para evitar dejar pocillos de agua que pudran el rizoma (Samaniego, 2018).

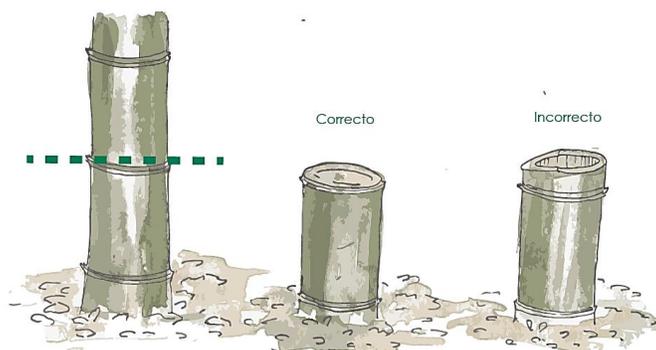


Figura 14. Corte de la caña guadua

Fuente: Aguilar, 2018.

El conocimiento empírico de la población campesina es considerado muy importante al momento de cortar la guadua, factores como la observación de la luna, la hora del corte y la estación del año son tomados en cuenta para el proceso, esto debido a que como cualquier otra planta natural, la guadua posee en su interior almidones que son apetecidos por hongos e insectos; por lo anterior, es de gran consideración la opinión del conocimiento empírico con el fin de reducir el contenido de humedad del culmo al momento de su corte.

La mejor hora considerada para la procedencia del corte es en la madrugada antes de que salga el sol, aproximadamente entre las 4:00am y 6:00 am con una prolongación hasta las 9:00am, lo anterior es debido a que durante el día y en su exposición al sol la planta realiza actividades fisiológicas como la fotosíntesis y dichos procesos aumentan la humedad a niveles muy altos.

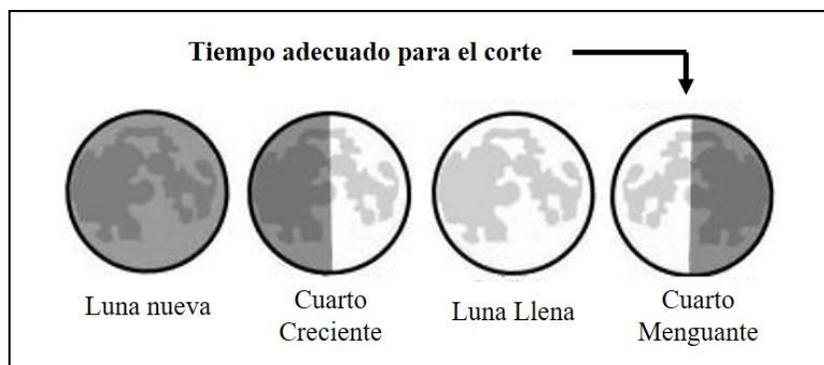


Figura 15. Fases de la luna para la cosecha de la caña guadua

Fuente: Samaniego, 2018.

Así mismo, con la intención de que el corte de la caña guadua sea en momentos de baja humedad y que exista la menor cantidad de líquidos en la planta, es considerable que esta actividad se realice en épocas del año secas, ya que los tejidos y más células como la perénquima son más blandos en épocas de lluvia y por lo tanto aumentan sus posibilidades de infestación por hongos.

4.1.2 Preservación. Por la composición que posee la guadua y al ser madera vegetal es un material muy apetecido por hongos e insectos que lo deterioran, la diferencia entre un bambú que esté preservado y otro que no lo esté es muy extensa en la construcción, al preservarlo su vida útil puede ser alargada hasta 20 años, mientras uno que no esté procesado tendrá 2-3 años antes de deteriorarse en su totalidad.

La idea de preservar el bambú es eliminar los nutrientes que atraen a los hongos e insectos por medio de la inmunización, desde métodos de curados naturales utilizando el sol y el agua hasta procesos que utilizan productos químicos los cuales son los más efectivos.

El método por inmersión es el más efectivo para inmunizar las cañas y se describe a continuación según el Manual Para la Construcción con Bambú (Aguilar, 2018):

Una vez que se cortan las cañas se deben trasladar para empezar el proceso de inmunización es muy importante que las cañas no estén muy secas debido a que la sal penetra por osmosis, que sólo funciona si hay suficiente humedad.

Perforar las cañas en sentido longitudinal utilizando un taladro con una varilla larga con punta de broca de forma tal que atravesase cada uno de sus entrenudos o manualmente empujar a través de todos sus nudos, esto servirá para que el líquido penetre en toda la caña.

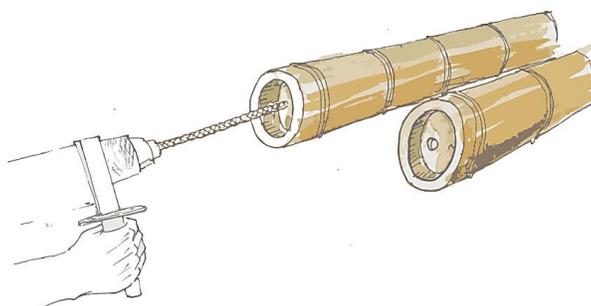


Figura 16. Perforación de entrenudos

Fuente: Samaniego, 2018.

Preparar en una piscina la solución de pentaborato:

La preservación es alcanzada usando un 5% de solución de bórax, la cual su pH es neutral.

La solución de pH se hace usando 50% ácido bórico y 50% óxido de bórax, ambos en polvo disueltos en agua tibia.

La concentración de ambos agentes químicos disueltos en agua es de 50 kg por m³, 25 kg de ácido bórico y 25 kg de óxido bórico. Esto para preservar cerca de 100 o más culmos de bambú dependiendo de sus dimensiones.

La solución de pentaborato permanece activa por 1 o 2 meses.

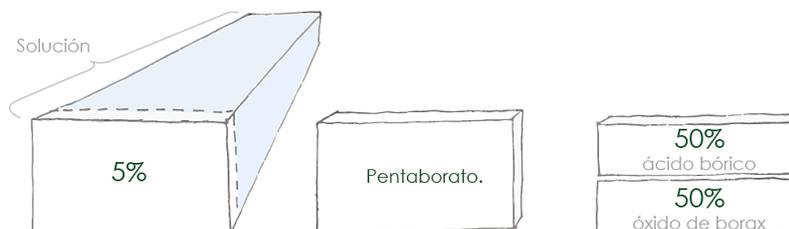


Figura 17. Proporción solución pentaborato

Fuente: Aguilar, 2018.

Sumergir las cañas poniendo piedras o sobrepeso para que no floten y se dejen sumergidas durante 24 horas en agua tibia, o 4 días en agua temperatura ambiente.

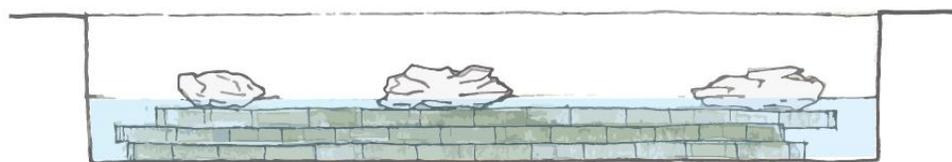


Figura 18. Inmersión de los culmos en la solución pentaborato

Fuente: Aguilar, 2018.

Retirar las cañas de la piscina, escurriendo los excedentes de líquido y pasar al proceso de limpieza.



Figura 19. Escurrimiento de los culmos

Fuente: Aguilar, 2018.

4.1.2.1 Limpieza. Una vez concluido el proceso de inmersión las cañas deben ser limpiadas del musgo, y líquenes en su mayoría, para lo cual hay varios métodos manuales. Lo más eficiente en tiempos y costos es utilizar una hidro-lavadora con chorro de agua a presión para remover musgos y líquenes, de esta manera se obtiene un producto más presentable. No se recomienda el uso de esponjas ni cepillos metálicos ya que pueden debilitar la cáscara.

4.1.2.2 Blanqueamiento. Para que las superficies de las cañas sean más claras y adopten el color amarillo típico del bambú de manera homogénea, se deben exponer al sol de manera controlada. En un área libre colocar dos trípodes y un travesaño e ir inclinando los bambúes en ambos sentidos, apoyados sobre una superficie seca, a esta estructura se le conoce comúnmente como “burro”. Es muy importante rotar todos los culmos a lo largo del día sobre todo al medio día a fin evitar que se rajen por el sobrecalentamiento. Este proceso dura máximo un mes.



Figura 20. Blanqueamiento del bambú sobre el burro

Fuente: Aguilar, 2018.

4.1.2.3 Secado. El secado de los culmos es indispensable para los fines estructurales de estos, pues la absorción de humedad hace que su cáscara se hinche y pierda propiedades mecánicas. El secado del bambú deberá realizarse en un área cubierta y seca con amplios aleros y sin muros para asegurar el flujo de aire. Los culmos se apilarán por capas separadas entre ellas para que exista ventilación. Este proceso toma entre 2 y 3 meses, pero dependerá del clima del lugar.

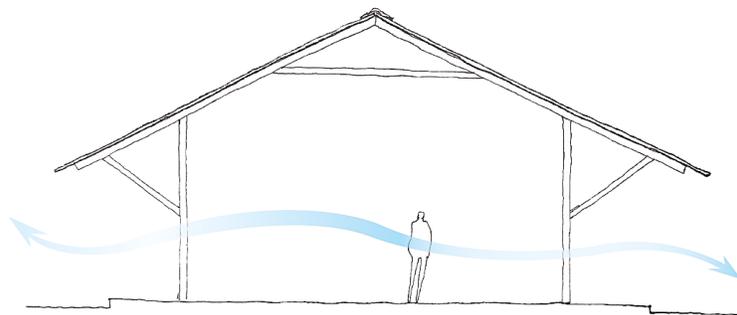


Figura 21. Esquema del área de almacenamiento

Fuente: Aguilar, 2018.

4.1.3 Selección de la guadua para la construcción. En el campo de la construcción asociada al uso de la materia prima natural como la guadua se presentan dos tiempos de selección, la madera situada en el campo, lugar de almacenamiento o donde se compre y el segundo en la obra que se realice el proyecto. La intención del primer tiempo de selección es lograr las mejores características visualmente y para el segundo tiempo es obtener las mejores características de la guadua estructuralmente.

A continuación, se describen los dos tiempos visuales de selección de la guadua: (Gutierrez & Gomez, 2002).

4.1.3.1 Observación visual por defectos. Defectos relativos a la constitución anatómica:

Se considera como defecto cuando la guadua ha sido atacada y presenta pudrición; la parte siguiente a la corteza, denominada albura, es susceptible a estos ataques.

La desviación angular que puedan presentar los elementos constitutivos de la guadua, con respecto al eje longitudinal de la vara.

Defectos relativos al ataque de agentes biológicos:

Mancha: Cambio de color de la guadua producido por hongos que descomponen la estructura leñosa.

Perforaciones grandes: Son agujeros mayores a 0.003 metros producidos por insectos o larvas perforadoras.

Perforaciones pequeñas: Son agujeros menores o iguales a 0.003 metros producidos por insectos o larvas perforadoras.

Pudrición: Descomposición en la cual la guadua pierde parte de sus propiedades mecánicas y sufre cambios de color debido al ataque de los hongos.

Defectos originados en el transporte y almacenamiento de la guadua:

Rajadura: Separación de los elementos constitutivos de la guadua que se extienden en dirección del eje longitudinal de la vara afectando totalmente el espesor de la misma

Defectos originados durante el secado:

Alabeo: Deformación que puede sufrir una vara de guadua por la curvatura de su eje longitudinal.

Colapso: Reducción de las dimensiones de la guadua que ocurre durante el proceso de secado por encima del punto de saturación de la fibra y que se debe a un aplastamiento de sus cavidades celulares. Frecuentemente se observa un corrugado en la superficie de la corteza.

Grieta: Separación de los elementos constitutivos de la guadua cuyo desarrollo no alcanza a afectar todo el espesor de la pieza de guadua.

Rajadura: Separación de los elementos constitutivos de la guadua que se extienden en dirección del eje longitudinal de la vara afectando totalmente el espesor de la misma

Torcedura: Alabeo simultaneo en las direcciones longitudinal y transversal.

Control de defectos.

Constitución anatómica. Los defectos relativos a la constitución anatómica de una vara de guadua no son controlables debido a que son características propias de la especie. Son

características de crecimiento que al habilitar las piezas de guadua alteran su comportamiento estructural.

Los defectos relativos al ataque de los agentes biológicos son controlables a su debido tiempo como cualquier infección. Se cuenta con la ayuda de preservantes hidrosolubles y oleosolubles en el mercado.

Transporte y almacenamiento de la guadua: Estos defectos son ocasionados por lo general por deficiencias manuales o mecánicas durante dichas operaciones. Se controlan fácilmente teniendo en cuenta la mano de obra calificada y el buen mantenimiento de la maquinaria.

Secado: Generalmente los defectos originados en secado son ocasionados por deficiencias en el sistema de apilado y almacenamiento de las piezas al secarse o por un mal programa de secado al horno. Se controlan teniendo en cuenta que en el apilado se presente una buena ventilación.

4.1.3.2 Clasificación visual estructural. Debido a que la Guadua es diferente en su conformación física a lo largo del tallo, es importante clasificar la Guadua inicialmente en grupos de acuerdo con sus diámetros, tamaños y funciones. Estructuralmente se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

Separar las Guaduas cilíndricas más derechas y gruesas para la conformación de las uniones principales de mayor longitud.

Seleccionar las Guaduas delgadas para diagonales.

Eliminar las Guaduas que tengan curvaturas y las Guaduas con secciones cónicas para ser utilizadas como esterilla o tejidos.

Clasificar las Guaduas con paredes más gruesas para ser asignadas a los elementos con esfuerzos mayores de diseño.

4.1.4 Diámetros y espesores de la guadua. Para los diámetros y dimensiones de la guadua es necesario entender que varían según cada especie, sin embargo, se han realizado estudios en Colombia por varios autores a cerca de la *Guadua Angustifolia* Kunth, esto con el intento de estandarizar y conocer el material por su finalidad en la construcción.

En las siguientes tablas se refleja que un porcentaje promedio presentado para los diámetros está en los 100 mm, siendo 64 mm el menor diámetro y 170 mm el mayor; por otro lado, el menor rango presentado en la pared del culmo hueco es de 14 mm y el mayor rango es de 19 mm.

Tabla 8. Diámetros de la *Guadua Angustifolia* Kunth

Autor	Media	Mínimo	Máximo
García, (2004)	105	64	158
Stamm, (2002)	115	106	130
Montoya y Morales, (2001)	110	80	130
Takeuchi y Cortés, (2012)	125	110	170

Fuente: Barreto, 2017.

Tabla 9. Espesores comunes en la pared del culmo de la *Guadua Angustifolia* Kunth

Autor	Promedio	Desviación estándar
García, (2004)	16	2
Stamm, (2002)	17	3
Montoya y Morales, (2001)	14	5
Takeuchi y Cortés, (2012)	19	5

Fuente: Barreto, 2017.

4.1.5 Beneficios sociales y económicos. Los beneficios de carácter social y económico, surgen desde el primer momento que se inicia con el cultivo de la guadua; desde ahí se empieza a fomentar, a generarse el trabajo y a emplearse personal para cada una de las actividades que esto implica. Gracias a la facilidad de reproducción, propagación y al crecimiento acelerado que posee esta planta, si se le da un manejo sostenible y adecuado se convierte en una buena fuente de empleo. La guadua colombiana tiene una fama bien ganada, por su buena calidad, convirtiéndola en un material muy apetecido a nivel nacional e internacional, aumentando de tal forma las oportunidades de mejorar el nivel de vida de muchas familias.

Colombia ocupa el segundo lugar en diversidad de bambú en Latinoamérica. Actualmente, 9 géneros y 70 especies están reportados, siendo 24 especies endémicas y por lo menos aún 12 por describir. La región andina tiene la mayor cantidad y la más grande diversidad en población de especies de árboles (89%) y la Cordillera Oriental la más rica, con el 55% de bosques de bambú reportados hasta ahora. Los departamentos de Colombia con mayor diversidad de bosques de bambú son Norte de Santander, Cundinamarca, Cauca, Valle del Cauca, Antioquia, Huila, Nariño y Quindío. La mayoría de especies pertenecen al género *Chusquea* (30%), y el resto pertenecen a los géneros *Neurolepis*, *Arthrostyidium*, *Aulonemia*, *Elytostachys*, *Merostachys*, *Rhipidocladum*, *Guadua* y *Otatea*.

El tejido de una identidad social se enfoca en los recursos que el territorio posee, la apropiación cultural de unas características ambientales propias y la ideación del aprovechamiento económico sostenible y adecuado de estos. Nexus (2014) afirma:

La guadua es el bambú nativo de mayor importancia en el país. Es un excelente recurso renovable de rápido crecimiento y fácil manejo, que brinda beneficios económicos, sociales y ambientales a las

comunidades rurales en el país. La guadua ha acompañado el desarrollo de la caficultura colombiana como el principal componente ambiental que hace parte del paisaje. Se estima que entre 1993 y el 2002 la guadua generó recursos que ascienden a la suma de 8.611 millones de pesos del 2003. Según las corporaciones autónomas regionales se deben haber aprovechado 3.075.592 millones de guaduas en pie, de las cuales se obtuvieron aproximadamente 12.302.368 piezas comerciales. (p.3)

4.1.6 Beneficios ambientales. En cuanto a los beneficios ambientales, la guadua es sinónimo de agua, captura de CO₂ y producción de oxígeno que puede ser aprovechada en la protección de cuencas y microcuencas. Además, es una fibra calificada como “acero vegetal” y utilizada ya en Japón por la industria de fibrocemento para reemplazar la fibra de asbesto. Igualmente, es una de las mejores materias primas para la producción de pisos y, muy útil para la construcción de vivienda en cualquier estrato de la población. Después del sismo registrado en enero de 1999 en el Eje Cafetero, este material demostró que por sus cualidades físico-mecánicas cuando se utiliza adecuadamente es muy resistente a estos eventos. Es así como ha sido utilizado masivamente en diferentes proyectos de reconstrucción.

4.1.7 Resistencia al fuego. De acuerdo con la norma DIN 4102 Comportamiento de quemado de materiales de construcción, la guadua es considerada como inflamable pero poco combustible basándose en las altas concentraciones de ácido salicílico de la corteza y la alta densidad.

La susceptibilidad a la ignición depende particularmente de la posición del componente. Los componentes horizontales son menos susceptibles que los diagonales o verticales. En una caña de guadua situada en una posición horizontal, las llamas se esparcen anularmente hacia el nudo próximo. Entonces el fuego se apaga porque la llama no puede pasar fácilmente de un nudo a otro en un material poco combustible.

Si el segmento intermedio (entre nudos) revienta, mostrando roturas longitudinales y transversales, la combustión es más rápida. Además, las rajaduras transversales disminuyen significativamente la capacidad de soportar cargas.

La combustión de segmentos en posición diagonal se produce en forma ascendente hasta el final, siendo el mismo comportamiento que en posición diagonal.

Se concluye por tanto que:

Los componentes estructurales en posición horizontal son más resistentes al fuego que las posiciones verticales o en posición inclinada.

La relativa lentitud de ignición y expansión de la llama en el bambú ofrece ventajas dado que el tiempo en caso de evacuación por incendio se incrementa notablemente.

En relación con la normativa y comportamiento al fuego de materiales y componentes constructivos, la guadua puede ser clasificada como combustible y particularmente como material constructivo retardante. (p.3)

4.1.8 Propiedades fisicomecánicas 8. Al igual que la madera la guadua puede variar sus propiedades según su edad de madurez, en el caso de este ejemplar su mayor resistencia se puede presentar alrededor de los 3 a 4 años de edad.

La guadua se puede comparar generosamente con la madera (dos veces más rígida que esta), el acero y el hormigón. Cuando es usada como viga necesitará del 57% de su masa y en columna un 40% de esta.

En la tesis doctoral realizada por Arcila (1993), se obtuvieron resultados fisicomecánicos de la guadua, la cual presentó que su resistencia a flexión relativa es superior a la madera y el acero aunque su mejor propiedad mecánica es la tracción paralela a la fibra (200-300 N/mm²).

Describe que su forma de trabajo más habitual es su resistencia a compresión, sin embargo, se considera junto al grado de sazónamiento (madurez) y la relación longitud/diámetro. La paralela a la fibra varía (entre 630 y 860 kp/cm³ y 520 y 930 kp/cm³) dependiendo si el diámetro es de 60 o 32 mm respectivamente. La resistencia a cortante está en torno a los 167 kp/cm², más baja que la madera. Su resistencia a flexión es 11.850 N/mm² y su módulo de elasticidad está en torno a los 200.000 kp/cm².

El valor de conductividad térmica se caracteriza por la capacidad de un cuerpo físico en transmitir la energía térmica de un punto a otro, si entre los mismos se crea una diferencia de temperatura (Cárdena, 2005). La conductividad térmica depende de la temperatura. Para la guadua, su valor es de 0,15 W/mk según Elizondo, M., Ojeda, J., Gomez, A., Esparza, C., & Cabrera, A; publicado en el año 2015 en el marco del XXI Congreso Internacional Anual de la SOMIM. Así mismo resaltan el estudio de la conductividad térmica de la Guadua Angustifolia Kunth realizado por Hidalgo (2012) cuyo valor fue muy cercano, reportando una conductividad térmica de 0,11 W/mk.

En concordancia a lo anterior, es necesario entender que cada material puede ganar o perder calor según el ambiente en el que se encuentre, cada material posee una característica propia que se denomina calor específico y está determinado por los valores J/KgK^o, según Castañeda Santiago (2016), “la guadua se encuentra con un valor de calor específico de 1360 J/KgK” (p.165).

Como valores determinantes en el desarrollo de las propiedades térmicas de un material está la densidad cuya característica es su relación que existe entre su masa y volumen del material, para la guadua según Castañeda (2016), “este material vegetal posee una densidad de 630 kg/m³”

(p.165).

4.1.9 Aislamiento térmico y acústico. Por su anatomía de tabiques y entrenudos con aire en su interior, y en general por su naturaleza porosa, la guadua resulta un material aislante térmico excelente.

La cámara de aire propia de los entrenudos de la guadua contribuye al aislamiento. Para un área rural urbana de débil o regular intensidad sonora puede ser resuelto como los materiales comunes empleados en la edificación. Si el nivel sonoro extremo fuera mayor, puede reforzarse el aislamiento con el uso de materiales absorbentes

4.1.10 La guadua comercial. Según el proveedor y el pedido, ofrecen guadua preservada y secada de diferentes calidades. Comercializan guadua rolliza, esterilla, latas de guadua, pisos laminados, vigas y otros elementos estructurales laminados.

En venta se puede encontrar guadua rolliza de diámetros entre 4 y 16 centímetros y largos de hasta 8 metros, aunque es más usual encontrar diámetros entre 10 y 12 centímetros y largos de 6 metros.

Generalmente preservan por inmersión en bórax perforando previamente de manera longitudinal los diafragmas. La mayoría seca al aire libre en perchas (burros), pero hay empresas que poseen secadores tipo invernadero, túnel u horno de caldera. Los precios para guadua rolliza preservada y seca oscilan entre \$2600 y \$6000 el metro lineal, siendo \$4000 el precio más común.

4.1.11 Posibilidades constructivas de la guadua. La guadua presenta múltiples posibilidades de uniones y ensambles aplicadas en la construcción, las cuales varían de acuerdo a

las necesidades y la aplicación en cada proyecto.

A continuación, se despliega un abanico de posibilidades constructivas para edificaciones.

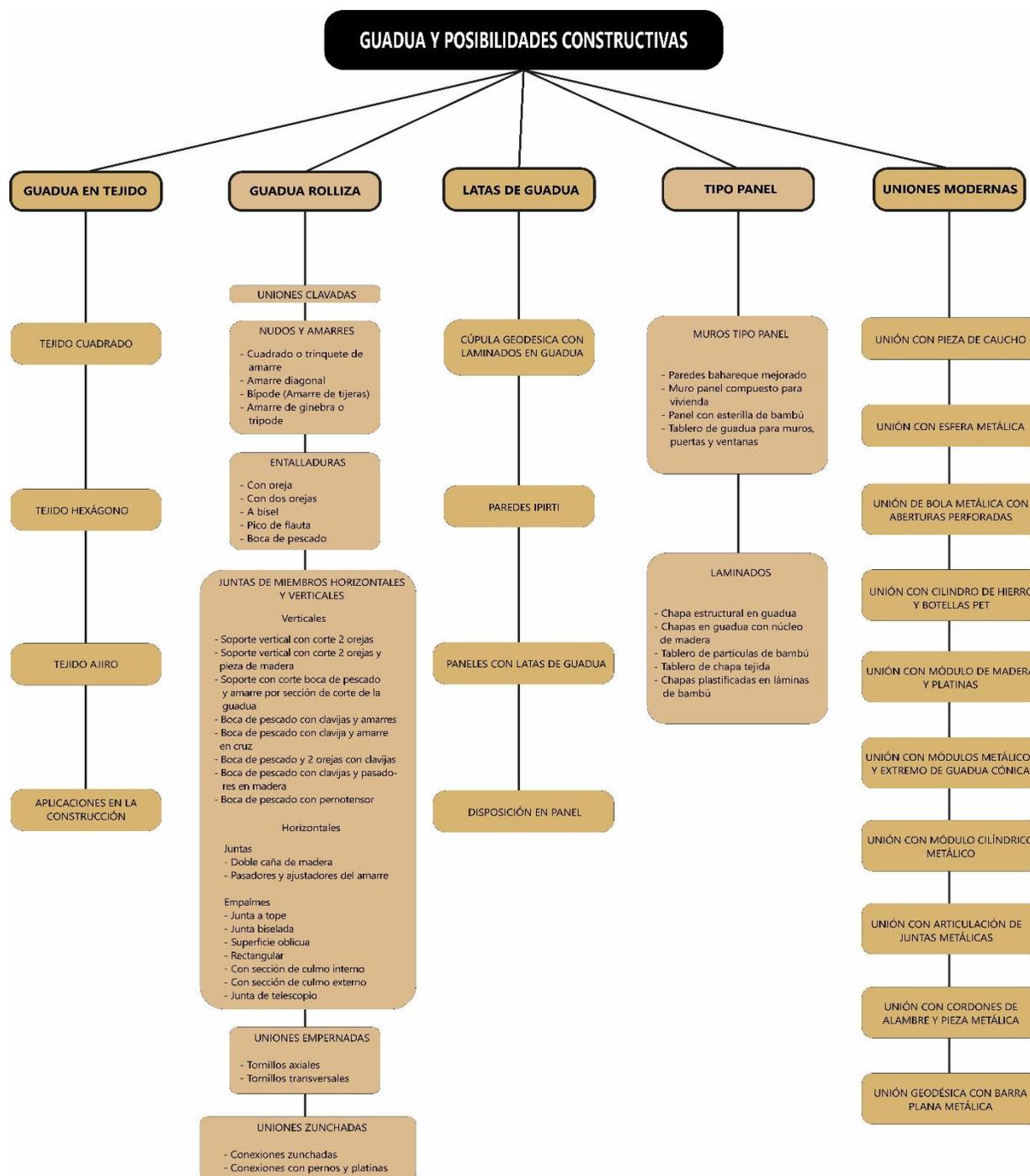


Figura 22. Posibilidades constructivas en guadua más utilizadas en la construcción

Estos sistemas son diferenciados respecto a sus propiedades estructurales con el diseño de las uniones o ensambles, la estética del resultado, el proceso de construcción y mano de obra requerida, las herramientas para su realización y al grado de funcionalidad eficiente que pueda proveer a la edificación. A continuación, se presentan algunas uniones, ensambles y sistemas de construcción más utilizados con la guadua.

4.1.11.1 Guadua en tejido. Lo artesanal y el arte del tejido con guadua se remonta de hace 5 o 6 mil años atrás en China. Estos tejidos elaborados por las mismas comunidades han encontrado métodos de fabricación de estos con el fin del lograr obras de arte que representen a sus pueblos nativos y enaltezcan los recursos naturales que poseen en su territorio.

Es importante entender que de acuerdo al uso del tejido se llevará a cabo el proceso y técnica de fabricación como enhebrar, tejer, entrecruzar y entre más de 150 métodos que existen. El tipo de guadua utilizada para extracción de materia prima del culmo será determinante según su funcionalidad, la elección del culmo establecerá la resistencia, elasticidad, suavidad y textura.

A continuación, se muestran cinco tejidos fundamentales en guadua, los cuales varían en los patrones de tejido y el tamaño de separación entre el tejido.

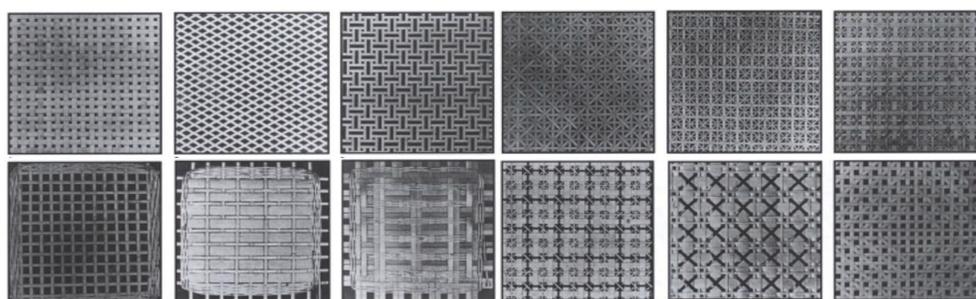


Figura 23. Tejido Cuadrado (Yotsume-Ami)

Fuente: Hidalgo, 2003.

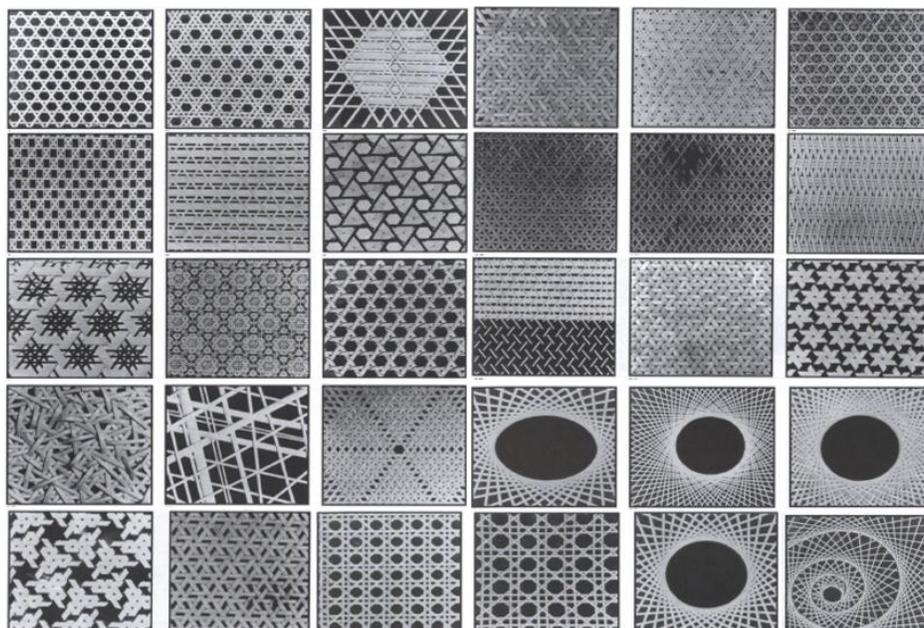


Figura 24. Tejido Hexágono (Mutsume-Ami)

Fuente: Hidalgo, 2003.

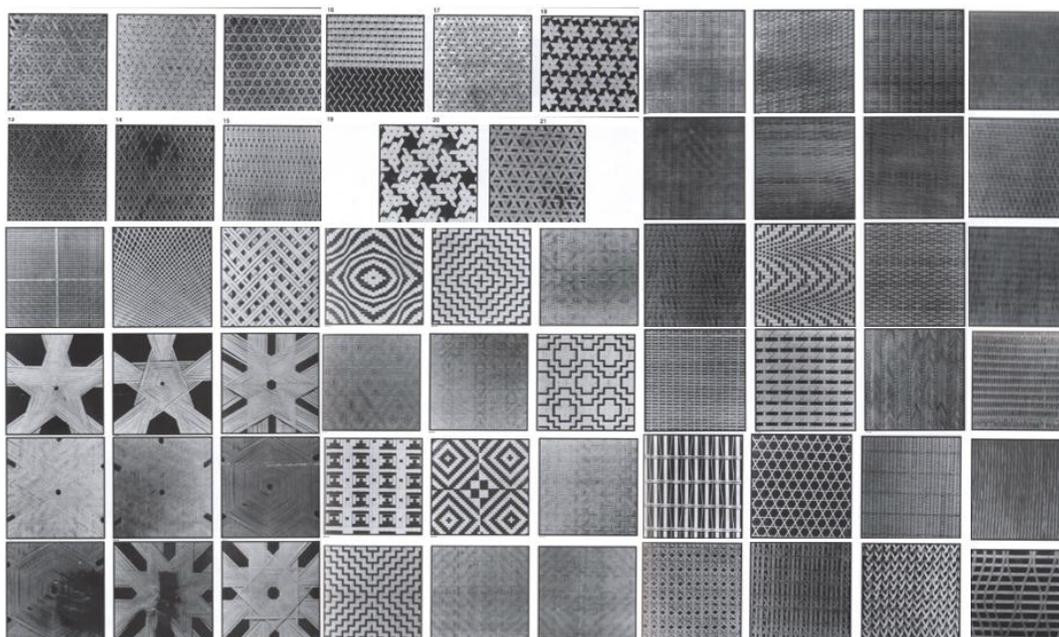


Figura 25. Tejido Ajiro

Fuente: Hidalgo, 2003.



Figura 26. Aplicación de tejidos de guadua en la construcción

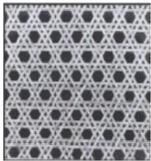
Fuente: Hidalgo, 2003.



Figura 27. Estera de bambú utilizada como superficie en puentes y caminos

Fuente: Hidalgo, 2003.

Tabla 10. Matriz resumen de la Guadua en Tejido

MATRIZ RESUMEN - GUADUA EN TEJIDO					
TEJIDO	TIPO DE TEJIDO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	COMPONENTE BIOCLIMÁTICO	ESBELTEZ
	Tejido Cuadrado	Relativamente menos complejo de los demás por presentar una geometría básica.	Los ángulos perpendiculares imposibilitan la realización de nuevas formas, aún así esto no lo hace un producto menos esbelto que los demás.	Aplicado en recintos para exteriores en la construcción hace de la idea de un tejido que aporte significativamente al confort térmico de la edificación por su morfología geométrica donde las separaciones y aberturas podrán controlar el paso de la luz y ventilación. Según la orientación de implantación y la dirección del viento hace de los tejidos una respuesta a altas temperaturas, esto comparado con otros materiales de construcción tradicionales.	Independientemente de la complejidad y el trabajo artesanal de los tejidos con las fibras y elementos de la guadua, los resultados estéticos son muy aceptables, las geometrías hacen posible generar múltiples formas y posibilidades de tejido.
	Tejido Hexágono	La geometría convencional cuadrada desaparece y presenta ángulos que generan una apariencia llamativa y diferente.	La complejidad de elaboración aumenta respecto al tejido cuadrado debido a sus ángulos y a la exactitud con la que debería terminar el producto final.		
	Tejido Ajiro	Reúne las posibilidades de tejido hexágono y tejido cuadrado, lo cual hace posible generar múltiples geometrías como producto final.	Aparentemente la complejidad del tejido es alta, lo cual requeriría de una mano de obra con un alto conocimiento		

4.1.11.2 Guadua rolliza. El uso de la guadua rolliza en su estado natural se ha propuesto en múltiples formas de aprovechamiento para la construcción, se ha estudiado cómo las uniones y juntas entre ellas llevan al material a unas características estructurales que potencializan las propiedades mecánicas de este. Los culmos de guadua son usados en su estado natural siendo alterados nada más que por perforaciones e inclusión de materiales externos con el fin de desarrollar las nuevas tecnologías de ensamble y uniones.

A continuación se muestra una clasificación de las uniones más utilizadas con la guadua, las siguientes son expuestas independientemente de la factibilidad de cada solución, las variables se diferenciarán de acuerdo a parámetros de diseño que se puedan aplicar en la construcción.

Uniones clavadas. Para las uniones entre guaduas con la utilización de clavos es recomendable usar culmos de al menos 3 años de edad. El orificio debe realizarse previamente con un taladro con el fin de que el clavo penetre con facilidad, así mismo es recomendable que el orificio sea hecho a unos 5 o 10 centímetros alejado del nodo.

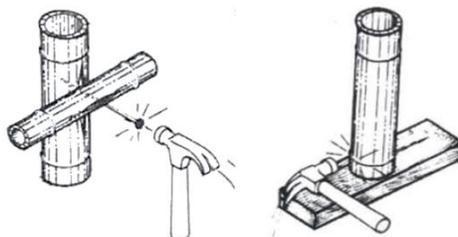


Figura 28. Uniones clavadas

Fuente: Hidalgo, 2003.

Nudos y Amarres. Esta forma de unión es muy tradicional y es factible para tareas domésticas en comunidades pequeñas o incluso han llegado a ser muy consideradas en construcciones de megaciudades como Hong Kong cuando en 1994 fue implementado este sistema de unión como andamios para los obreros que llevaban a cabo la obra, este material y este sistema de amarre fue pertinente debido a los tifones y fuertes determinantes climatológicas que dificultan la construcción en ese lugar.



Figura 29. Cuadrado o trinquete de amarre

Fuente: Hidalgo, 2003.

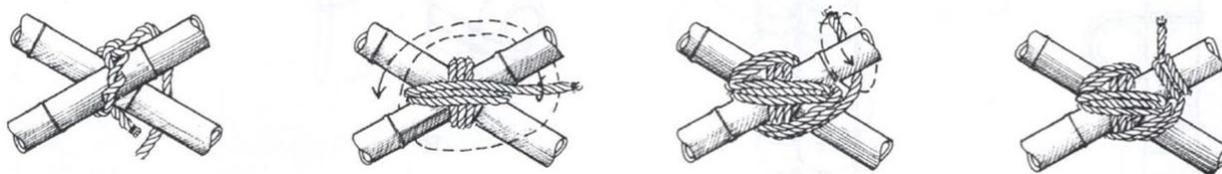


Figura 30. Amarre diagonal

Fuente: Hidalgo, 2003.

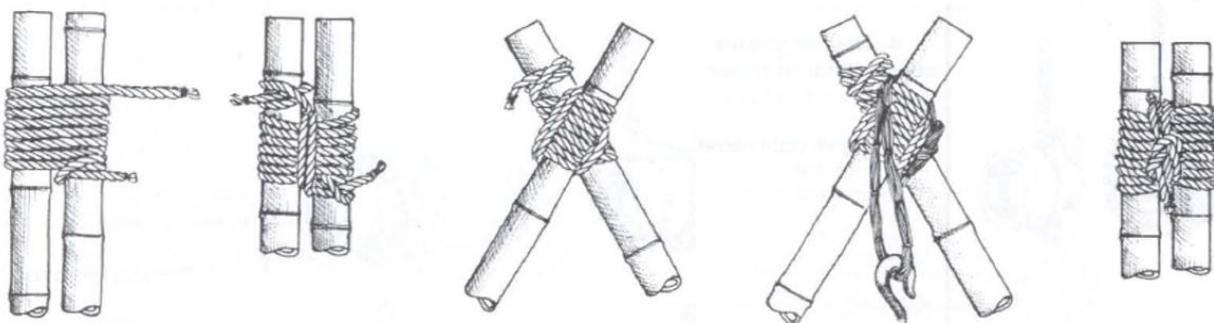


Figura 31. Bípode (Amarre de tijeras)

Fuente: Hidalgo, 2003.

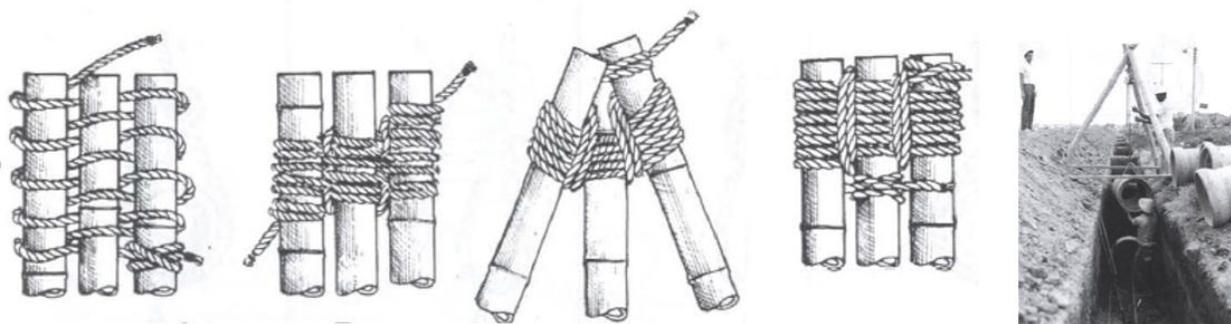


Figura 32. Amarre de ginebra o trípode (Usado como polea)

Fuente: Hidalgo, 2003.

Es necesario que los culmos de madera estén totalmente secos ya que puede dificultar el amarre y que las cuerdas puedan ceder debido a la fuerza que se aplique. Las cuerdas utilizadas pueden ser de material mineral o incluso las mismas fibras del interior de la guadua como aprovechamiento del material, tal como lo hacen las comunidades que subsisten de la guadua.

Entalladuras. La necesidad de unir la guadua en diferentes ángulos y diferentes posibilidades ha proporcionado la creación de entalladuras sobre las mismas que según el requerimiento del diseño se verá afectado un extremo del culmo para ser unida a otro culmo. Por lo general la entalladura boca de pescado y a bisel sobresalen por brindar un ángulo de estructura cómodo para la edificación, dichas entalladuras son realizadas con maquinaria o tradicionalmente a mano.

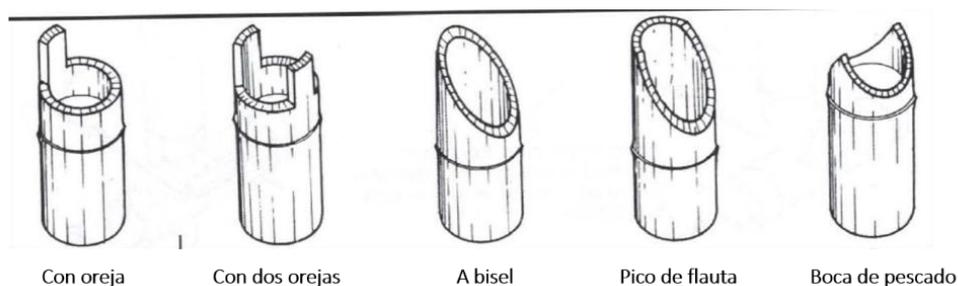


Figura 33. Entalladuras en guadua

Fuente: Hidalgo, 2003.

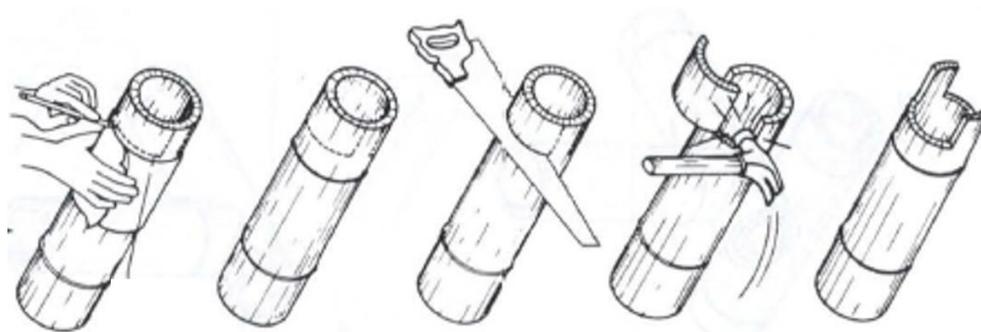


Figura 34. Proceso de manufactura Corte con dos orejas

Fuente: Hidalgo, 2003.

Según Daniel Palacios López (2009) para la realización de los cortes y uniones existen y se utilizan diferentes herramientas comúnmente usadas para el trabajo de maderas. El desgaste de estas herramientas al ser utilizadas en la guadua es mucho mayor que al ser en maderas de coníferas o foliares debido a la alta presencia de sílice en la guadua. Se pueden mencionar algunas herramientas tales como la pulidora con cepillo metálico, hidro-lavadora, taladro con extensión de broca, taladro de banco con broca sierra, taladro de mano con broca sierra, acolilladora, motosierra, media caña curva, azadón modificado, entre otras herramientas que cumplen el mismo objetivo.

Juntas de miembros horizontales y verticales:

Verticales. Consiste en la elaboración de diseños precisos que requieran de ángulos inclinados o unión de miembros perpendicular a ellos, las cuales aportan significativamente a la edificación, principalmente en columnas, vigas de entre piso y techos. La precisión de la manufactura será importante al momento de medir estructuralmente la unión, por esto, una de las causas y desafíos más grandes en la artesanía de la guadua es su misma forma cónica y hueca, pues al intervenir con clavos y orificios lejos del nodo se corre el riesgo de presentar grietas que

van prolongandose a lo largo del culmo. Por lo anterior es recomendable que las uniones que requieran perforaciones o estén sometidas a cargas verticales estén cerca al nudo.

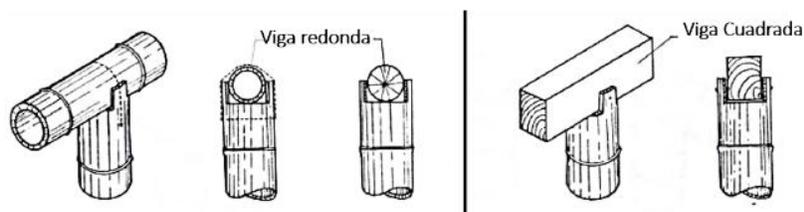


Figura 35. Soporte vertical con corte 2 orejas

Fuente: Hidalgo, 2003.

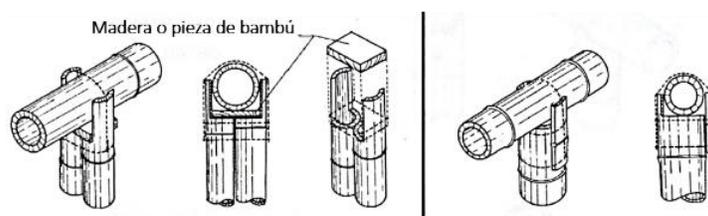


Figura 36. Soporte vertical con corte 2 orejas y pieza de madera

Fuente: Hidalgo, 2003.

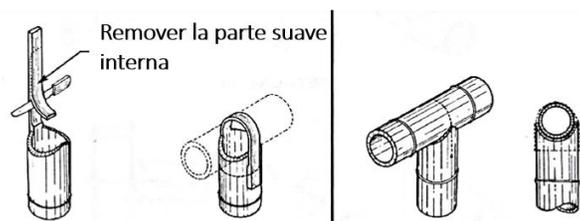


Figura 37. Soporte con corte boca de pescado y amarre por sección de corte de la guadua

Fuente: Hidalgo, 2003.

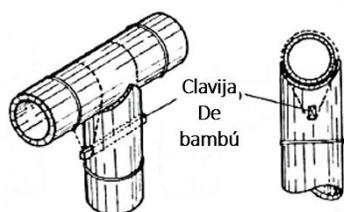


Figura 38. Boca de pescado con clavijas y amarres

Fuente: Hidalgo, 2003.

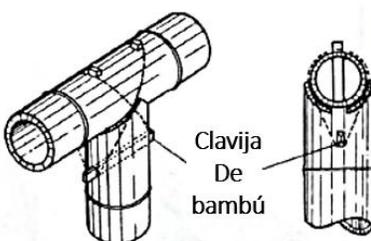


Figura 39. Boca de pescado con clavija y amarre en cruz

Fuente: Hidalgo, 2003.

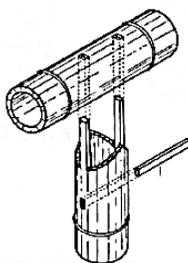


Figura 40. Boca de pescado y 2 orejas con clavijas

Fuente: Hidalgo, 2003.

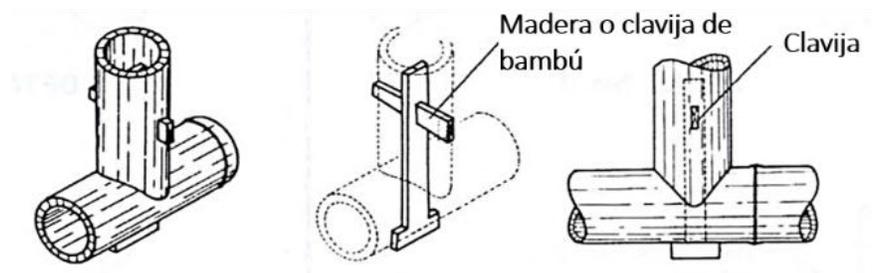


Figura 41. Boca de pescado con clavijas y pasadores en madera

Fuente: Hidalgo, 2003.

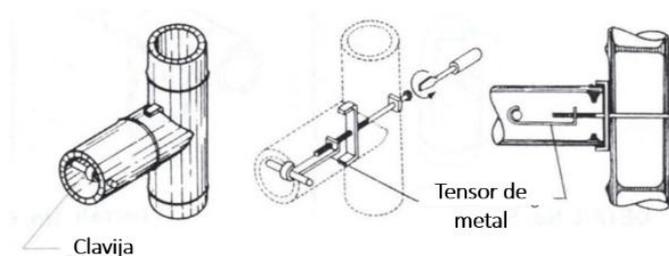


Figura 42. Boca de pescado con pernotensor

Fuente: Hidalgo, 2003.

Horizontales:

En este tipo de uniones se procura que los diámetros de los culmos sean similares, se aplican de forma paralela o extremo-extremo de la guadua en la mayoría de los casos utilizando materiales externos con el fin de completar el ensamble, es común el uso de elementos metálicos, clavijas metálicas o de madera y cuñas de madera con el propósito de que la unión entre los culmos de forma horizontal tenga el mayor contacto posible entre ellas, esto hace que la resistencia sea mayor y el agarre entre ellas sea más compacto.

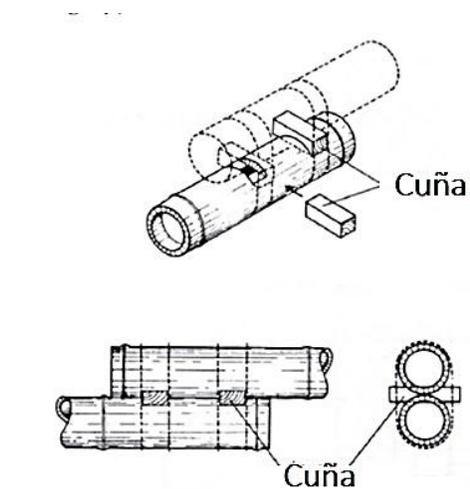


Figura 43. Boca de pescado y cuña de madera

Fuente: Hidalgo, 2003.

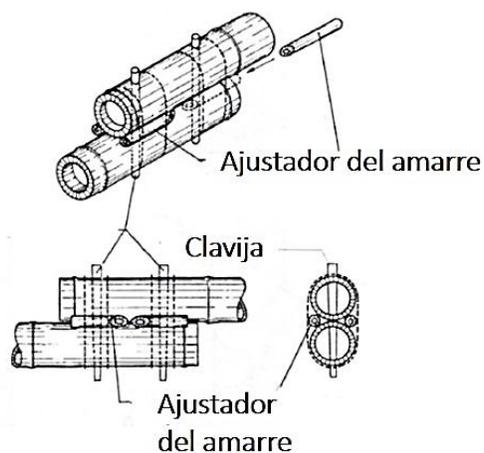


Figura 44. Pasadores y ajustadores de amarre

Fuente: Hidalgo, 2003.

Los empalmes son considerados no estructurales pero con un uso eficiente para estructuras básicas domésticas, la unión entre los culmos se realiza de un extremo con otro extremo, ambos con un corte específico que logren un encaje entre estos, el ensamble es completado con una

sección de guadua de un diámetro menor que es introducida entre las que se unen para finalmente perforar y fijar la unión.

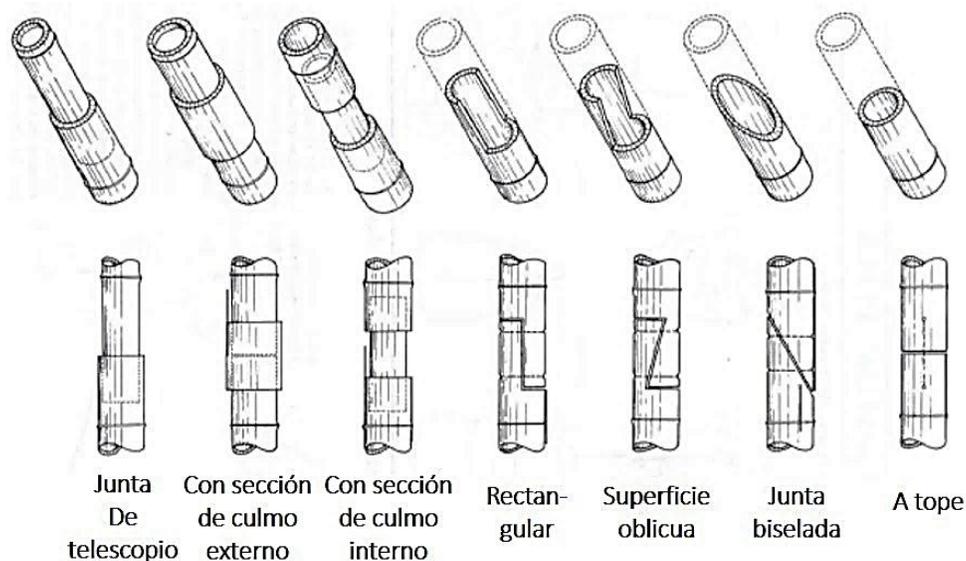


Figura 45. Empalmes horizontales

Fuente: Hidalgo, 2003.

Uniones Empernadas. Consiste en la unión de los elementos por medio de pernos que son introducidos al interior del culmo y rellenos con concreto en su interior como refuerzo. Según De Sousa (2013) recomienda que el diámetro máximo permitido para el orificio a través del cual ingresa el cemento sea de 4 cm. El mortero se inyecta a través del agujero por medio de un embudo o con la ayuda de una bomba. Este relleno internodo se usa ampliamente para complementar el uso de tornillos, asegurando una mayor capacidad de soporte a la sección, a pesar de aumentar el peso de la estructura.

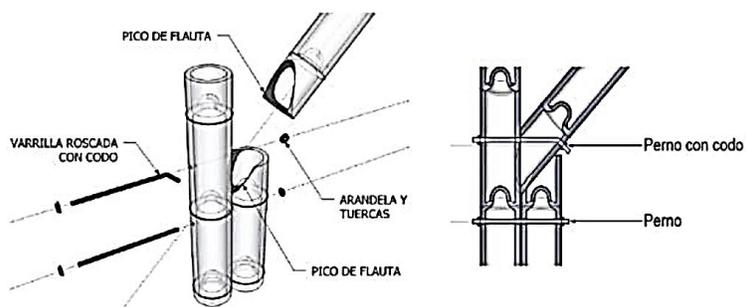


Figura 46. Unión con pernos axiales y transversales

Fuente: Norma Ecuatoriana, 2016.

La norma técnica colombiana NTC 5407 en referencia a uniones pernadas dice:

Para construir esta unión, los elementos conectores entre piezas de guadua deben ser uno o varios pernos metálicos roscados cuyo diámetro mínimo debe corresponder al de una varilla 10 mm de diámetro con tuerca y arandela en los extremos. Los entrenudos por donde pasan los pernos deben estar rellenos de mortero u otro material alternativo o sin relleno dependiendo del diseño que se realice. Los pernos deben ser galvanizados. (Norma Ecuatoriana, 2016, p.116)

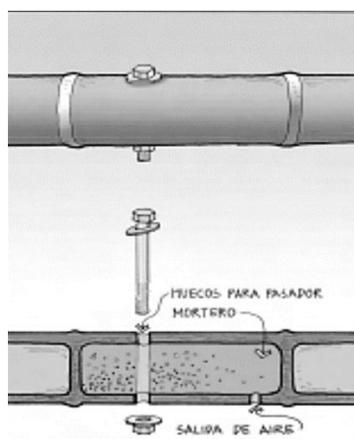


Figura 47. Unión con pernos axiales, transversales y mortero

Fuente: Novilos & Yacelga, 2010.

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica recomienda que cuando sea necesario perforar la guadua para introducirle pernos, debe usarse taladro de alta velocidad y evitar impactos. El mortero debe ser lo suficientemente fluido para penetrar completamente dentro del cañuto. Puede prepararse el mortero de relleno, por volumen, utilizando una relación 1 a 0,5 entre cemento y el agua y sin exceder la relación 4 a 1 entre el agregado fino y el cemento. Los pernos pueden fabricarse con barras de refuerzo roscadas o en obra o con barras comerciales de roscacontinua.

Uniones zunchadas. Estas uniones son diseñadas para soportar fuerzas a tracción, el uso de platinas metálicas en forma de abrazaderas son las que complementan la unión entre los culmos de guadua. La Sociedad Colombiana de Ingeniería Sísmica afirma que las uniones zunchadas pueden utilizarse para fabricar conexiones articuladas. Para conexiones que deban resistir tracción, la pletina debe diseñarse para garantizar que no es el vínculo débil de la unión. La unión no debe trabajar, en total, con más de 10 KN (1000 kg) de esfuerzo de tracción.

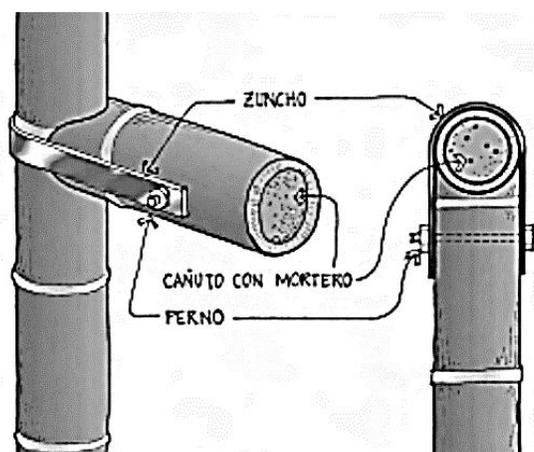


Figura 48. Conexiones zunchadas

Fuente: Novilos & Yacelga, 2010.

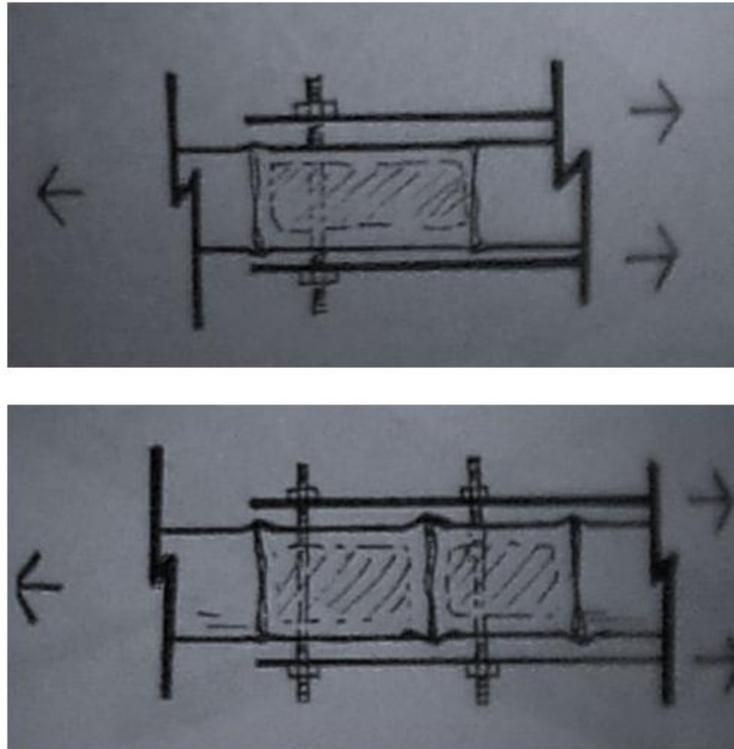
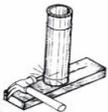
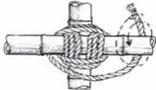
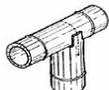
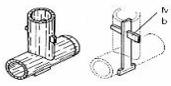
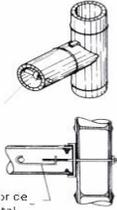
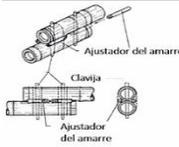
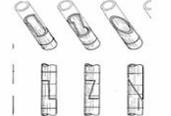
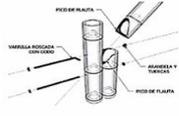
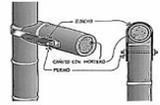


Figura 49. Conexión con pernos, platinas y mortero

Fuente: Novilos & Yacelga, 2010.

El uso de pernos y platinas fomenta un refuerzo doble a la estructura del ensamble, esto permite trabajar con nuevas uniones longitudinalmente o en otras direcciones con otros miembros.

Tabla 11. Matriz resumen Guadua rolliza

MATRIZ RESUMEN - GUADUA ROLLIZA				
UNIÓN	NOMBRE DE LA UNIÓN	MATERIALES UTILIZADOS	EQUIPOS REQUERIDOS	CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES
	Clavada	clavos	Taladro, Martillo	Es una unión no estructural, a penas doméstica, para uso de estructuras temporales. No deben tenerse en cuenta como conexiones resistentes entre elementos estructurales.
	Nudos y amarres	Cuerdas de material mineral, fibras del interior del culmo de guadua, cuerdas de cuero, nylon, cuerdas vegetales		A pesar de ser una unión muy tradicional es capaz de soportar fuerzas principalmente por peso.
	Soporte vertical con dos orejas	Culmo de guadua, alambre galvanizado o cuerda resistente	Taladro de banco con broca sierra, acolilladora, motosierra, serrucho, taladro	Es una unión poco estructural, el amarre da estabilidad y evita el movimiento del culmo pero no lo suficiente para ofrecer flexibilidad a las cargas. Por lo general se limita solo a soportar el culmo.
	Boca de pescado con clavijas y amarres	Clavijas de madera, cuerdas de fibra mineral o alambres galvanizados	Acolilladora, serrucho, alicate, motosierra, taladro	Las fuerzas perpendiculares que soporta la unión es aceptable por la estabilidad que brindan los amarres. La estabilidad le permite soportar fuerzas de peso considerables.
	Boca de pescado con clavijas y pasadores	Clavijas de madera	Acolilladora, serrucho, alicate, motosierra, taladro, taladro de banco con broca de sierra	La firmeza de las clavijas que une a los culmos hacen del ensamble estructuralmente estable y firme para juntas perpendiculares, sin embargo, la precisión artesanal es indispensable lo que haría correr el riesgo de que la conexión colapse por falta de firmeza entre las clavijas.
	Boca de pescado con pernotensor	Tensores de metal, tuercas, arandelas	Taladro, taladro de banco con broca de sierra, llave ajustable o de estrella plana	La presión que los tensores aplican a los orificios hace correr el riesgo de que las fibras cedan longitudinalmente al culmo de madera, por esta razón cuando es en seco disminuye el límite de tensión. Es recomendable la aplicación de hormigón dentro del culmo para la homogeneidad y estabilidad del las uniones.
	Pasadores y ajustadores de amarre	Clavijas metálicas o de madera, ajustador de amarre, amarres galvanizados.	Taladro, alicate, martillo	Garantiza una homogeneidad entre los culmos de madera, la fijación horizontal da un resultado altamente compacto para resistir pesos considerables.
	Empalmes Horizontales	Por lo general guadua como complemento de la unión interna o externa, es usada madera común algunas ocasiones	Taladro de banco con broca sierra, acolilladora, motosierra, serrucho	Los empalmes horizontales son considerados no estructurales con un uso eficiente para estructuras básicas domésticas.
	Uniones empernadas	Perno metálico roscado (10 mm mín. de diámetro), tuerca, arandela, mortero	Taladro de alta velocidad, embudo o bomba casera, llave ajustable	Las uniones empernadas según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica garantizan la resistencia y la suficiente fluidez necesaria para resistir las cargas y transmitir las con seguridad.
	Uniones Zunchadas	Platina metálica, pernos, mortero	Taladro de banco con broca sierra, acolilladora, llave inglesa o ajustable, alicate.	Las pletinas de acero transfieren fuerzas a tracción a través de los elementos de guadua, las pletinas garantizan y se añaden a las propiedades estructurales de los culmos.

4.1.11.3 Latas de guadua. El componente básico para los laminados, las latas, se obtienen de la parte gruesa del tallo, principalmente llamado cepa, basa y sobrebasa es decir, los primeros 8 a 12 m de un tallo de guadua. El proceso del “rajado”, deja 6 a 10 latas por tallo de guadua, un segundo paso de cepillado las convierte en tablillas.

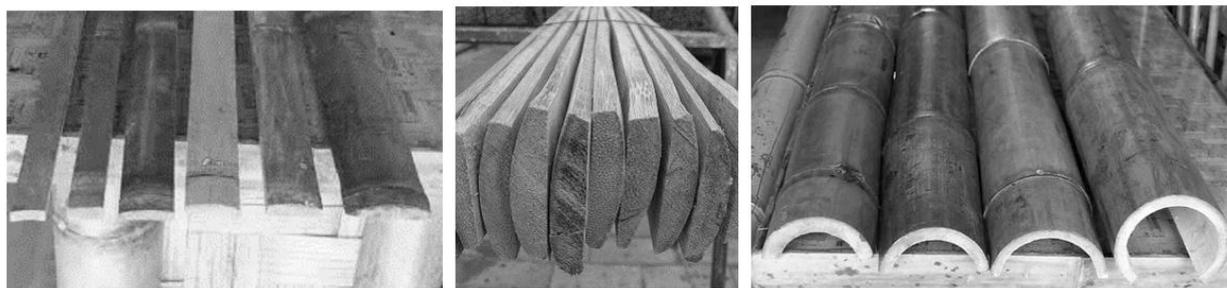


Figura 50. Latas de guadua

Fuente: Guadua Bambu Colombia, 2019.

Se han realizado resultados óptimos en estética y funcionalidad estructural con las latas de guadua, algunos de estos los podemos ver seguidamente.]

Cúpula Geodésica con laminados en guadua. Los arquitectos y diseñadores Fuller y Sadao diseñaron domos geodésicos llamados Cúpula Bucky Fuller cuya estructura consta de partes laminadas en bambú. La estructura es fácil de armar y puede ser usada para casas, fábricas, teatros y demás, las secciones laminadas se dimensionan en 3,65 m de longitud.

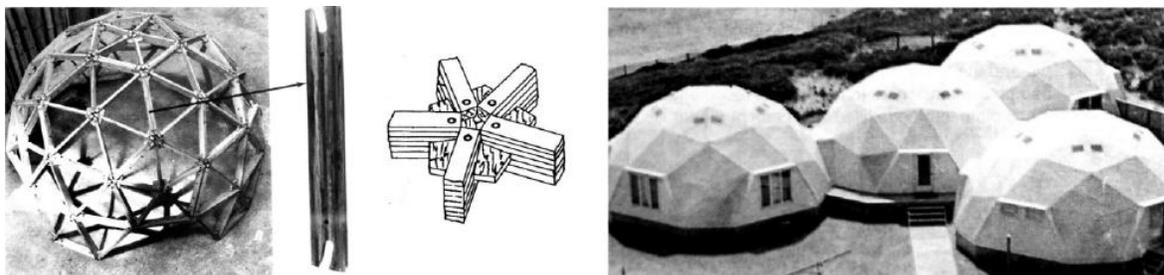


Figura 51. Estructura geodésica con laminados en guadua

Fuente: Hidalgo, 2003.

Paredes Ipiriti. Este tipo de pared es originario de la India, donde fue construida por la organización IPIRTI. Se caracteriza por una estructura de latillas horizontales y verticales que están sujetas a cañas rollizas verticales por medio de anclajes. Estos pueden ser tacos de manera dura o segmentos de varillas de acero, también llamados chocotes.



Figura 52. Estructura de latillas horizontales y verticales

Fuente: Morán, 2009.

Paneles con latas de guadua. Este tipo de pared tiene una función decorativa para realizar divisiones en el interior de la edificación. Se caracteriza por sus latillas diagonales a la vista y por los espacios intermedios con recubrimiento de mortero de arena-cemento.



Figura 53. Divisiones con latillas

Fuente: Morán, 2009.

Disposición en panel. En los paneles se puede combinar el uso de latillas, caña picada y caña rolliza con madera. Los paneles pueden servir como rejas de ventilación, puertas, ventanas o simplemente tener una función estética o decorativa.

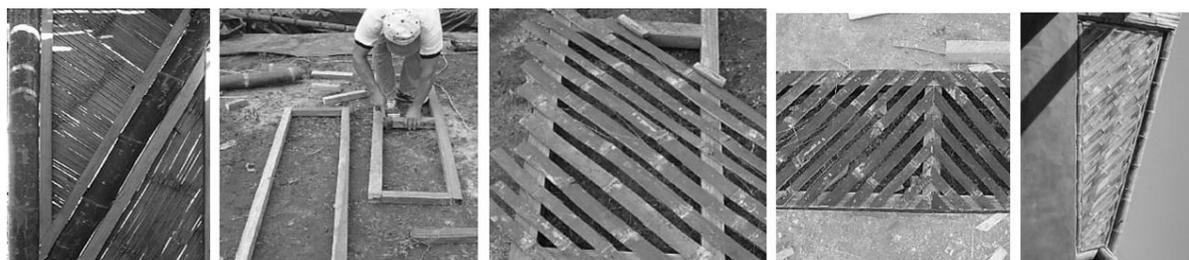


Figura 54. Algunas disposiciones de la latilla en paneles de madera

Fuente: Morán, 2009.

Tabla 12. Matriz resumen de la Guadua en Lata

MATRIZ RESUMEN - LATAS DE GUADUA					
PRODUCTO	NOMBRE	VENTAJAS	DESVENTAJAS	COMPONENTE BIOCLIMÁTICO	ESBELTEZ
	Estructura geodésica con laminados de guadua	Estructura de fácil armado con una gran espacialidad. Estructuralmente aceptable para cumplir la función de resguardos amplios.	La complejidad geométrica exige de los módulos ángulos exactos que permitan coincidir y lograr un resultado final óptimo.	El uso de la guadua en una edificación provee un componente casi inflamable debido a los componentes químicos de esta madera; sin embargo, la susceptibilidad a la ignición dependerá de la posición de las latas (horizontal, vertical o ángulos específicos).	El resultado de una geometría espacial da una aceptación muy positiva a la arquitectura. Se resalta significativamente el manejo de la forma resuelta por el material
 	Paneles con latas de guadua Disposición en panel	Reemplaza satisfactoriamente un muro divisorio con mejor estética y de una fabricación que no requiere de mucho conocimiento Su función va direccionada a un uso decorativo y su uso es adaptable a cualquier parte de la edificación.	Aún cuando las latas de guadua poseen características de dureza por sus propiedades, la disposición como muro divisorio no es estructural No es estructural, las uniones que se dan entre otras maderas puede presentar complicaciones en las latas por grietas longitudinales.	Las aberturas que generan los diseños permite la bienvenida de la ventilación natural a cualquier recinto lo cual es indispensable para un confort térmico y de bacterisida natural.	La lata de guadua trabajada en conjunto y multiplicidad provee productos finales que agregan nuevas formas de ver un muro, una ventana o una puerta. La importancia de innovar a través del material hace de este tipo de disposición muy considerable en uso constructivo.
	Paredes ipirti	Su componente estructural es aceptable debido a la aplicación del mortero como acabado final y la guadua en forma vertical como cimiento	No lo hace más rápido en construcción ni más económico frente a los productos prefabricados	El reemplazo de hierros embebidos al muro por las latas de guadua suma a una edificación sostenible sin dejar de aportar significativamente a su estructura	El producto final no es tan aceptable ya que el corte de las latas presenta imperfecciones, aún así es resaltable las formas de disposición.

4.1.11.4 Tipo panel. Uno de los subproductos de la Guadua que más utilización tiene en la construcción es la esterilla o estera, ya que, entre otros muchos, se la utiliza para: cerramientos de paredes en construcciones rústicas-cerramientos con acabado frisado, reemplazando favorablemente a la malla metálica; pisos provisionales en viviendas económicas o permanentes en secaderos de café y cacao; para encofrados y en la construcción de casetones utilizados en el aligeramiento de losas nervadas de concreto armado. Por eso la esterilla es tan importante en el procesamiento de la Guadua.

La guadua implementada en muros tipo panel han sido una solución muy asertiva para comunidades que han entendido los beneficios de la construcción en guadua, su viabilidad económica cuando es ejecutada de forma masiva, la rapidez de construcción, la inclusión por necesitar conocimiento básico, un trasfondo que lleva a apropiarse del lugar y de sentido propio, lo anterior se concluye según lo afirmado por Alcedo y Herrera cuando una ciudad como Guayaquil fue fundada en el siglo XVI bajo estos conceptos para las comunidades.

A continuación, se muestran algunas posibilidades de la guadua implementada en muros tipo panel.

Paredes Bahareque mejorado. Se refiere a una doble pared rellena con tierra, aunque también se la usa sin relleno en regiones cálidas y húmedas. Aquí se describe una pared que incluye un recubrimiento de cemento.



Figura 55. Pared de esterilla recubierta con cemento

Fuente: Morán, 2009.

Muro panel compuesto para vivienda. Desarrollado con residuos de guadua como la esterilla, rolliza, entre otros cortes y cartón reciclado, es un panel fabricado para el aporte a un confort térmico y acústico de la vivienda.



Figura 56. Panel acústico y térmico hecho con residuos de guadua

Fuente: Cassandro, 2017.

Panel con esterillas de guadua. La elaboración de estos paneles es una solución constructiva en masa para viviendas residenciales, una solución de bajo costo y de inclusión a la comunidad por necesitar poco conocimiento profesional. El trabajo es principalmente artesanal, ayudado algunas veces de maquinaria no especializada, El tablero de bambú se fija con clavos de 38 mm de largo con separación de unos 5 cm y alambre galvanizado. Una vez forrado el panel por un lado se puede eliminar las posibles astillas de madera que sobresalen de las esterillas. Finalmente son cortados los miembros que sobresalen y dejar los orificios que enmarcan las puertas y ventanas de las viviendas.



Figura 57. Panel con esterillas de bambú para viviendas residenciales

Fuente: Hidalgo, 2003.

Tablero de Guadua para muros, puertas y ventanas. No solo existe la necesidad de cubrir la vivienda, los tableros demuestran cómo la mano de obra lleva al aprovechamiento de diferentes

partes de la guadua para la elaboración de artesanías traducidas en muros traslucidos que proveen a la edificación ventilación y luz natural. Los resultados finales pueden ser múltiples siguiendo el mismo lenguaje de formas y geometrías diferentes como lo vimos en anteriores puntos como la guadua en tejido, también dependerá de las propiedades naturales del ejemplar el cual se extraerá la materia.



Figura 58. Tableros de guadua para viviendas

Fuente: Hidalgo, 2003.

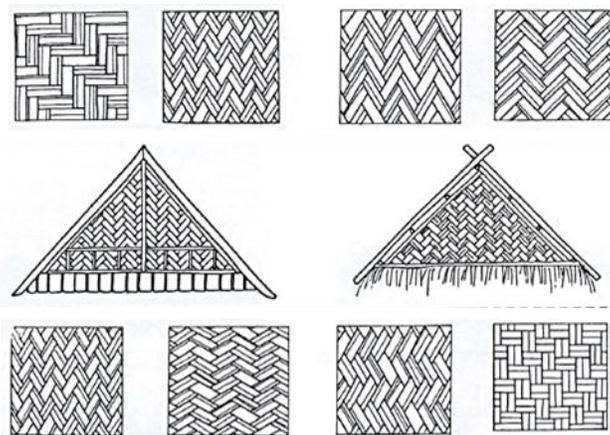


Figura 59. Tableros de guadua y posibilidades de diseño

Fuente: Hidalgo, 2003.

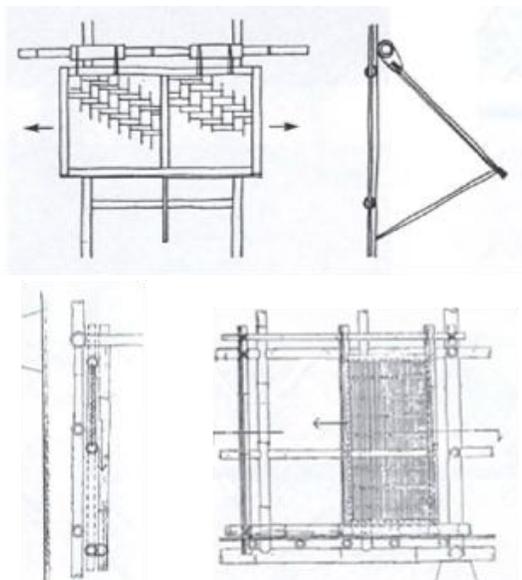


Figura 60. Detalle de tablero en ventana

Fuente: Hidalgo, 2003.

Laminados. Consiste básicamente en obtener láminas que son obtenidas de la madera de guadua, se pueden conseguir con la esterilla, varas cortadas del culmo o incluso con los sobros de la madera cortada. La aglomeración y compactación de la madera arroja resultados estructurales positivos por su resistencia y estabilidad que se presenta al final del producto.

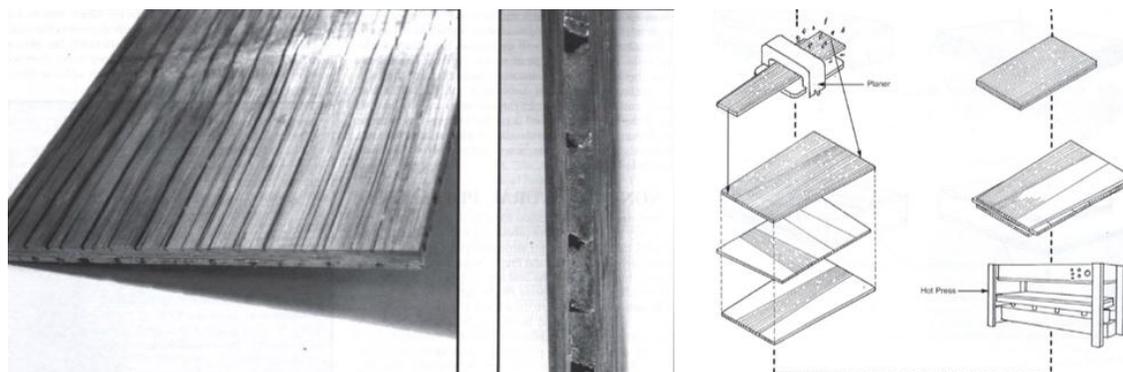


Figura 61. Chapa estructural en guadua

Fuente: Hidalgo, 2003.

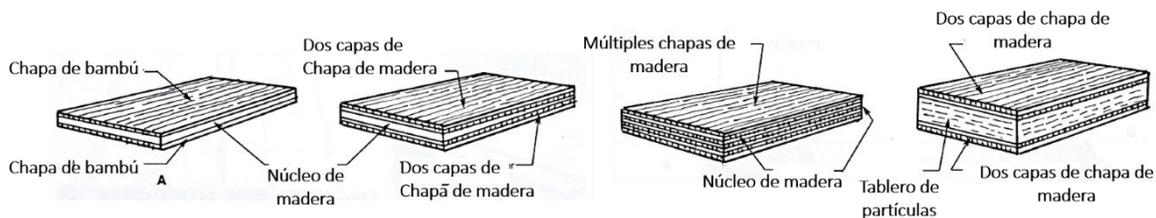


Figura 62. Chapas en guadua con núcleo de madera

Fuente: Hidalgo, 2003.

El proceso se culmina con ayuda de una prensa hidráulica o neumática que une los elementos y garantiza un buen secado de los pegamentos y las resinas sintéticas o naturales. Una vez que la viga o tabla resultante se ha secado, pasa a través del cepillo para alisar la superficie, donde se pierden aproximadamente 2 mm de material. Finalmente la tabla se corta al tamaño deseado.

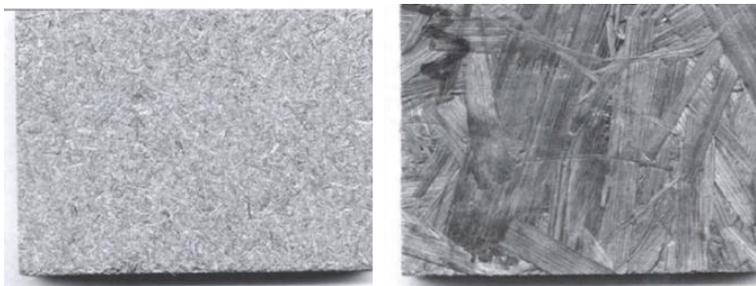


Figura 63. Tablero de partículas de guadua

Fuente: Hidalgo, 2003.

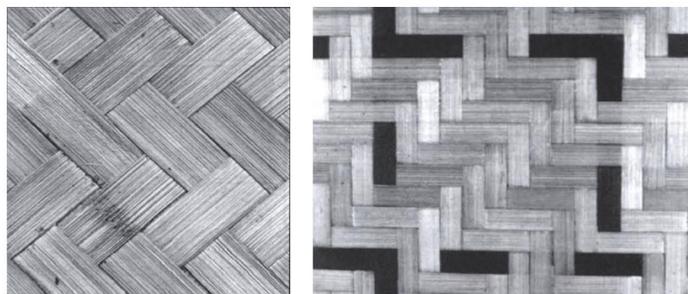


Figura 64. Tablero de chapa tejida

Fuente: Hidalgo, 2003.

Los tableros de partículas de bambú se producen a partir de partículas o residuo de bambúes trabajados en construcción y son aglomeradas y pegadas simultáneamente. Los muchos tipos de tablero de partículas difiere mucho en cuanto al tamaño y la geometría de las partículas, la cantidad de resina (adhesivo) utilizada, y la densidad a la que se presiona el panel. Las propiedades y los usos potenciales del tablero difieren con estas variables.

La estera de bambú es utilizada como chapa y básicamente es un tejido de tiras cortadas del tallos de la guadua divididos sin mucha separación y sus tiras son planas finalmente. El tejido debe ser de forma compacta con un espesor uniforme. Generalmente todo el proceso es manual, realizado principalmente por mujeres en zonas rurales. Los tallos del miembro se cortan en tiras finas de piel interna en anchos de 12-15 mm y un grosor de 0.6-1 mm.

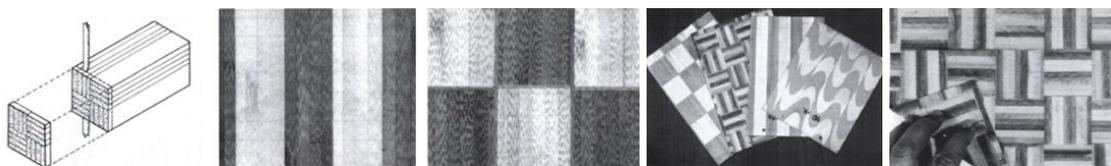
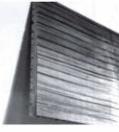


Figura 65. Chapas plastificadas en láminas de guadua

Fuente: Hidalgo, 2003.

Para la fabricación de la chapa plastificada en láminas de bambú es necesario hacer un bloque grande formado por varios bloques pequeños laminados, que están hechos de algunas láminas teñidas y otros con colores naturales pegados en diferentes posiciones. Utiliza una tecnología similar a la utilizada en la fabricación de baldosas laminadas, la diferencia es que en la fabricación de chapa de plástico, el espesor máximo de la chapa es de aproximadamente un milímetro y la chapa está plastificada.

Tabla 13. Matriz resumen de la Guadua en Lata

MATRIZ RESUMEN - TIPO PANEL					
PRODUCTO	NOMBRE	VENTAJAS	DESVENTAJAS	COMPONENTE BIOCLIMÁTICO	ESBELTEZ
	Paredes bahareque mejorado	Estructuralmente es aceptable debido a estar sostenido por postes de guadua cimentados. El reemplazo de materiales tradicionales lo hace incluyente a la comunidad	El conocimiento tradicional del manejo de la guadua y la tierra embebida en los muros será necesario.	El bahareque y la guadua son por excelencia materiales que aportan al confort térmico de la edificación.	Lo rústico del muro podría presentar algunas imperfecciones en el acabado final, aún así, dependiendo de lo artesanal se obtendrá un producto estéticamente bien logrado.
	Muro panel compuesto para vivienda	Es posible juntar con otros materiales como la madera y el cartón, ambos materiales reciclables	Es de baja capacidad estructural debido a perder sus propiedades físicas al momento del corte de las fibras	En pruebas de laboratorio se comprobó la disminución en decibelios y un porcentaje de temperatura considerable al interior de una vivienda	La aglomeración de la madera reciclada genera una textura que aporta otras dinámicas visuales. Los colores finales serán aleatorios.
	Panel con esterilla de guadua	El método constructivo no requiere de equipos especializados y los materiales complementarios a los ensamblajes son de fácil alcance.	El sistema requiere de tratamientos para conservación de la madera en guadua debido al estar expuesto a la interperie.	La elaboración de artesanías traducidas en muros translúcidos que proveen a la edificación ventilación y luz natural apuntan a los paneles como una solución constructiva sostenible, entendiendo también a la sostenibilidad como una solución al carácter social que incluye a la comunidad y trabaja con los materiales del lugar generando una apropiación cultural	Las múltiples formas y geometrías que pueden llegar a arrojar los productos finales de este sistema hace posible que la estética se adapte al uso que se requiera para la edificación
	Tablero de guadua	El trabajo es principalmente artesanal, ayudado algunas veces de maquinaria no especializada. La inclusión se hace significativa por parte de las familias más vulnerables,	Al igual que los tejidos es necesario un conocimiento tradicional suficiente para lograr un producto final ideal.	El reciclar la madera aporta significativamente al planeta. Se demuestra que con este sistema no se desperdicia ninguna parte de la guadua aún trabajada anteriormente	Es posible que el producto final entregue acabados finales casi al mismo punto de cualquier madera tratada de la misma manera
	Chapa estructural en guadua	Es posible reemplazar la madera convencional para los mismos usos y la misma apariencia con el uso de la madera de guadua	Las propiedades estructurales no son las mismas al estado natural que tiene el culmo de guadua, sin embargo, la estabilidad es elevada debido a la aglomeración	Para los materiales de uso doméstico es necesario el cuidado de la salud y la guadua como material natural hace de una solución óptima para este aspecto	El tejido convertido en estera resuelve un producto final atractivo, además de jugar con los tonos de las fibras extraídas de la guadua
	Tablero de chapa tejida	El rendimiento del material es alto gracias al aprovechamiento de las tiras delgadas extraídas de la guadua.	Por lo general la técnica de elaboración es hecha por personas que conocen tradicionalmente el proceso, lo cual hace un poco desconocida la fabricación.	Comprometer el plástico en la chapa, tintes o colorantes hace que el efecto sobre la madera de guadua pierda sus propiedades naturales.	El resultado está a la altura de acabados en madera común, lo pulido, brillante y variedad de tonos en color ocasiona una estética muy aceptable.
	Chapas plastificadas en láminas de guadua	Se puede emplear los mismos modelos de fabricación, lo que haría del producto una solución prefabricada	La complejidad de la fabricación y la posible maquinaria utilizada hará del proceso más minucioso.		

4.1.11.5 Uniones modernas. La necesidad de crear nuevas uniones y disposiciones de la guadua han llevado a estudiosos en temas de ingeniería, arquitectura y diseñadores de productos industriales a incentivar la creatividad en nuevas formas de ensamble. La respuesta a las nuevas morfologías y nuevas formas de concebir la arquitectura han llevado a crear nuevas soluciones constructivas, a continuación veremos algunas de ellas.

Unión con pieza de caucho. Con el fin de reemplazar el corte de boca de pescado Adán Piza ha desarrollado una pieza de caucho que facilita un mejor contacto entre los miembros, esto permite el ahorro de tiempo con la mano de obra y la compresión que ejerce el perno contribuye a la estabilidad y resistencia de la unión.

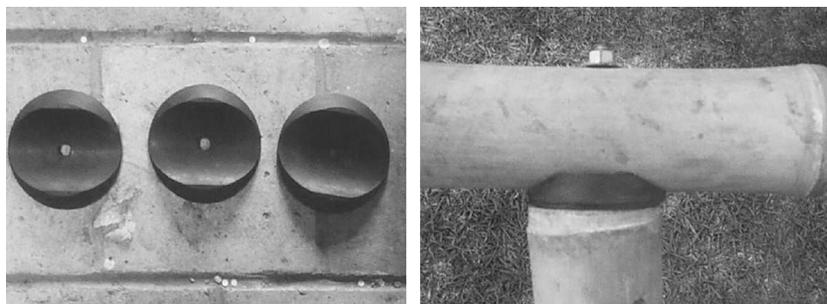


Figura 66. Unión con piezas de caucho

Fuente: Gernot, 2012.

Unión con esfera metálica. Obermann utiliza el mismo principio que Shoei Yoh y desarrolla una conexión que consiste en una parte metálica cilíndrica con un extremo cónico. En este, la parte cilíndrica se coloca dentro del bastón y a través de un tornillo se une a una esfera que permite la unión con otros elementos. Esta parte metálica debe tener un diámetro externo cercano al diámetro interno del bambú que se utilizará.

En su trabajo, Obermann, utiliza un diámetro exterior de la parte metálica de 9 cm y una longitud de 30 cm donde 20 cm entran en las cañas. El resto se deja fuera del bastón para hacer la conexión a la esfera. Las fuerzas se transmiten desde el bambú a los pernos (por corte) que luego se transmiten a la tubería de acero (también por corte).

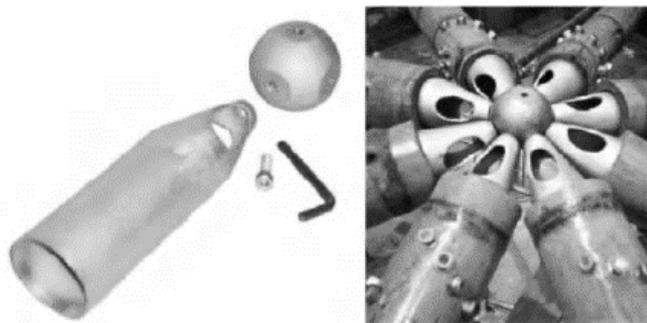


Figura 67. Estructura espacial en guadua

Fuente: Palacios, 2009.



Figura 68. Estructura espacial con unión de esferas metálicas

Fuente: Palacios, 2009.

Unión de bola metálica con aberturas perforadas. Existen muchas soluciones que utilizan elementos comúnmente disponibles en el mercado. Tim Obermann, por ejemplo, usó una bola metálica con aberturas perforadas, en la cual se pueden atornillar varios nodos cónicos metálicos para estructuras tridimensionales, con terminaciones cónicas en los bastones.



Figura 69. Unión de bola metálica con aberturas perforadas

Fuente: Gernot, 2012.

Unión con cilindro de hierro y botellas Pet. El método de unión propuesto por Germán Benavides permite que una persona con poco conocimiento sobre construcción pueda llevar a cabo ensambles de alta calidad, con un tiempo de aprendizaje cercano a las dos horas. La unión consiste en que las partes cónicas de las botellas pet se utilicen como encofrado o molde de concreto, a la vez un elemento circular fabricado en tubo de hierro funciona como acople que permite unir hasta 5 elementos los cuales están sujetos a la guadua con ayuda de tornillos y un tubo de hierro.



Figura 70. Unión moderna de botellas pet, cilindro de hierro y guadua

Fuente: Camacho, 2018.

Unión con módulo de madera y platinas. Bamboo Technologies es una empresa estadounidense que realiza construcción de casas prefabricadas en bambú. Las casas que ofrecen son generalmente de un solo piso. La estructura es realizada en bambú con uniones platinadas. Han realizado ensayos de uniones con madera en las que ha participado el holandés Oscar Antonio Arce Villalobos.

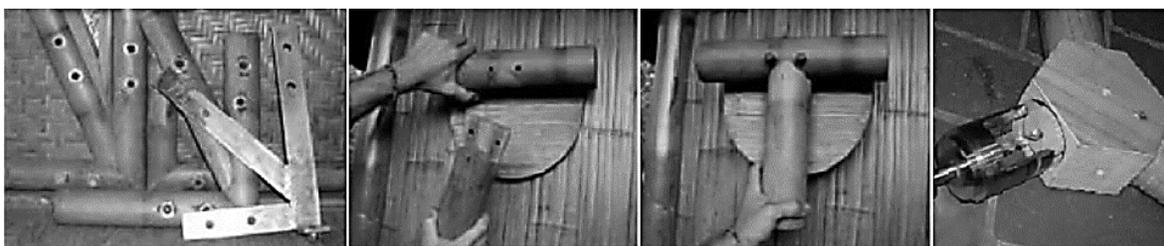


Figura 71. Uniones con guadua, madera y platinas

Fuente: Palacios, 2009.

Unión con módulos metálicos y extremo de guadua cónica. Christoph Tonges de la Universidad RHTW-Aachen de Alemania y la empresa europea Conbam desarrolló este tipo de unión. La unión consiste en volver cónica los extremos a la guadua. Para ello se realizan unos cortes triangulares, luego se cierra para que la punta quede de manera cónica, se ubica un elemento metálico y se fija enrollando una fibra de vidrio impregnada en alguna resina polimérica como el poliéster. La guadua resultante entra a formar parte de una estructura, uniéndose a otras mediante uniones metálicas especiales hechas de platinas. De esta manera la guadua no tiende a rajarse y se aprovecha muy bien su fuerza.



Figura 72. Extremo de guadua cónica y módulos de ensambles metálicos

Fuente: Palacios, 2009.

Unión con módulo cilíndrico metálico. El concurso Internacional de construcción en bambú realizado en el año 2007 se expusieron algunos diseños de uniones en bambú interesantes como los de los arquitectos canadienses Mehran Gharaati y Andi Struga. La unión pretende lograr la máxima resistencia sin perforar el bambú.

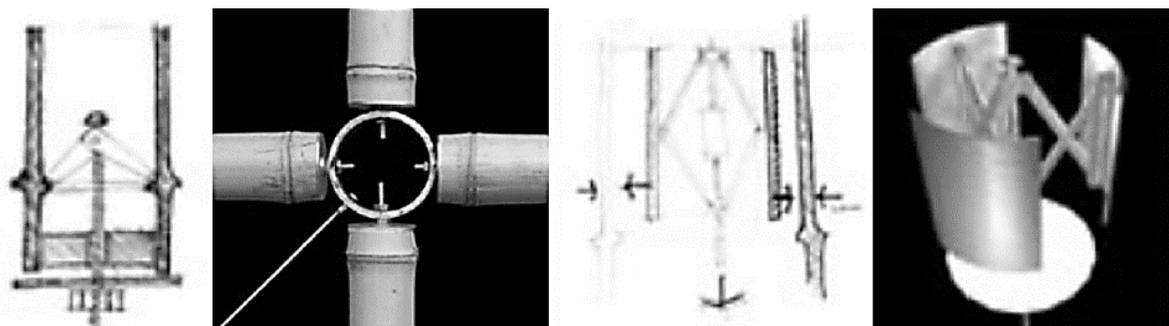


Figura 73. Unión de guadua con módulo cilíndrico metálico

Fuente: Palacios, 2009.

Unión con articulación de juntas metálicas. El método de Shoei Yoh es, en principio, similar al de la articulación de bambú de Bambu-Tech. Las cañas de bambú y la junta de metal se conectarán y fijarán juntas mediante tornillos y tuercas. Simplemente no se necesitan hormigones ni pegamentos para esta conexión. La junta es un tubo de metal de unos 20 cm de longitud y con un diámetro de 5 cm soldado con una barra de metal en el medio. La placa de metal también se

une a un elemento en forma de cilindro con 3 a 6 alas, luego se pueden unir de 3 a 6 cañas de bambú a un elemento en forma de cilindro. Una de las desventajas es que la diferencia irregular del diámetro entre la caña de bambú y el tubo de unión metálica hace que la posición relativa y la transferencia de carga de las cañas de bambú a los tubos de unión metálica cambien de una a otra. Otra desventaja es que en toda la construcción las conexiones metálicas son muy dominantes por su peso y volumen.

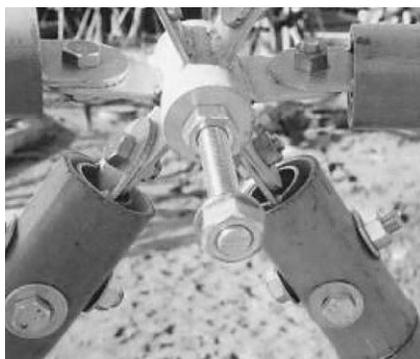


Figura 74. Unión con articulación de juntas metálicas

Fuente: Gernot, 2012.

Unión con cordones de alambre y pieza metálica. Junto con la UNESCO, Renzo Piano ha organizado un taller de construcción de bambú en Punta Nave, Italia, en 1989, en la que trató de diseñar con las diversas construcciones de bambú con los asistentes del taller con materiales industriales como el aluminio y el acero, y demás elementos con los que la caña de bambú se pudiera conectar.

No se especificó cómo se hizo, pero Widyowijatnoko (2012) propuso un principio que consistía en generar tensiones con cables metálicos atados con ayuda de una “herramienta de cordones de alambre de Delft” desarrollado en la Universidad de Delft en los Países Bajos. El

funcionamiento de esta conexión implica apretar los cables, tirar y girar simultáneamente, aumentando así la fricción entre la pared interna del bambú y la madera, así como la madera y la parte metálica.

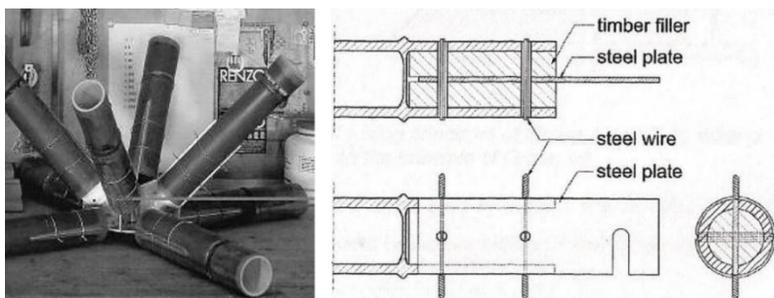


Figura 75. Unión con cordones metálicos

Fuente: Widyowijatnoko, 2012.

Unión geodésica con barra plana metálica. En una localidad de la provincia de Palencia, España, se realizó un taller de construcción en guadua por parte del “Taller TAT Tecnologías Alternativas de Transición” donde se construyó una estructura geodésica por medio de chapas metálicas y ejemplares del bambú.

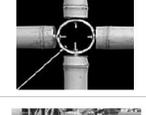
Este conector es muy simple y económico, se puede fabricar fácilmente, incluso con una sierra manual y un taladro. Las medidas de la barra chata recomendada son de 2cm de ancho x 2mm de grosor x 20 cm de largo. La misma se dobla ligeramente en la punta (7cm) a unos 17 grados aproximadamente. El bambú deberá ser perforado con una mecha pala de 2cm, en caso de aparecer el nudo en el área de inserción de la barra chata (los 13cm restantes que entran en el bamboo). También se realizan 4 perforaciones de 1cm de diámetro para que el cemento forme un tope natural y se ancle bien en el bamboo.



Figura 76. Estructura geodésica con módulos de barras planas metálicas

Fuente: Tecnologías Alternativas de Transición, s.f.

Tabla 14. Matriz resumen Uniones Modernas en guadua

MATRIZ RESUMEN - UNIONES MODERNAS				
PRODUCTO	NOMBRE	VENTAJAS	DESVENTAJAS	COMPONENTE ESTRUCTURAL
	Unión con pieza de caucho	Ahorro de tiempo en mano de obra al evitar cortes artesanales en la guadua.	El uso del caucho en Latinoamérica ha traído conflictos sociales, culturales y ambientales, por lo tanto es necesario lograr una producción controlada y legalizada de la materia prima de donde se extrae.	La pieza de caucho contribuye a la estabilidad y resistencia de la unión, además de brindar la flexibilidad suficiente a movimientos irregulares que pueda sufrir la estructura
	Unión con cilindro de hierro y botellas PET	Permite la construcción con poco conocimiento y aporta un componente sostenible muy significativo con la inclusión de materiales renovables como el PET.	A pesar de que existan conocimientos a cerca de la construcción en guadua y su complejidad sea baja, es necesario seguir promoviendo esta en universidades y mercados comerciales en general	El mortero encofrado junto al módulo de hierro distribuye los diez kilogramos fuerza por centímetro cuadrado a lo largo de los culmos de madera
	Unión con módulo de madera y platinas		Además del mantenimiento de la madera de guadua será necesario especificar el tratamiento de la madera común usada para el módulo	La empresa Bamboo Technologies ha comprobado por medio de ensayos de laboratorios y la construcción de casas de un piso la veracidad de estos sistemas de unión
	Unión con esfera metálica			El peso de los elementos metálicos es menor comparado a la unión con mortero y su armado es aplicable a estructuras temporales
	Unión de bola metálica con aberturas perforadas			Es necesario el mantenimiento de la pintura aplicada en los módulos o prevenir la corrosión anticipadamente
	Módulos metálicos y extremo de guadua cónica			Los cortes en los extremos comprimen el mortero un segundo elemento que sirve como cinta alrededor de la misma para que el primero no salga a tracción.
	Unión con módulo cilíndrico metálico			La adherencia a las paredes internas del culmo con otros materiales genera dificultad, por lo tanto podría no ser la mejor solución para la transmisión de cargas al culmo.
	Unión con articulación de juntas metálicas		En la manipulación y el transporte, los elementos pueden sufrir estados de carga transitorios en su transporte y colocación, izado y ajustes, que pueden afectar la resistencia estructural de la pieza; estas requieren de una inversión inicial muy importante para poner en marcha el sistema de producción, pero es justificada en obras grandes con plazos de ejecución reducidos; la planificación en la fabricación de las piezas es indispensable, debido a esto se requiere de la precisión de la maquinaria y el personal que intervendrá en el proceso.	Los pernos y el módulo son dominantes en peso y volumen durante la construcción

4.2 Vivienda de Interés Social

El ministerio de vivienda, ciudad y territorio, decreto número 1077 de 2005 por el cual se expide el decreto único reglamentario del sector vivienda, ciudad y territorio define Vivienda de interés social (VIS), “Es aquella que reúne los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción cuyo valor máximo es de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (135 smlmv)” y Vivienda de Interés Social Prioritaria (VIP), “Es aquella vivienda de interés social cuyo valor máximo es de setenta salarios mínimos legales mensuales vigentes (70 smlmv).”

Dentro del marco de las VIS, también tenemos a las viviendas de interés social prioritario (VIP). Este como su palabra lo dice se otorga en casos de prioridad, y para hacer parte de este, el gobierno dispone de algunos instrumentos para que el sector público y el privado se hagan partícipes en su conformación; pero para que las personas puedan gozar de este beneficio deberán de cumplir con unos requisitos, entre ellos:

Estar vinculada a programas sociales del estado que se basen en la superación de la pobreza extrema.

Estar en situación de desplazamiento, pobreza o que haya sido afectada Por desastres naturales o de emergencias.

Habitar en zonas de alto riesgo no mitigables.

A mujeres y hombres cabeza de hogar.

Personas con discapacidad y adultos mayores.

4.2.1 Características de la envolvente en viviendas de interés social. De forma general, existen lineamientos en el territorio colombiano para los proyectos de viviendas de interés social, así lo dispone el decreto reglamentario 2060 de 2004, el cual hace necesario establecer las normas mínimas para el desarrollo de programas de vivienda de interés social que aseguren el cumplimiento de los objetivos asumidos en la Constitución Política y demás normas mencionadas dentro del decreto.

Así mismo, se adoptan las áreas mínimas de lote para Viviendas de Interés Social (VIS) tipo 1 y 2:

Tabla 15. Áreas mínimas de lote para Viviendas de Interés Social (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: Sistema Único de Información Normativa, 2019.

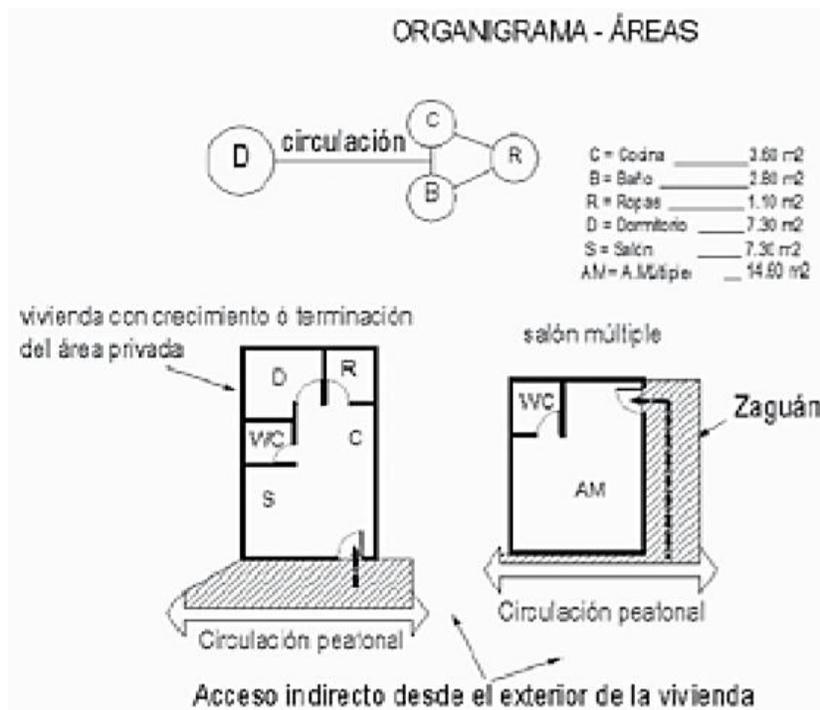
El Ministerio de Vivienda dispone de una serie de guías de asistencia las cuales son una herramienta metodológica para la formulación, ejecución y puesta en marcha de proyectos de vivienda de interés social, como apoyo a los entes territoriales que a diario se enfrentan a la tarea de buscar disminuir el déficit cuantitativo de vivienda en sus municipios.

Tabla 16. Determinantes bioclimáticas y de diseño para el diseño arquitectónico en VIS

Determinantes bioclimáticas	Determinantes para el diseño arquitectónicos
F01-CLIMA FRÍO	F05-ÁREA DE DORMITORIO
F02-CLIMA TEMPLADO	F06-ÁREA DE COCINA
F03-CLIMA CÁLIDO SECO	F07-ÁREA DE BAÑO
F04-CLIMA CÁLIDO HUMEDO	F08-ÁREA DE ROPAS
	F09-ÁREA COMEDOR
	F10-ÁREA SALÓN MÚLTIPLE

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011.

A continuación, se muestra un esquema básico requerido para Viviendas de Interés social en Colombia respecto a su contenido programático y áreas mínimas; no obstante, la guía recomienda la intervención del quehacer profesional de un arquitecto o ingeniero según sea el caso.

**Figura 77. Esquema básico y áreas mínimas para diseño arquitectónico de VIS**

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011.

De esta manera, se identifica la distribución interna y distribución para el diseño de las edificaciones VIS según el decreto reglamentario 2060 de 2004, reconociendo las áreas que conforman a la vivienda y repercuten directamente en la conformación de la envolvente.

A continuación, se muestra la morfología que generalmente se presenta en las fachadas de las viviendas VIS en la ciudad de Cúcuta.



Figura 78. Ciudadela el Progreso, año 2011

Fuente: Area Cucuta, 2011.



Figura 79. Fachada casa tipo Urbanización García Herreros IV, año 2009

Fuente: Yáñez, 2009.



Figura 80. Fachada casa tipo Urbanización Metrópoli, año 2009

Fuente: Y n ez, 2009.



Figura 81. Viviendas tipo Urbanización Metrópoli, año 2009

Fuente: Y n ez, 2009.

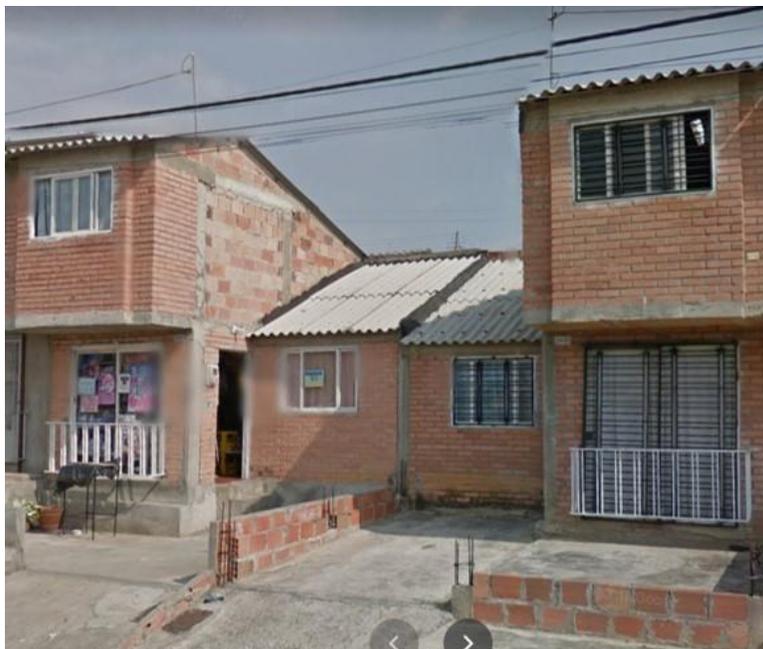


Figura 82. Fachada tipo vivienda bifamiliar Villas de Comfanorte, año 2013

Fuente: Google Maps, 2013.



Figura 83. Fachada tipo vivienda unifamiliar Villas de Comfanorte, año 2013

Fuente: Google Maps, 2013.

Según las imágenes anteriores las fachadas y los sistemas constructivos para los cuatro proyectos son muy parecidos, se componen en muros de mampostería en arcilla bien sea bloque número cinco estándar o ladrillo a la vista como se presenta en Villas de Comfanorte, dichos muros son confinados por columnas de concreto reforzado. Como cubierta prioriza la teja de eternit, exceptuando la Urbanización García Herreros que su cubierta está hecha con machimbre y teja de barro. Por otro lado, lo que permite la entrada de luz y el acceso a las viviendas como puertas y ventanas son metálicas abatibles con su respectiva ventanería.

Es importante mencionar, además de las características físicas o cualitativas ya mencionadas, que el área total de construcción de cada vivienda está muy por debajo de la normativa señalada en la Guía de Asistencia Técnica para Viviendas de Interés Social, la cual indica un índice de ocupación para viviendas de un solo nivel entre 0.63% y 0.76%. Por tanto, entendiendo que el índice de ocupación se refiere a la relación entre el área construida cubierta en el primer piso y el área neta del predio, expresada en porcentaje (%), podemos entender la situación de cada vivienda.

La Ciudadela el Progreso presenta viviendas con un área de construcción de 30 m² y un lote de 90 m² dando un índice ocupacional de 0.33%, así mismo en la Urbanización García Herreros IV se identifican viviendas con un área total de construcción de 44 m² y un lote de 84 m² resultando 0.52% de índice ocupacional, finalmente las viviendas con 28 m² de la Urbanización Metrópoli se resolvieron en un lote de 90 m² obteniendo un índice ocupacional de 0.31%.



Figura 84. Vivienda VIS en altura con sistema industrializado

Fuente: Diario la Opinión, 2019.

La presencia de viviendas de interés social en Cúcuta y en Colombia en general ha sido una solución cada vez más necesaria, por ende, es mencionada la construcción de uno de los proyectos desarrollados en la ciudad con el sistema industrializado como aplicación constructiva, siendo la envolvente únicamente la capa del mortero de cemento y pintura con sus respectivas aberturas de ventanas acristaladas con marco de aluminio.

Simultáneamente, para cualquier contexto la escogencia de los materiales y técnicas de construcción contribuyen en forma sustancial a elevar la calidad de la edificación. Una selección acertada de materiales, debe brindar soluciones apropiadas al hábitat en el que está inmersa la construcción, de manera que genere bienestar permanente sin incurrir en costos elevados (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011).

Los materiales deben ser de buena calidad para garantizar la adecuada resistencia y capacidad de la estructura, para absorber y disipar la energía que el sismo le otorga a la edificación cuando se sacude. Materiales frágiles, poco resistentes, con discontinuidades, se rompen fácilmente ante

la acción de un terremoto (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011).

En Colombia se han implementado sistemas constructivos que puedan responder a la alta demanda de edificaciones para viviendas de interés social, para esto, un estudio estadístico de la Cámara de Comercio de Colombia (CAMACOL, 2016) identificó los sistemas constructivos más usados para VIS durante el segundo trimestre del año 2012 y el cuarto trimestre del año 2015, las cifras muestran que el uso de los Sistemas Industrializados (SI) con un 40,37% prima sobre la Mampostería Confinada (MC) con un 30,99%, la Mampostería Estructural (ME) con 27,58% y sobre otros sistemas de construcción con un 1,06% que corresponden a construcción liviana o híbridos.

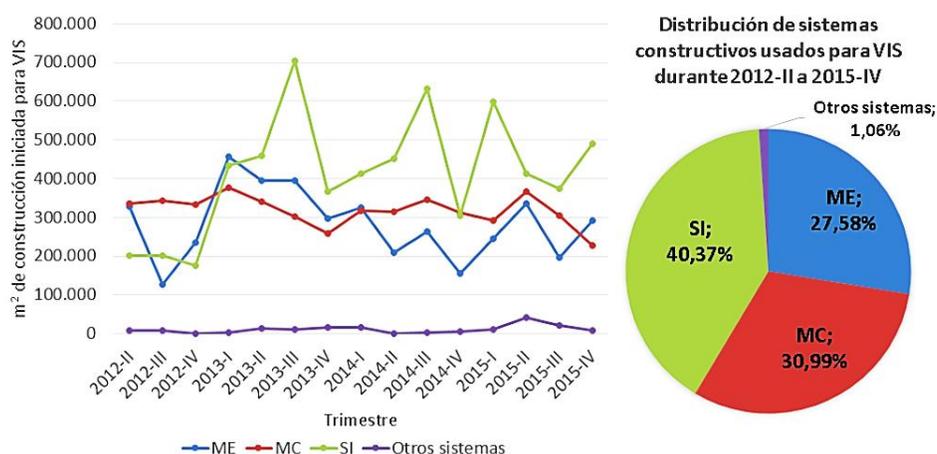


Figura 85. Distribución de sistemas constructivos usados para VIS durante el segundo trimestre del 2012 hasta el cuarto trimestre del 2015 según cifras de CAMACOL (2016)

Fuente: Giraldo, 2018.

Para la selección de los materiales de construcción, es necesario considerar los objetivos de la arquitectura bioclimática, que buscan armonizar espacios y crear óptimas condiciones de confort y bienestar para sus ocupantes, en concordancia con el clima circundante. Se deben crear

espacios habitables, que sean funcionales, física y psicológicamente adecuados, que propicien el desarrollo integral del hombre y sus actividades; todo lo anterior, haciendo uso eficiente de la energía y los recursos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011).

A continuación, se mencionan algunos materiales y sistemas constructivos que se usan para las edificaciones en vivienda de interés social:

4.2.1.1 Mampostería confinada. La mampostería es uno de los materiales más usados para la construcción, entendiéndose que este es usado desde las primeras edificaciones en la historia de la humanidad. Para su tesis doctoral Castañeda (2018) habla de la mampostería confinada como la conformación de ladrillos pegados con mortero, se confinan con columnetas y vigas de amarre en concreto reforzado que se vacían posteriormente a la construcción del muro, con esto se conforman láminas que funcionan como monolitos. Este sistema es portante y hace las veces de cerramiento, división y estructura a la vez, sin embargo, las instalaciones eléctricas, hidráulicas, entre otras, requieren la apertura de regatas para su colocación.



Figura 86. Mampostería confinada compuesto de bloques de arcilla

Fuente: Flores, 2011.

Ventajas:

Goza de gran popularidad y aceptación en la comunidad.

Los muros cumplen la función de cerramiento y estructura simultáneamente.

Es un método ampliamente conocido por los obreros y es fácil la consecución de mano de obra.

No requiere modulación y permite cierto grado de flexibilidad arquitectónica.

Desventajas:

El peso de la edificación es mayor en comparación con otros tipos de estructura.

El acabado requiere revoques debido a las imperfecciones de los ladrillos y pegas.

Aunque en poca cantidad, requiere encofrado y tiempo de curado en los elementos verticales y horizontales de concreto.

Debido a que no es necesaria la modulación genera más desperdicio en los cortes de ladrillo.

Se requieren muros en ambos sentidos para el tema estructural, lo cual brinda poca libertad arquitectónica y genera espacios compartimentados.

4.2.1.2 Mampostería estructural. La mampostería reforzada se fundamenta en la construcción de muros portantes hechos con bloques de perforación vertical que se unen por medio de mortero y alambres de acero en el sentido horizontal. Las perforaciones verticales permiten también reforzar verticalmente con varillas de acero y concreto fluido.

La cantidad de celdas que se inyectan de concreto dependen de la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico definida en el diseño sismo resistente de la edificación.

Estructuralmente es un sistema de gran rigidez lograda por el ensamble monolítico de los bloques.

Ya que este método conforma la estructura vertical y divisoria a la vez, los subsistemas de electricidad, hidrosanitarios y demás, deben integrarse a los muros y considerarse desde la etapa de diseño.



Figura 87. Ejemplo de sistema constructivo en mampostería estructural

Fuente: Revista Vivienda, s.f.

El proceso constructivo, al igual que la mampostería confinada se hace por procesos artesanales, aunque también es posible adquirir paneles prefabricados. Una imagen típica de un conjunto residencial VIS construida con mampostería reforzada en bloque de concreto se ve a continuación.

Ventajas:

Debido a la estricta modulación se disminuyen los desperdicios en cortes de los bloques.

Su pulcritud estética permite dejar el muro a la vista, o aplicar estucos delgados o pinturas directamente sin necesidad de revoques gruesos.

Los muros cumplen la función de cerramiento y estructura simultáneamente.

Permite alojar las instalaciones eléctricas, hidrosanitarias y demás en el interior de las celdas de los bloques.

No requiere formaletas, ya que el refuerzo y el vaciado de las dovelas se hacen dentro de los mampuestos.

Por las características físicas de los ladrillos brinda un mejor aislamiento térmico y acústico que otros sistemas.

Desventajas:

Es indispensable una mano de obra calificada, al igual que un estricto control de obra para que se cumplan las modulaciones y especificaciones de diseño.

Requiere un diseño arquitectónico riguroso en cuanto a la modulación vertical y horizontal.

Debido a que la mampostería es estructural, no se pueden hacer cambios posteriores.

4.2.1.3 Sistemas constructivos industrializados. Para su tesis doctoral, el arquitecto Castañeda (2018) expone a cerca de la idea de los sistemas constructivos en concreto para Colombia, afirmando que la producción de cemento y concreto en el país, conjugada con la

apropiación de conocimientos acerca del comportamiento estructural del material y un mercado que demanda y prefiere este tipo de construcciones ha hecho que la cantidad de VIS y no VIS materializadas con estos métodos sean superiores en cantidad a las de otras alternativas.

Aunque a simple vista, las tecnologías de concreto como Con-tech, Outinord o Grandes paneles no sean competitivas con otras ya nombradas en este trabajo, detrás de ellas se ha hecho un gran trabajo de optimización estructural, aprovechamiento del espacio y del suelo, investigación en resistencia de materiales, innovación en herramientas y equipos, planeación de tareas, análisis de costos y por supuesto inversiones económicas, que las han convertido en una competencia fuerte.



Figura 88. Ejemplo de sistema industrializado

En la Norma NSR-10, el título C se encuentra dedicado a normalizar y documentar este tipo de edificaciones, que generalmente son multifamiliares de varios niveles, para sacar mayor rentabilidad, sin embargo, hay también casos de casas independientes de uno o dos niveles.

Esta alternativa, además de contar con el concreto como material protagonista tanto en la estructura vertical como horizontal, en las divisiones y hasta en los cerramientos, se caracteriza también por la utilización de grandes equipos para el vaciado y encofrados metálicos, durables y reutilizables.

A continuación, se exponen los sistemas industrializados más usados en Colombia para las viviendas de interés social según el doctor en arquitectura y urbanismo (Castañeda, 2018).

4.2.1.4 Outinord. Esta tecnología tiene un procedimiento que permite fundir in-situ y en una misma operación muros longitudinales, transversales y placas de una unidad de vivienda en un día mediante el uso de un encofrado especial denominado Túnel. El encofrado túnel consta de dos planos verticales y uno horizontal, con elementos adecuados de unión, cuñas y rodachines para el desencofrado.

El proceso arranca con la fundición de un arranque de muros o talones de 10 cm de altura, en los cuales se posiciona la malla de refuerzo y las instalaciones. Este talón recibe la formaleta túnel que se nivela y ploma con un sistema de gatos propio del encofrado. Posteriormente se coloca la malla de refuerzo de la placa junto a sus respectivas instalaciones para que finalmente se realice el vaciado de concreto. Al siguiente día se realiza el desencofrado, facilitado por los rodachines que posee la base del túnel. Una vista del proceso de obra de este sistema constructivo se aprecia a continuación.

Ventajas:

Permite construir a un ritmo muy acelerado y a bajo costo.

El fundido simultáneo de placas y muros asegura un excelente comportamiento estructural monolítico.

Es muy bajo el desperdicio de concreto.

Ahorro en revoques entre un 85% y 90% gracias al excelente acabado logrado con la formaleta lisa.

Desventajas:

Produce diseños arquitectónicos muy rígidos.

Como todos los muros son estructurales, cualquier daño afecta la estructura y no se pueden hacer remodelaciones.

El costo de la formaleta es alto y requiere un análisis presupuestal que contemple la amortización en los tiempos del proyecto.

Los apartamentos tienen un bajo desempeño acústico.

4.2.1.5 Con-tech. Es una tecnología industrializada que usa placas modulares de aluminio fundido que se ensamblan para conformar la formaleta de los muros e incluso las losas de entepiso de la edificación. Previamente al encofrado y fundición, se hacen los trabajos de colocación de refuerzo e instalaciones. Todo este proceso puede hacerse en un solo día contando con una mezcla de concreto acelerado.

Aunque es un proceso ordinario, es muy competitivo debido a su fácil repetición, con la cual la producción de viviendas en serie es bastante ágil y rentable. Algunos constructores reportan que el costo es 10 o 20% menor que el de los sistemas tradicionales.

La formaleta en sí posee módulos de varios tamaños, con lo cual pueden producirse muros de variadas dimensiones, además para las uniones y alineación perfecta entre módulos existen accesorios complementarios como las cuñas, pines, corbatas, tensores, tapamuros, alineadores, esquineros, tornillos y abrazaderas.

Además del clásico acabado liso de los muros, es posible encontrar formaletas con texturas simulando ladrillo, piedra u otros patrones agradables.

La formaleta requiere un cuidado básico como limpieza, aplicación de desencofrante y reducir los golpes para que su durabilidad alcance los 1000 o hasta 1400 usos documentados por algunos constructores en Colombia.

Al igual que varios sistemas ya mencionados, Con-tech utiliza los muros longitudinales y transversales en planta como estructura portante. Se diseña para que cada muro soporte los esfuerzos producidos por cargas paralelas a su eje principal.

Este método cumple con las especificaciones de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR – 10.

Ventajas:

Muy bajo desperdicio de concreto.

Se pueden obtener acabados lisos o con cualquier textura.

Arquitectónicamente, las dimensiones de los módulos de formaleta permiten materializar cualquier espacio.

Desventajas:

Aunque goza de cierta libertad en el diseño arquitectónico, por lo general los diseñadores son casi siempre rígidos y monótonos.

Como todos los muros son estructurales, cualquier daño afecta la estructura y no se pueden hacer remodelaciones.

El costo de la formaleta es alto y requiere un análisis presupuestal que contemple la amortización en los tiempos del proyecto.

4.2.1.6 Grandes paneles. Este método constructivo es industrializado y prefabricado. Se basa en la fundición de paneles para entresijos y muros a los que solo les falta el acabado fino. Las instalaciones son colocadas internamente en la prefabricación de los paneles y conectadas en obra.

Las piezas, se fabrican en una planta fija o en obra bajo un estricto control de calidad, para finalmente trasladarse y colocarse en la edificación con ayuda de equipos de izaje.

El sistema no utiliza columnas ni vigas como estructura, sino que los muros, diseñados equitativamente en las dos direcciones ortogonales de la planta de la vivienda, garantizan la estabilidad. En la unión de piezas se emplean conexiones soldadas, con morteros de alta resistencia, concreto fluido y anclajes metálicos especiales.

Para el montaje de las piezas se requiere una torre grúa, de la capacidad de esta, depende el peso máximo de los paneles y por ende su dimensionamiento. En este proceso de dimensionamiento, se tiene en cuenta ser lo más modular posible para aprovechar al máximo las formaletas y disminuir los costos.

El proceso de diseño arquitectónico con esta técnica constructiva lleva implícitamente la comunión del diseño estructural y de instalaciones para evitar largos recorridos y debilitamiento de las piezas. Una secuencia de imágenes del proceso constructivo con grandes paneles se aprecia

a continuación.

Ventajas:

Se reduce considerablemente el trabajo en obra y los desperdicios, alcanzando altos niveles de rendimiento, calidad y rentabilidad.

Todos los muros construidos con esta tecnología son estructurales, lo cual garantiza una alta estabilidad edilicia.

La tecnología está reglamentada y documentada ampliamente en la NSR-10.

Desventajas:

Se necesita una planta de producción para los paneles, lo cual se traduce en altos niveles de inversión.

La factibilidad de construir VIS con este sistema depende de la demanda de grandes cantidades de unidades.

El sistema no permite remodelaciones.

Las juntas o uniones entre elementos son difíciles de ocultar o mejorar su apariencia.

El diseño arquitectónico está restringido a las condiciones y posibilidades de la prefabricación y a facilitar el proceso de producción.

De los tres sistemas industrializados vistos anteriormente, se puede evidenciar que sus procesos constructivos son de gran similitud con un común denominador como material, el concreto, además de la utilización del acabado fino como última capa y las aberturas para la

colocación de ventanas en la edificación.

4.2.2 Transmitancia térmica de los sistemas constructivos usados en Colombia. En la investigación realizada para su tesis de maestría, Vega (2016) investigó los valores “U” de acuerdo a la norma UNE EN ISO 10456 (AENOR, 2012) utilizando como guía los valores de conductividad térmica descritos en el catálogo de construcción CTE (construcción et al., 2010). De esta manera desarrolla en tablas los valores designados para cada sistema y grafica la composición de un muro tipo para cada sistema de construcción.

A continuación, se describen los valores “U” para la mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos, mampostería estructural en bloques de concreto y un muro tipo con sistema industrializado:

4.2.2.1 Muro de mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos. Se designaron espesores específicos y desarrollados en forma de capas para la sección del muro ejemplar, entendiendo la primera capa exterior como mortero (MT), seguido del ladrillo de arcilla (LA), el mortero nuevamente (MT) y finalmente un recubrimiento de estuco de yeso (EY).

Sección	Componentes	Valor U
	LA - Ladrillo de arcilla MT - Mortero EY - Estuco de yeso	2,44 W/m ² K

Figura 89. Sección y valores “U” de un muro de mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos

Fuente: Vega, 2016.

De acuerdo a los espesores específicos y los valores determinados por el catálogo de construcción (Yáñez, 2009) se obtiene un valor de Resistencia Total de 0,41 y Transmitancia Térmica de 2,44.

Tabla 17. Valores de conductividad térmica y Resistencia térmica según datos del catálogo de elementos constructivos CTE

Material	Espesor (m)	" λ " (W/m·K)	"R" (m ² ·K/W)
Mortero	0,02	0,9	0,02
Ladrillo de arcilla hueco	0,12	0,76	0,16
Mortero	0,015	0,9	0,02
Estuco de yeso	0,015	0,35	0,04
Rsi			0,13
Rse			0,04
"R_t" Resistencia Total (m²·K/W)			0,41
"U" Transmitancia térmica (W/m²·K)			2,44

Fuente: Vega, 2016.

4.2.2.2 Mampostería estructural con bloques de concreto. Para el ejemplar de un muro en mampostería estructural con bloques de concreto se determina para la primera capa exterior una protección en mortero (MT), seguidamente del bloque de concreto (BC) el cual se considera como el elemento de soporte principal para el muro y en consideración es aplicado a sus celdas mortero como refuerzo, finalmente la capa interior con mortero (MT) y una capa en estuco de yeso (EY).

Sección	Componentes	Valor U
	BC - Bloque de concreto	2,49 W/m ² K
	MT - Mortero	
	EY - Estuco de yeso	

Figura 90. Sección y valores “U” de un muro de mampostería estructural con bloques de concreto

Fuente: Vega, 2016.

Para el análisis de esta envolvente se designaron valores de espesor, conductividad térmica y resistencia para cada elemento estructural según el catálogo de construcción CTE (construcción et al., 2010), de esta manera se obtiene un valor de Resistencia Total de 0,40 y Transmitancia Térmica de 2,49.

Tabla 18. Valores de conductividad térmica y Resistencia térmica según datos del catálogo de elementos constructivos CTE

Material	Espesor (m)	“λ” (W/m·K)	“R” (m ² ·K/W)
Mortero	0,02	0,9	0,02
Bloque de hormigón hueco	0,07	0,56	0,13
Concreto celdas	0,05	2	0,03
Mortero	0,015	0,9	0,02
Estuco de yeso	0,015	0,35	0,04
Rsi			0,13
Rse			0,04
“R_t” Resistencia Total (m²·K/W)			0,40
“U” Transmitancia térmica (W/m²·K)			2,49

Fuente: Vega, 2016.

4.2.2.3 Muro de concreto mediante sistema industrializado. El ejemplar de muro industrializado se simplifica a tres elementos constructivos, siendo la primera capa exterior el mortero (MT), seguidamente del muro de concreto industrializado (MC) el cual es el soporte principal del muro, y finalmente una capa de mortero (MT) y un recubrimiento interior en estuco de yeso (EY).

Sección	Componentes	Valor U
	MC - Muro de concreto MT - Mortero EY - Estuco de yeso	3,21 W/m ² K

Figura 91. Sección y valores “U” de un muro de concreto

Fuente: Vega, 2016.

Según los valores especificados en el catálogo de construcción del CTE (construcción et al., 2010) y los espesores indicados en la sección del muro, se obtiene un valor de Resistencia Total de 0,31 y Transmitancia Térmica de 3,21.

Tabla 19. Valores de conductividad térmica y Resistencia térmica según datos del catálogo de elementos constructivos CTE

Material	Espesor (m)	" λ " (W/m·K)	"R" (m ² ·K/W)
Mortero	0,02	0,9	0,02
Muro de hormigón	0,12	2	0,06
Mortero	0,015	0,9	0,02
Estuco de yeso	0,015	0,35	0,04
Rsi			0,13
Rse			0,04
"R_t" Resistencia Total (m²·K/W)			0,31
"U" Transmitancia térmica (W/m²·K)			3,21

Fuente: Vega, 2016.

En consideración de los valores insertados en las anteriores tablas para evaluar la conductividad y resistencia térmica de cada muro, es pertinente traer a consideración el valor específico para cada material con el que son conformados los mampuestos o el propio muro industrializado, materiales como la arcilla y el hormigón poseen características diferentes antes de ser considerados mampuestos, muros o que simplemente cuenten con grosor de capas, por lo tanto sus valores varían y es necesario tenerlos en cuenta. Para la arcilla se encuentra una "conductividad térmica de 0,93 W/m²K" (Sastre & Muñoz, 2010, p.92). Hernández (2014), en su descripción de conceptos bioclimáticos para su portafolio web "Arquitectura Eficiente" documenta que el calor específico de la arcilla está en 879 J/kg.k. Así mismo, los valores de densidad y calor específico para el hormigón, yeso, mortero e incluso mampuestos, se encuentran en los siguientes apartados descritos en tablas.

4.2.2.4 El calor específico como propiedad térmica en los materiales de construcción.

Para autores como Sastre & Muñoz (2010) en la documentación de su libro Propiedades de los

Materiales y Elementos de Construcción, explican que existe un aspecto muy importante que es necesario tener en cuenta para el estudio del confort térmico de las edificaciones y que hace referencia a la forma en que los edificios cambian su propia temperatura frente a los cambios de temperatura exteriores.

Si existe un cuerpo en determinado ambiente estará rodeado en la mayoría de los casos por una capa de aire que lo envuelve, dicho cuerpo o sólido tendrá una temperatura determinada, sin embargo, dentro de este ambiente que lo rodea el sólido tiende a igual la temperatura, su acción natural es ceder o ganar calor con el fin de tener la misma temperatura que su entorno. Lo anterior es realizado por medio de la superficie del material y su contacto con lo que le rodea, los coeficientes que actúan en esto son los de conductividad térmica y resistencia térmica superficial de ambos materiales. Con lo explicado anteriormente se puede entender que cada material o sólido posee una característica que definirá la relación que existe entre calor/ganancia de temperatura que cede el material, a esta característica se le denomina calor específico; definido más específicamente por los autores como la “cantidad de calor requerido para aumentar una unidad de temperatura de una unidad de masa” (Sastre & Muñoz, 2010, p.100).

Como se muestra a continuación, se despliega una serie de valores de calor específico asignada a diversos materiales en la construcción, dentro de estos los que competen como el mortero de cemento, hormigón o yeso.

Tabla 20. Calor específico en materiales de construcción

Material	kcal/kg.°C	J/kg-K
Agua	1,00	4.187
Aire	0,24	1.000
Poliétileno	0,55	2.300
Hielo	0,50	2.100
Vapor de agua	0,42	1.760
Madera	0,36/0,60	1.500/2.510
Lámina acrílica	0,35	1.460
Plafón de fibras aislantes	0,33	1.400
Plafón aglomerado denso	0,30	1.250
Poliestireno	0,30	1.250
PVC	0,25	1.040
Mortero de cemento	0,25	1.046
Mortero de cal, yeso	0,20	830
Hormigón	0,21/0,26	840/1.040
Cerámica	0,22/0,24	920/1.000
Granito	0,16	650
Rocas calcáreas	0,22	920
Vidrio, fibra de vidrio	0,20	840
Aluminio	0,20/0,215	830/950
Acero	0,11/0,12	450/512
Cobre, Zinc	0,092	386/390
Plomo	0,031	128/130
Estaño, plata	0,055	230/240

Fuente: Sastre & Muñoz, 2010.

4.2.2.5 La densidad y la inercia térmica en edificaciones. Sastre & Muñoz (2010) en su trabajado libro Propiedades de los Materiales y Elementos de Construcción explican la importancia y la relación que existe entre la densidad de los materiales de construcción y su relación con la inercia térmica con el ambiente.

En la comprensión del texto, define a la densidad como “cantidad de masa por unidad de volumen” teniendo como unidad de medidas g/cm³, kg/m³. Explican también, que en el campo de la construcción la densidad es importante al momento de la escogencia de los materiales, se puede ejemplificar cuando el uso del hormigón se ve más liviano frente al acero aplicado en estructuras, o la madera más liviana que el hormigón, sin embargo, esto es relativo debido a que pueden entrar en cuestión valores que hacen varias los resultados de densidad o beneficios estructurales. Por lo anterior, se puede concluir que aun cuando existan demás valores que incidan en el comportamiento de la densidad de un material, será necesario conocer resultados preestablecidos para cada masa con el fin de compararlos aleatoriamente con otros y lograr tomar

decisiones de escogencia en la construcción, en este caso, para el presente proyecto de investigación.

Siendo como una propiedad muy fácil de determinar y de gran importancia en la tecnología de la arquitectura, hay que conocer la densidad de la mayoría de materiales de construcción. A continuación, se expone un resumen de la densidad de los más comunes según Sastre & Muñoz (2010):

Tabla 21. Densidad de materiales o elementos de construcción

Materiales o elementos constructivos	Kg / m³
Aire	1,29
Poliestireno expandido	15-30
Espuma de poliuretano	24-30
Manta de fibra de vidrio	16-48
Corcho prensado	128
Madera de balsa	160
Plafón aislante ligero de fibras	240-350
Vermiculita exfoliada	80-144
Placas rígidas de espuma de vidrio	128-136
Plafones aislantes semipesados de fibras	350-800
Hormigón aireado de baja densidad	320-700
Placas de paja comprimida	365
Placas de lana de madera	450
Hormigón de vermiculita exfoliada	400-800
Tablero aglomerado	450-800
Madera (coníferas), contrachapado	513
Madera (frondosa)	769
Cal	1.000
Arcilla expandida, suelta	320-1.040
Muro de bloque de yeso	1.000
Muro de ladrillo hueco (tochana)	1.200
Yeso, escayola	1.250
Cemento	1.200-1.600
Muro de ladrillo perforado (Gero)	1.500
Muro de bloque de mortero	1.300-1.600
Mortero de cal	1.600
Mortero de cemento	2.000
Arena	1.500
Grava	1.700
Muro de ladrillo macizo (tocho)	1.800
Muro de ladrillo silicocalcáreo	2.000
Hormigón en masa	2.100-2.300
Roca calcárea	2.310-2.400
Arenisca	2.500-2.600
Hormigón armado	2.500
Vidrio	2.520-2.600
Mármol, roca calcárea compacta	2.800
Pizarra	2.590-2.800
Granito	2.660-2.800
Aluminio	2.700
Basalto	3.000
Zinc	7.200
Estaño	7.400
Acero	7.850
Bronce, latón	8.500
Cobre	9.000
Plomo	11.340

Fuente: Sastre & Muñoz, 2010.

4.2.3 Nuevas soluciones constructivas para envoltorio en la Región de Norte de

Santander. Es importante reconocer que en la región existe el esfuerzo desde la academia por lograr nuevas alternativas en la construcción, avanzar en términos de conocimientos y nuevos resultados con el fin de pensar en edificaciones dentro de parámetros más honestos con el ambiente y la habitabilidad. Desde la Universidad Francisco de Paula Santander, los arquitectos Navarro & Niño (2015) desarrollaron un diseño arquitectónico aprovechando las bondades de la arcilla propias del departamento. El bloque termodisipador (BT) es una pieza cerámica considerada un mampuesto, que diferencia de los tradicionales debido a que agrega una sección transversal provocando una especie de cámara de aire que aísla al muro acústica y térmicamente.

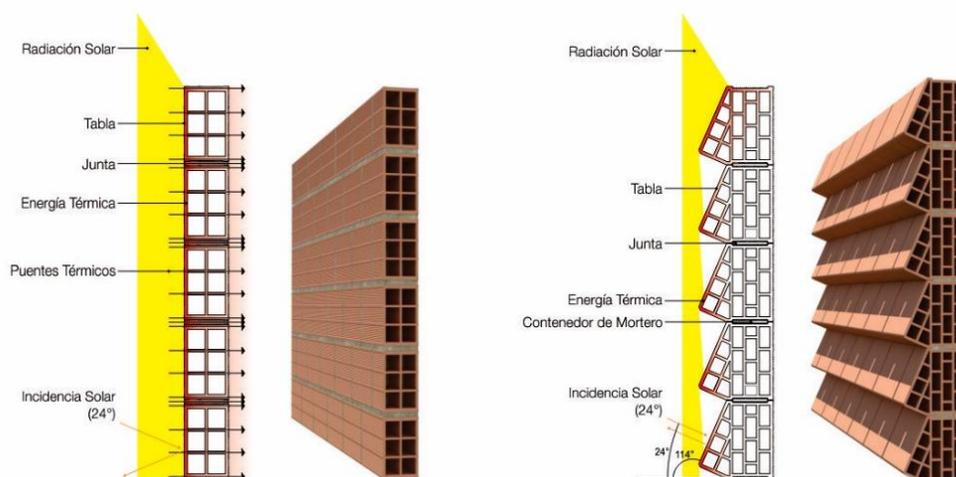


Figura 92. Comparación del funcionamiento térmico entre bloque tradicional y bloque termodisipador

Fuente: Archdaily, s.f.



Figura 93. Posibilidades de diseño usando Bloque Termodisipador

Fuente: Sumart, s.f.

Para la comprobación de la optimización térmica del bloque se realizó una simulación virtual por medio del software Ecotect en una superficie de fachada de 2m x 2m, los análisis de sombra y de radiación solar fueron positivos frente al bloque tradicional. Los porcentajes de ganancia térmica disminuyen hasta un 68,7% en condiciones de orientación óptima, y en orientaciones críticas hasta un 24% comparado al bloque tradicional, así mismo, los niveles de sombra aumentan brindando a la fachada más horas de sombra durante el día y en diferentes orientaciones y épocas del año.

Se comprobó también, que por medio de alianzas de D + I (Diseño e Industria) con ladrillera de la región, la posibilidad de que los procesos industriales permitan la realización del prototipo y se logren adecuar las nuevas alternativas a procesos de fabricación convencionales, de allí parte la importancia de la investigación y la importancia de nuevas propuestas para el mercado en la construcción, superando aún las tendencias constructivas de la región.



Figura 94. Muro con Bloque Termodisipador

Fuente: Sumart, s.f.

4.2.4 Aspectos climáticos de la envolvente en VIS. En Colombia se puede evidenciar la falta de conocimiento, la calidad en diseño y construcción de carácter bioclimático en viviendas VIS debido a la estandarización de estas y falta de recursos para las edificaciones. Entendiendo que el clima es un factor que determina un proyecto y que este se diferencia a un contexto determinado podríamos comprender cómo la envolvente puede responder de la manera más adecuada a cada lugar, cómo los materiales juegan un papel importante como protección y aporte al confort climático, y además, la respuesta de nuevas estrategias que se involucran de forma adaptativa a edificaciones existentes.

En el artículo Resiliencia Urbana y Ambiente Térmico en la Vivienda (2016), resaltan la envolvente y su aporte al confort térmico como un nuevo concepto que involucra al desarrollo y crecimiento del tejido urbano en las ciudades, la sostenibilidad urbana y su relación con la producción social del hábitat, la calidad de la vivienda y particularmente, el ambiente térmico interior. Con el fin de desarrollar la anterior investigación teórica han descrito la envolvente como aquella que está constituida por todos los cierres exteriores de la edificación (cubierta,

paredes y ventanas) y su influencia en el ambiente térmico interior depende de su posición en el espacio y su orientación con respecto al sol, así como de sus dimensiones y proporciones, de las sombras arrojadas sobre éstos por parte del contexto, el propio edificio u otros elementos adicionales de protección solar. Por último, las propiedades físico térmicas de los materiales y elementos de cierre que constituyen la envolvente arquitectónica condicionan el flujo térmico a través de ellos y la inercia que depende de su capacidad térmica, con lo cual, cuando están expuestos a la radiación solar directa, tienen una gran influencia directa en las temperaturas interiores (temperatura del aire y temperatura radiante).

A continuación, se muestra el estado actual de la envolvente en vivienda VIS por medio de estudios que buscan el análisis y el mejoramiento térmico en la edificación.

Heard & Villarroel (2013), comprobaron que el mejoramiento en el aislamiento térmico en muros y techos no solamente brinda un mejor confort térmico para sus usuarios, sino representan menores costos en el uso de energía eléctrica destinada a sistemas de ventilación y aire acondicionado. El uso de este tipo de tecnologías, dadas las condiciones climáticas y económicas de cada región en particular. En el análisis se observa que, en regiones de calor extremo y alta incidencia de humedad, las mejoras en el aislamiento de muros y techos muestran comportamientos beneficiosos para los habitantes de casas de interés social.

La comprensión del estado actual en los aspectos bioclimáticos de la vivienda de interés social a nivel internacional también nos da una mirada panorámica de las nuevas estrategias e innovaciones que se pueden incluir como respuesta a estos importantes modelos de habitar en el mundo. Por lo anterior se mostrará una serie de conclusiones y resultados producto de investigaciones en países como Argentina.

En el análisis del comportamiento térmico de un prototipo de vivienda construido por el IPV (Instituto Provincial de la vivienda) en la ciudad de Salta (2007), se concluyó que la amplitud térmica en invierno y en verano es menor y a la vez semejante con el cambio de materialidad en la envolvente y en el techo de la vivienda, este cambio se presenta al sustituir el bloque de cerámico hueco por ladrillo macizo de 30 cm de espesor. Sin embargo, entendiendo que los costos en aislar la envolvente horizontal y vertical son semejantes y el efecto sobre el ambiente interior en invierno también son comparables, en el caso de tener que elegir cuál aislar, la opción más adecuada debe tomarse teniendo en cuenta su efecto en el verano, siendo más conveniente aislar el techo.

En el análisis de un espectro de tipología de viviendas de interés social implementadas masivamente en las Provincias de Corrientes, Chaco y Misiones; Di Bernardo, Jacobo & Alías, (2008), identificaron las falencias de diseño y su efecto negativo en la habitabilidad higrotérmica que afectan de manera directa al confort de los usuarios en los ambientes interiores, especialmente en la envolvente edilicia (paredes y techos). Como resultado del análisis a las viviendas de forma espacial y acumulación de información por medio de la herramienta ECOTECH demuestra que la optimización de las condiciones de habitabilidad con el menor consumo de todos los recursos, ya sean energéticos o económicos es la clave para el futuro de nuevas soluciones en futuros emprendimientos.

Seguidamente se exponen estudios realizados a nivel nacional de los aspectos climáticos de la envolvente para viviendas de interés social, para esto se toman zonas del país con pisos térmicos diferentes lo cual condicionan la materialidad y estrategias específicas de diseño.

Trujillo, Medinan & Cequera (2016) Analizaron un piso tipo (4-5) de una torre de edificios VIS en Bogotá, se comprobó que existe desconfort térmico en el interior de los apartamentos, para esto plantearon algunas estrategias en simulaciones digitales como cambio de vidrio, aislar la fachada, reducir las infiltraciones y aislar el piso. Sin embargo, demostraron que no todas las estrategias pueden llegar a dar un confort significativo, solo por medio del mejoramiento de las propiedades térmicas de los materiales en la fachada (aislarla) logrará un confort térmico importante.

Fonseca (2019), comprobó que en la ciudad de Tunja la construcción con sistemas tradicionales para viviendas VIS no cumple con el confort térmico requerido por la norma nacional, por lo tanto, su propuesta por nuevos materiales y tecnologías limpias como el Bloque de Tierra Comprimido (BTC) demuestra mejoras de comportamiento térmico en sus valores U hasta en un 30%, lo cual comprueba que mejora el aislamiento térmico en envoltentes de viviendas VIS en la ciudad de Tunja.

Arguelles (2000), afirma que las viviendas del municipio de Ambalema mantienen valores elevados de temperatura, consolidando un periodo de sobrecalentamiento en un 59.7% del tiempo, lo anterior debido a materiales tradicionales aplicados en la envolvente, especialmente en la cubierta (teja de zinc y fibrocemento). La investigación comprueba y rescata los materiales de la vivienda colonial (bahareque, adobe, teja de barro, estructuras de madera) como soluciones que ejercen mayor eficiencia térmica a las viviendas, además de aportar a la identidad urbana y arquitectónica en el crecimiento del municipio.

Campiño (2013), realizó un estudio del modelo de vivienda de interés social en la ciudad de Buenaventura construida en muro de concreto reforzado tipo outinord y cubierta de fibrocemento,

este sistema constructivo presenta confort térmico interior deficitario la mayor parte del tiempo, así mismo, el material utilizado en los cerramientos, su color, pocas aberturas, falta de ventilación cruzada, entre otros factores incrementan la temperatura al interior de las edificaciones impidiendo alcanzar un nivel óptimo de confort térmico interior.

Para una vivienda de interés social en la ciudad de Cali, Castañeda (2015), realizó un experimento donde evaluó una habitación tipo de una vivienda VIS, donde las habitaciones típicas se presentan muy calurosas, solo tolerables después de las 18 h, y son completamente inhabitables entre las 12:00 y 14:00 h. Por lo anterior, comprobó que por medio de chimeneas solares adaptadas al modelo constructivo comunes en la ciudad (fibrocemento) garantiza una renovación que brinda calidad de aire y remoción significativa de la carga térmica llevando a niveles de confortabilidad aceptables.

En conclusión, los resultados que existen para Colombia en materia de la situación climática de la envolvente en viviendas de interés social son graves, la falta de conocimiento bioclimático de los entes constructores hace de este un problema que afecta directamente a las familias que habitan en ellas. Como se ha visto anteriormente, la inclusión de estrategias de diseño involucradas en el diseño, el estudio del clima específico donde se edifica y la escogencia de materiales sustentables o que respondan positivamente a la precariedad del ambiente donde se instalan o edifican, serán las respuestas para la vivienda de interés social en el país, no sólo como vivienda nueva, pues, el incorporar estrategias sustentables en viviendas construidas incide notoriamente en el confort térmico hasta llegar a niveles aceptables.

Avanzando en este razonamiento y en síntesis de los referentes vistos, se puede decir que los materiales sustentables y autóctonos de cada contexto donde se edifica se ven como una

oportunidad para aportar significativamente al crecimiento del tejido urbano, pues el uso de materiales propios del lugar es una alternativa que responde apropiadamente al confort térmico de habitabilidad y puede llegar a ser notoriamente más eficiente que el uso de materiales tradicionales. El crecimiento social y cultural se manifiesta en lo que se adquiere de su propio territorio, se conserva y trasciende, por esta razón, el desarrollo de nuevas alternativas de construcción con el uso de materiales del lugar será clave para un positivo crecimiento de las ciudades.

4.2.5 Confort térmico necesario en viviendas de interés social. En relación con las condiciones en las que se habita y se desarrolla el ser humano en su vivienda cabe señalar el concepto del derecho a la salud y las necesidades que tienen las personas para alcanzar un equilibrio a su bienestar físico y psicológico. Por esto, Hunt (2003) destaca que la salud es un derecho inclusivo que abarca, además de la atención oportuna y apropiada, el acceso a factores determinantes básicos como agua limpia y potable, condiciones sanitarias adecuadas y ambientes sanos de trabajo, entre otros.

Por lo anterior, el derecho a la salud puede definirse a partir de una serie de elementos que le dan contenido y forma para su aplicación práctica. Dentro de los apartados de “Elementos esenciales del derecho a la salud” que describe el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (2000), la calidad es un pilar fundamental para conseguir el disfrute de los niveles más altos en salud, por esto, los bienes y establecimientos deben proponer condiciones apropiadas de salud, esto abarca a que la materialidad debe ser la más apropiada desde un punto de vista científico y de buena calidad, sin ser nocivos en sus propiedades y que su construcción o instalación responda positivamente acorde a su función.

4.2.5.1 Confort térmico. Para el estudio y análisis del confort térmico en viviendas de interés social se toma como referente la norma internacional de condiciones ambientales térmicas para ocupación humana denominada Modelo ASHRAE standard 55 (2004), la cual define el confort térmico como una condición mental que expresa satisfacción con el entorno térmico. Debido a que existen grandes variaciones, tanto fisiológicas como psicológicas, de persona a persona, es difícil satisfacer a todos en un espacio. Las condiciones ambientales requeridas para la comodidad no son las mismas para todos. Sin embargo, se han recopilado datos extensos de laboratorio y de campo que proporcionan los datos estadísticos necesarios para definir las condiciones que un porcentaje específico de ocupantes encontrará térmicamente cómodos.

En el anterior modelo, para calcular la zona en la que la mayoría de las personas se sienten cómodas se utiliza el modelo teórico PMV (Fanger 1970), el cual representa el “Voto medio previsto” (en la escala de sensación térmica) de un grupo de personas expuestas a cierto ambiente. Este método se deriva de la física de transferencia de calor combinada con una adaptación empírica para la sensación. El PMV establece una tensión térmica basada en la transferencia de calor en estado estacionario entre el cuerpo y el ambiente, y asigna un voto de confort a esa cantidad de tensión.

4.2.5.2 ASHRAE standard 55. Por medio del software digital Climate Consultant 6.0, el cual tiene por objetivo mostrar una variedad de representación gráfica de los datos climáticos por hora para la ubicación elegida, y ayudar a ver visualmente los patrones generales únicos y los detalles sutiles que caracterizan cada clima diferente que de otra manera se perdería en tablas de números. El consultor climático busca traducir las condiciones exteriores al confort interior, por lo que hace suposiciones generalizadas sobre el diseño de edificios.

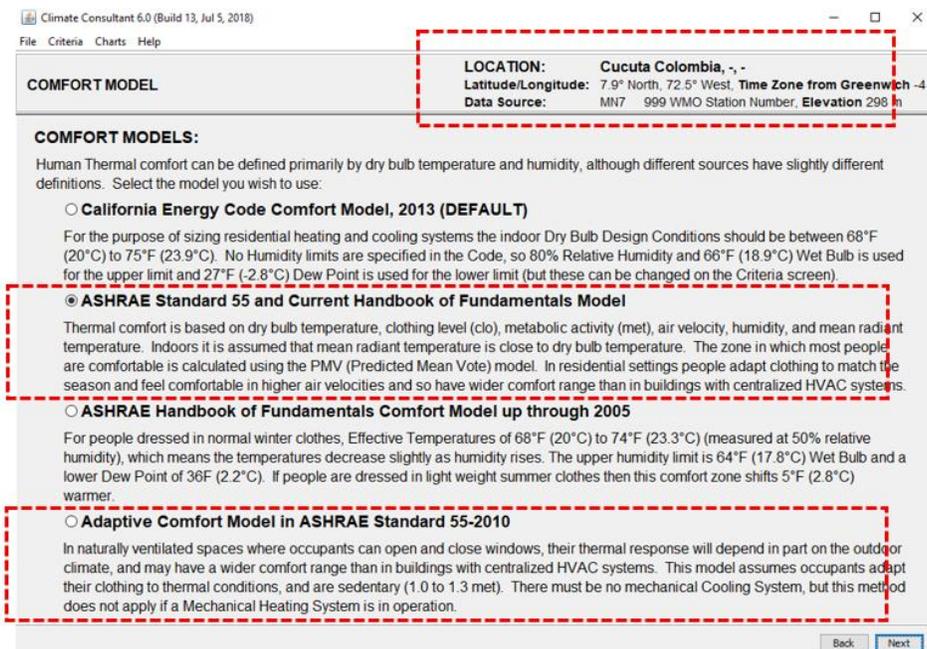


Figura 95. Modelos de confort

Fuente: Climate Consultant 6.0.

Como ubicación se anexaron los datos climatológicos correspondientes a la ciudad de Cúcuta y como modelo de confort se toma como referente al modelo ASHRAE Standard 55 con el modelo PMV y en consideración al modelo ASHRAE Standard 55 del 2010 y su modelo teórico de confort adaptativo.

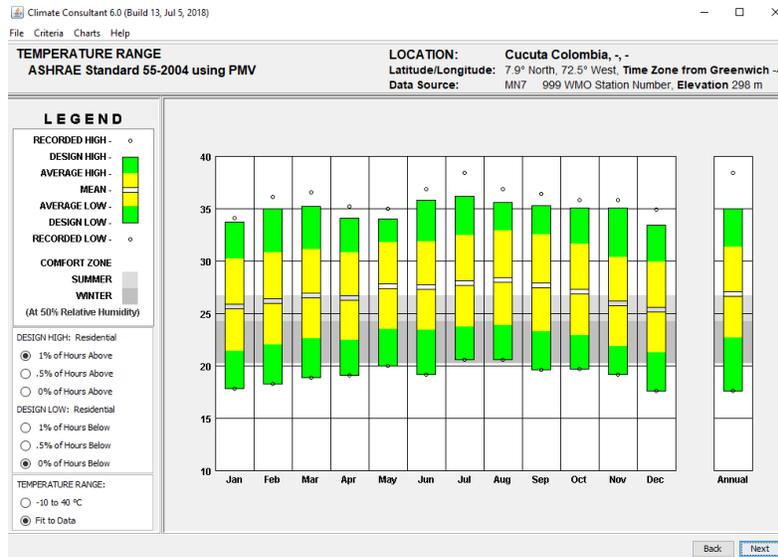


Figura 96. ASHRAE Standard 55-2004

Fuente: Climate Consultant 6.0.

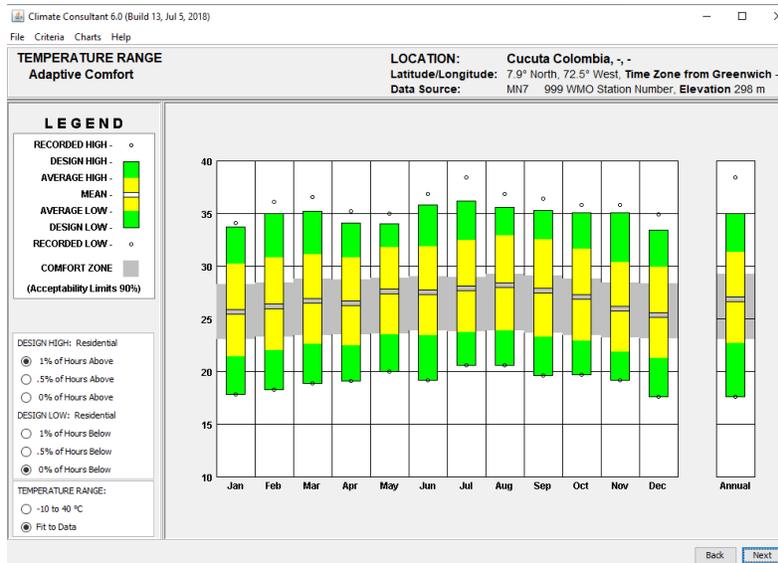


Figura 97. ASHRAE Standard 55-2010

Fuente: Climate Consultant 6.0.

La consideración de los dos modelos se da al entender el desarrollo de sus teorías en los años en que se llevaron a cabo, cuando una corresponde al 2004 y la otra al 2010 se encuentran diferencias en la tolerancia de los grados de confort térmico, cuando los rangos de tolerancia en el 2010 se encuentran de 23°-29° los del 2004 se encontraban de 20°-27°. Con estas cifras se concluye la seriedad climatológica que en los años aumenta y los estudios intentan mostrar de la manera más realista la seriedad del problema; en este sentido, las soluciones más pertinentes para el confort habitable en el interior de las edificaciones serán las que mejor resultados den dentro de los rangos tolerables del modelo, sin embargo, el disminuir en grados las cifras de desconfort térmico sería ya una ganancia para la edificación.

4.3 Guía de Diseño y Desarrollo de la Envolvente

En el proceso de concebir una respuesta óptima en el confort térmico con una envolvente para vivienda VIS es necesario comprender y analizar los aspectos que determinaron la elección de una envolvente como estrategia de diseño para aumentar el confort térmico en una edificación; así mismo, comprender el concepto de envolvente para edificaciones, de cómo es posible configurar en su forma con el fin de cumplir con las indicaciones y recomendaciones que son dadas por el software Consultant Climate 6.0, las cuales analizaremos y tomaremos como base en el desarrollo y diseño de la envolvente.

A continuación, se describe un panorama general del uso de estrategias bioclimáticas y su aplicación de acuerdo a la necesidad del contexto.

4.3.1 Estrategias bioclimáticas. El término estrategias se refiere a la definición de las acciones óptimas para la consecución de un fin, basadas en ciertas reglas, principios o directrices que ayuden a tomar las decisiones correctas. En el caso del diseño bioclimático, las estrategias

están enfocadas a cumplir los objetivos fundamentales de la arquitectura Fuentes, V.A.

Arquitectura Bioclimática):

Crear espacios habitables que cumplan con una finalidad funcional y expresiva, que propicien el desarrollo integral del hombre. Evidentemente para cumplir este objetivo, los espacios deben ser saludables y confortables.

Hacer un uso eficiente de la energía y los recursos; Tendiendo hacia la autosuficiencia de las edificaciones en la medida de lo posible.

Preservar y mejorar el medio ambiente.

4.3.2 Estrategias básicas de diseño. Las estrategias básicas de climatización se relacionan con los mecanismos de transferencia de calor, es decir con las formas en que se transfiere energía. Los mecanismos de transferencia son: Conducción, Convección y Radiación. Los cambios de fase (del agua), aunque no pertenecen propiamente a los mecanismos de transferencia de calor, si involucran la absorción o desprendimiento de energía, por lo tanto, también se considera a la evaporación como parte de las formas de transferencia (Fuentes, 2002). Por lo anterior, el autor termina organizando las estrategias y definiendo los mecanismos de transferencia de calor:

		Mecanismos de transferencia de calor			
		CONDUCCIÓN	CONVECCIÓN	RADIACIÓN	EVAPORACIÓN
FRÍO	Promover las ganancias			Promover Ganancia Solar	
	Evitar las pérdidas	Minimizar el flujo conductivo de calor	Minimizar el flujo de aire externo Minimizar la infiltración		
CALOR	Evitar las ganancias	Minimizar el flujo conductivo de calor	Minimizar la infiltración	Minimizar la ganancia solar	
	Promover las pérdidas	Promover el enfriamiento terrestre	Promover la ventilación	Promover el enfriamiento radiante	Promover el enfriamiento evaporativo

Figura 98. Estrategias básicas de diseño

Fuentes: Gutiérrez & Gómez, 2002.

4.3.2.1 Conducción. La conducción se refiere a la transferencia de calor que se da a través de los cuerpos sólidos, en este sentido, minimizar el flujo conductivo, ya sea en un sentido o en el otro, se puede lograr mediante una adecuada selección de los materiales y sistemas constructivos, así como el diseño de sus capas y espesores.

4.3.2.2 Convección. La convección es la transferencia que se da a través de los fluidos, en este caso el aire. La transferencia de la energía por convección se puede lograr en dos sentidos. Primero por el control de las fugas e infiltraciones. Y segundo por el manejo adecuado de la ventilación natural.

4.3.2.3 Radiación. La radiación no requiere de medio de transporte. Y se puede establecer de dos formas: por radiación solar o por enfriamiento radiante. En el caso de la radiación solar, ésta puede propiciarse o evitarse. Nuevamente la forma, orientación y disposición de los espacios es

muy importante para propiciar o evitar las ganancias por radiación solar. Así mismo el buen diseño de ventanas y dispositivos de control solar.

4.3.2.4 Evaporación. La transferencia de calor por enfriamiento evaporativo se consigue por el cambio de fase del agua, de estado líquido a gaseoso. Se puede lograr por medio de estanques o fuentes; aunque en este caso la vegetación juega un papel muy importante debidos a su evotranspiración.

4.3.3 Estrategias de diseño – carta psicrométrica. La definición apropiada de las estrategias de diseño se logra mediante un adecuado análisis climático y con relación a los requerimientos de confort de los usuarios. En 1963 los hermanos Olgyay presentaron un diagrama de temperatura-humedad llamado carta bioclimática que sirve para mostrar las necesidades de confort de una persona sedentaria, y de hecho en esta carta se presentan ciertas estrategias básicas para conseguir un estado confortable; sin embargo a finales de los años 60's B. Givoni presentó significativas aportaciones, al determinar, dentro de un diagrama psicrométrico, los límites de efectividad de diferentes estrategias de diseño enfocadas a conseguir el confort higro-térmico en las edificaciones.

En este sentido se presenta la carta psicrométrica de la ciudad de Cúcuta con datos aportados por el IDEAM y los porcentajes de cada estrategia requerida para lograr un 100% de confort en espacios interiores de una edificación.

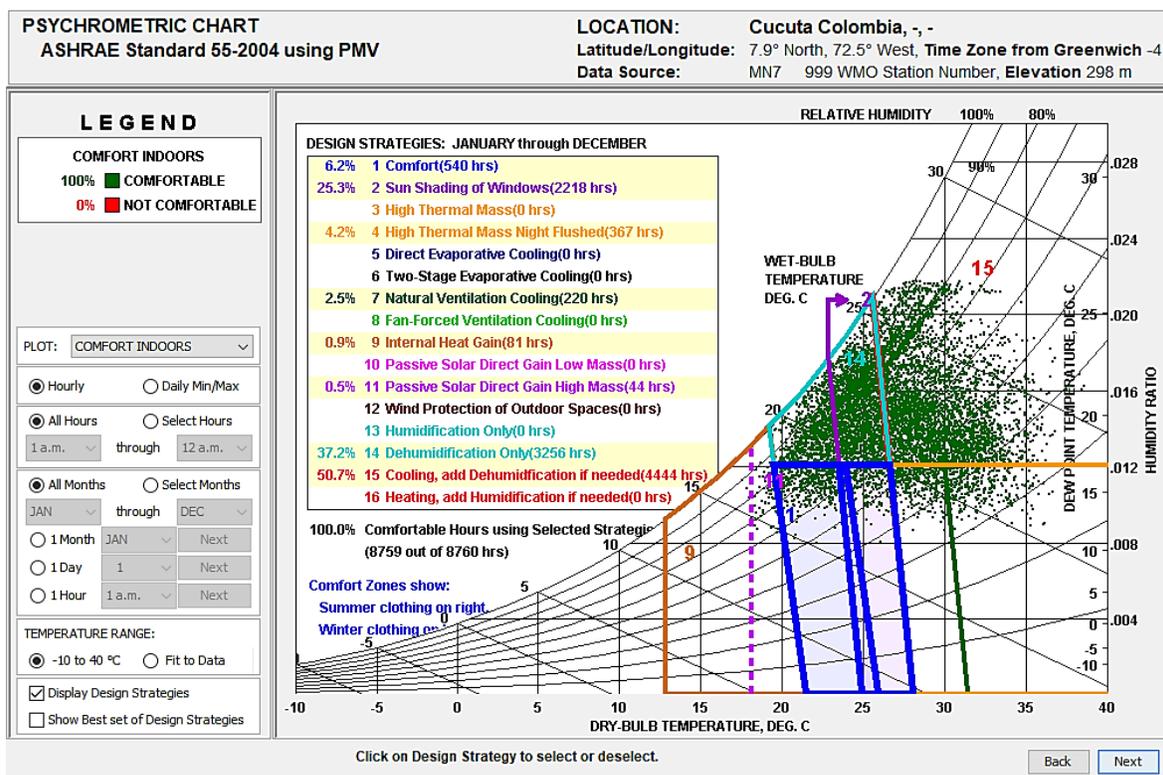


Figura 99. Carta psicrométrica

Fuente: Climate Consultant 6.0

Dentro de las estrategias sugeridas por el software se despliegan las que aportarían mayor confort al interior de una edificación y los porcentajes (horas) de aplicación durante el mes de enero al mes de diciembre.

Como análisis de las estrategias dadas por el software se entiende primeramente que solo el 6,2% del tiempo en el año de la ciudad de Cúcuta se encuentra en el rango de la zona de confort, mientras que el 93,8% se encuentra fuera de los rangos de confort para las personas. En el caso de protección solar de ventanas se afirma que con el diseño correcto de esta estrategia aumenta el confort térmico en un 25,3% para la edificación. En un porcentaje menor de 4,2% se aumentaría el confort si existe alta ganancia térmica por la noche. La correcta ventilación natural, su

controlada velocidad y dirección hacia la edificación aportará en un 2,5% al confort térmico de las personas, así mismo, una ganancia solar pasiva directa en forma de alta masa aportaría a un 0,5%. Si existe deshumidificación o desecación del aire se puede conseguir una considerable cifra del 37,2% como aporte al confort del ambiente dentro de la edificación y, por último, el enfriamiento y la deshumidificación serán aplicadas si es necesario con el fin de aumentar un bienestar al ambiente hasta en un 50,7% del tiempo en el año.

4.3.4 Dispositivos de control solar. Correspondiendo a las recomendaciones del Software Climate Consultant y la considerable cifra que representa la “Protección solar de Ventanas” con un 25,3% de aporte al confort térmico si es aplicada, se justifica la elección del control solar como herramienta. Por lo anterior, para aumentar el confort higrotérmico en una vivienda VIS construida en la ciudad de Cúcuta, nos enfocamos en el análisis y descripción del control solar por medio de la envolvente y proceder al diseño de esta.

Cuando se habla de dispositivos de control solar normalmente se piensa en elementos que obstruyen el paso de los rayos solares, sin embargo, debe pensarse más en términos de “control” y no de “obstrucción” ya que estos dispositivos deberán permitir el paso del sol en los periodos que lo requieran y evitarlo en aquellos otros donde no es conveniente que entre. (Fuentes, V.A. Dispositivos de Control Solar).

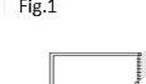
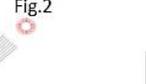
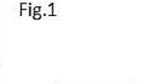
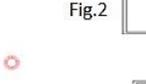
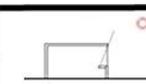
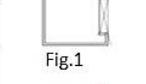
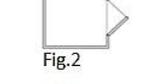
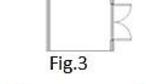
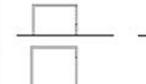
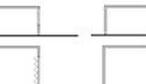
D I S P O S I T I V O S D E C O N T R O L S O L A R	Horizontales	1. Alero, volado o voladizo.	       
		2. Portico.	
		3. Repiza.	
		4. Persiana.	
		5. Faldón.	
		6. Pergola.	
		7. Toldo.	
		8. Techo escudo o doble techo.	
	Verticales	1. Pantalla.	   
		2. Partesol.	
		3. Persiana vertical.	
		4. Muro doble o "muro escudo".	
	Mixtos	1. Marcos.	   
		2. Celosía.	
	Otros	1. Remetimiento de ventanas.	         
		2. Cambio de orientación de ventanas.	
		3. Contraventanas.	
		4. Nuevos acristalamientos.	
		5. Cortinajes.	
		6. Vegetación.	
		7. Elementos combinados.	

Figura 100. Dispositivos de control solar

Dicho lo anterior, no se puede entender los dispositivos solares solamente como una estrategia que es aplicada a las ventanas o la fachada en general para protegerse del sol. Es

necesario comprender el control del sol como una propuesta integral, que ocupe los componentes térmicos y lumínicos manejados por los rayos solares y lograr un equilibrio entre estos según la necesidad del proyecto. En el desarrollo del presente proyecto el enfoque se dará principalmente con el componente térmico, dicha propuesta de envolvente será analizada con el software Ecotect.

En términos generales los dispositivos de control solar se pueden agrupar en función de su posición con respecto a los planos de fachada; por lo tanto, encontraremos sistemas de control horizontal, vertical y mixto (Fuentes, 2015).

4.3.4.1 Horizontales. Como se muestra a continuación:

Alero, Volado o Voladizo. El volado o voladizo se refiere a cualquier elemento horizontal que sobresale del paramento vertical o de la fachada, mientras que el alero normalmente se forma por la extensión de la techumbre (alero continuo) que rebasa los muros. Los aleros o volados se construyen con fines de protección, tanto de las fachadas como de los andadores o banquetas, ya sea para proteger del sol o de la lluvia.

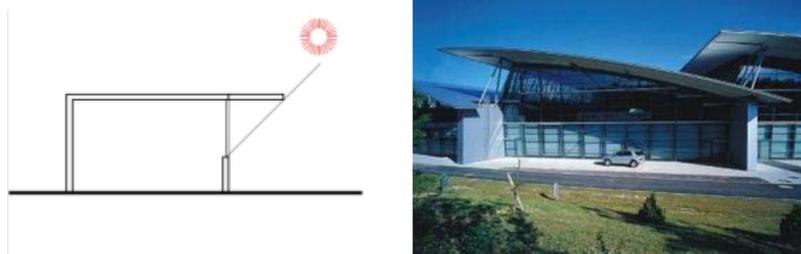


Figura 101. Esquema de Voladizo y ejemplificación - Mercedes Benz, Stuttgart –Renzo Piano

Fuente: Fuentes, 2015.

Pórtico:

Se llama pórtico al espacio o galería cubierta sostenida por arcadas o columnas, ubicado a lo largo de una fachada. El pórtico forma un espacio de transición entre los espacios abiertos y cerrados y puede ser un espacio de circulación o utilitario.

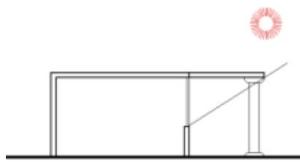


Figura 102. Esquema de Pórtico y ejemplificación - Stansted Airport, London –Norman Foster

Fuente: Fuentes, 2015.

Repisa:

La repisa se refiere a los elementos volados a manera de ménsula. Como dispositivos de control solar son elementos horizontales ubicados dentro del claro de la ventana y lo que hace el dividir el ángulo de protección en dos, disminuyendo la dimensión del volado. Generalmente estas repisas se utilizan también como dispositivos de iluminación natural y que reflejan los rayos solares hacia el plafón.

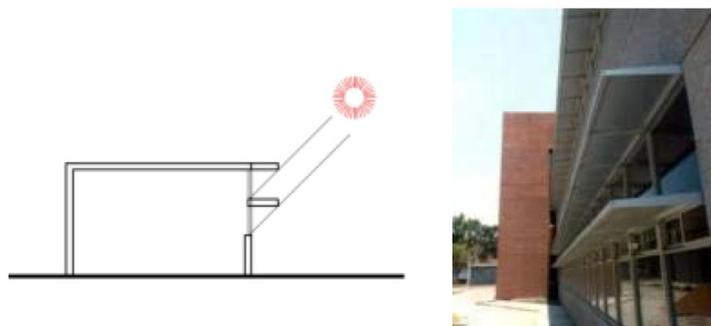


Figura 103. Esquema de Repisa y ejemplificación - Centro de Cómputo UAM-Azcapotzalco

Fuente: Fuentes, 2015.

Persiana:

Si el ángulo de protección de un volado se divide en muchas secciones, el elemento conformará una persiana. La persiana es un dispositivo formado por tablillas o elementos horizontales o inclinados que permiten el paso de la luz y aire pero no del sol. Las persianas pueden ser exteriores o interiores, fijas o giratorias en su eje horizontal.

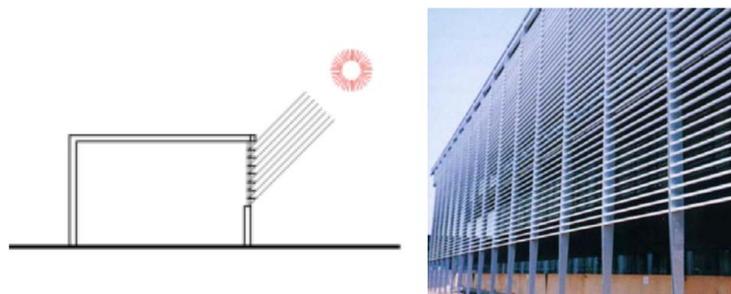


Figura 104. Esquema de Persiana y ejemplificación - Oficinas Centrales de Boots, Nottingham UK, DEGW Arch

Fuente: Fuentes, 2015.

Faldón:

En realidad se llama faldón a la vertiente triangular de ciertos tejados, limitada por dos limas y el alero. En la actualidad definimos faldón a cualquier elemento vertical o inclinado que pende del extremo de un alero o volado. Puede ser macizo, tipo persiana o celosía.

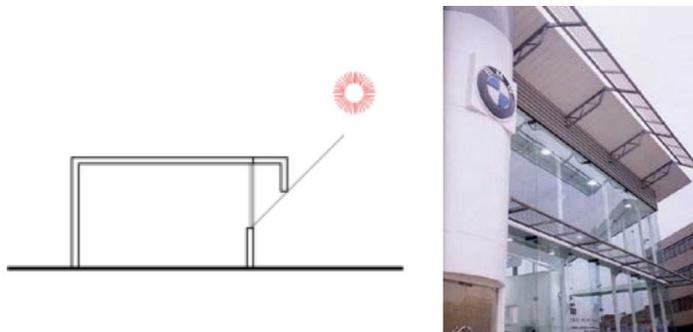


Figura 105. Esquema de Faldón y ejemplificación - BMW, London UK, Motor Design Group Arch

Fuente: Fuentes, 2015.

Pérgola:

Si el ángulo de protección se divide en lo horizontal, se obtiene una pérgola. La pérgola se define como vigería o enrejado abierto a manera de techumbre. Generalmente asociada con vegetación de enredaderas y trepadoras.

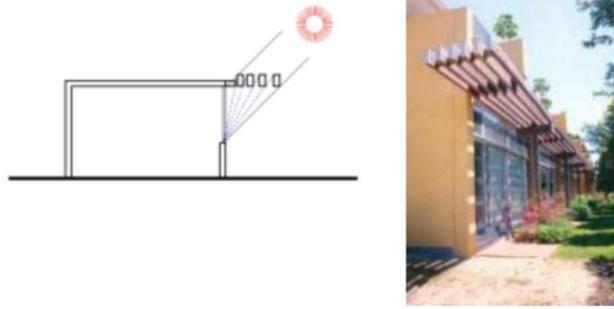


Figura 106. Esquema de Pérgola y ejemplificación - Edificio Administrativo, Sunshine Cost University, Queensland Australia

Fuente: Fuentes, 2015.

Toldo:

Cubierta fija o plegable fabricada con lona u otro material tipo tela o fibra plástica. Tiene la ventaja de ser plegable y poder ser translúcida, por lo que puede controlar los niveles de iluminación.

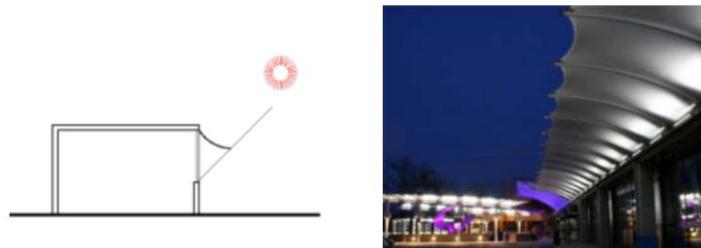


Figura 107. Esquema de Toldo y ejemplificación - Royal Free Hospital, Hampstead, London

Fuente: Fuentes, 2015.

Techo escudo o doble techo:

El techo escudo es una doble techumbre con la cámara de aire ventilada o abierta. Tiene por objeto sombrear la totalidad de la techumbre y así evitar la ganancia térmica por radiación solar.

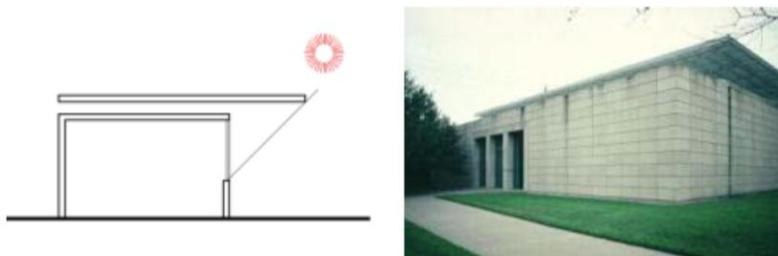


Figura 108. Esquema de Doble techo y ejemplificación - Galery Cy Twombly, Houston Texas, Renzo Piano

Fuente: Fuentes, 2015.

4.3.4.2 Verticales. Como se muestra a continuación:

Pantalla:

Elemento o superficie que sirve para obstruir los rayos solares. Generalmente es un elemento vertical colocado frente a la ventana, pero a diferencia del faldón, no está unida al alero, aunque puede estar suspendida de él. También puede ser maciza, tipo persiana o celosía, y puede ser opaca o translúcida.

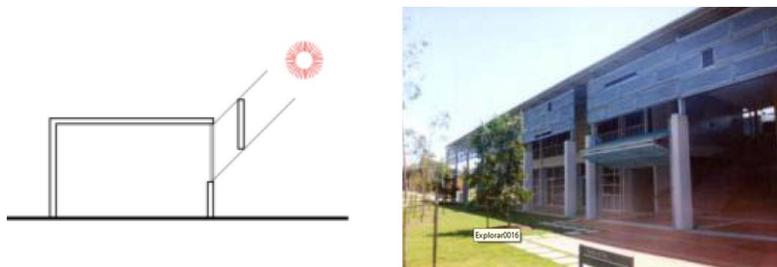


Figura 109. Esquema de Pantalla y ejemplificación - Facultad de Artes, Sunshine Coast University, Queensland Australia

Fuente: Fuentes, 2015.

Partesol:

El partesol es un elemento saledizo de la fachada que bloquea los rayos solares. Puede estar colocado perpendicularmente u oblicuo con respecto a la fachada y puede ser parte de ella o un elemento separado.

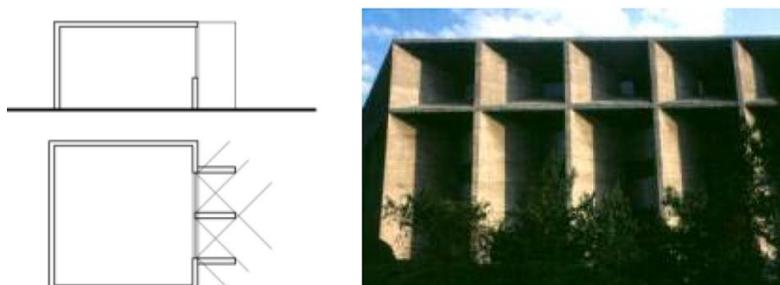


Figura 110. Esquema de Partesol y ejemplificación - INFONAVIT, México DF. Teodoro González de León

Fuente: Fuentes, 2015.

Persiana Vertical:

Al igual que la horizontal, la persiana vertical resulta de la división del ángulo de protección dividido en varias secciones. Es igualmente un dispositivo formado por tablillas, en este caso verticales que permiten el paso de la luz y del viento pero no de los rayos solares. Pueden ser exteriores o interiores, fijas o giratorias sobre su eje vertical.

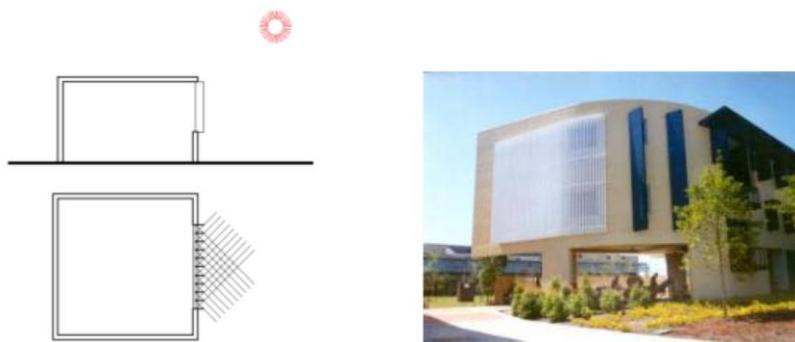


Figura 111. Esquema de Persiana Vertical y ejemplificación - Facultad de Ciencias Sociales, Sunshine Cost University, Queensland Australia

Fuente: Fuentes, 2015.

4.3.4.3 Muro doble o “muro escudo”. Doble muro con el espacio interior o cámara de aire ventilada. Tiene por objeto sombrear la totalidad del muro y así evitar la ganancia térmica por radiación solar del muro. También entran en esta categoría las dobles fachadas.

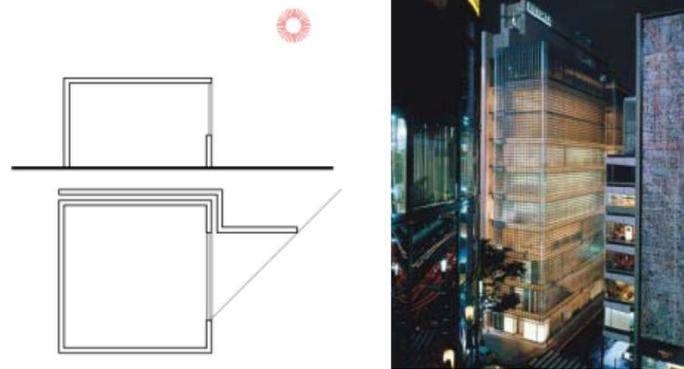


Figura 112. Esquema de Muro doble y ejemplificación - Maison Hermes, Tokyo –Renzo Piano

Fuente: Fuentes, 2015.

4.3.4.4 Mixtos. Como se muestra a continuación:

Marcos:

Los marcos son dispositivos de control solar formados por la combinación de volado y partesol, de tal manera que el perímetro del vano está rodeado por voladizos y saledizos.

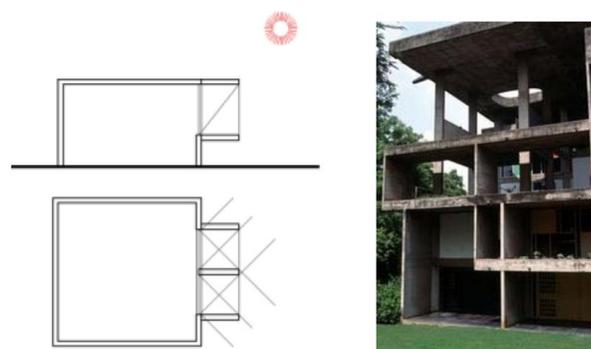


Figura 113. Esquema de Marcos y ejemplificación - Villa Shodan, Ahemdabad India. Le Corbusier

Fuente: Fuentes, 2015.

Celosía:

La celosía es el resultado de la combinación de celosías horizontales y verticales o cualquier otro entramado usado como protección solar.



Figura 114. Esquema de Celosía y ejemplificación - Instituto del Mundo Árabe. Paris, Jean Nouvel

Fuente: Fuentes, 2015.

4.3.4.5 Otros. Como se muestra a continuación:

Remetimiento de ventanas:

Remetimiento de ventanas que se hace del acristalamiento para que quede protegido del sol (como dispositivo de iluminación suele tener los paramentos abocinados).

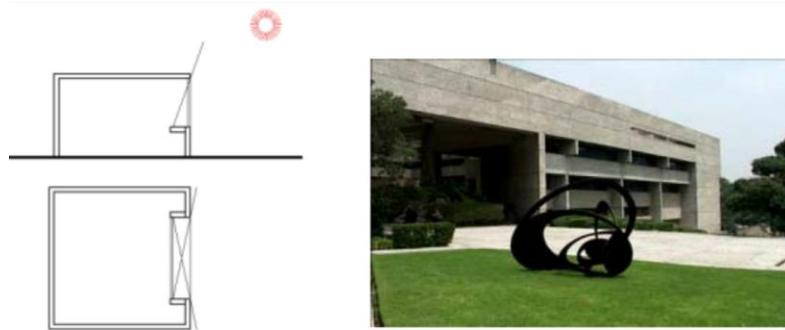


Figura 115. Esquema de Remetimiento de Ventanas - El Colegio de México, Teodoro González de León

Fuente: Fuentes, 2015.

Cambio de orientación de ventanas:

En ocasiones cuando la orientación de la fachada es inadecuada es conveniente cambiar la orientación de las ventanas.



Figura 116. Esquema de Cambio de orientación de ventanas y ejemplificación - Museo Whitney, Nueva York, Marcel Breuer

Fuente: Fuentes, 2015.

Contraventanas:

Contraventanas ciegas, tipo persiana o celosía. Pueden ser de hoja completa o seccionada y también pueden ser exteriores o interiores.

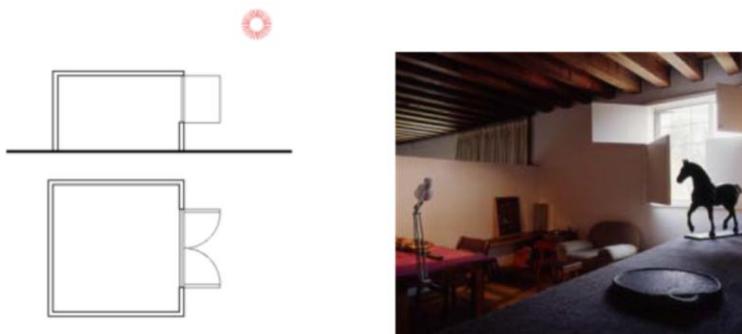


Figura 117. Esquema de Contraventanas y ejemplificación - Contraventanas en cuatro hojas. Luis Barragán

Fuente: Fuentes, 2015.

Nuevos acristalamientos:

En la actualidad se cuenta con nuevos acristalamientos de control solar y de alta eficiencia térmica que pueden ser utilizados, por ejemplo, los acristalamientos de micro persianas MicroSun Louvers, o acristalamientos con estructuras capilares tipo Heliorán o Kalipux, Kapipane o Solfas.

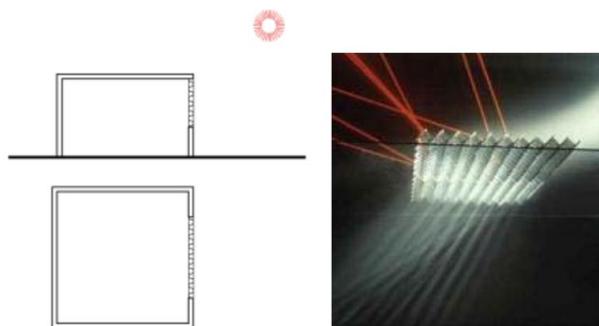


Figura 118. Esquema de Nuevos acristalamientos y ejemplificación - DLS-Micro Louvers.

SITECO prism systems

Fuente: Fuentes, 2015.

Cortinajes:

Las cortinas y persianas interiores tienen como función el control visual, lumínico y del asoleamiento, sin embargo, no hacen un buen control térmico puesto que la radiación solar atraviesa el acristalamiento sin disminuir el impacto térmico del espacio interior.

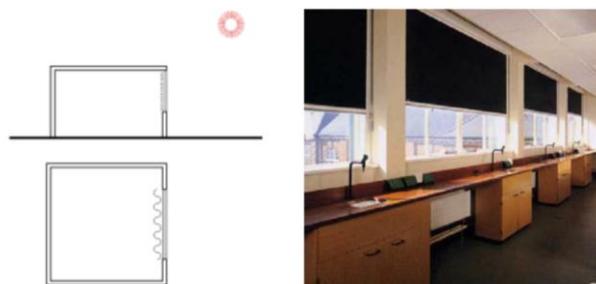


Figura 119. Esquema de Cortinajes y ejemplificación - Selly Park School, England

Fuente: Fuentes, 2015.

Vegetación:

La vegetación es un excelente elemento de control solar y térmico, ya que se trata de un elemento vivo que permite distintos grados de protección dependiendo de la densidad de follaje, el cual cambia a lo largo del año. Es necesario elegir cuidadosamente las especies caducifolias o perennifolias que se va a utilizar, así como el diámetro de copa y altura del árbol en etapa adulta.

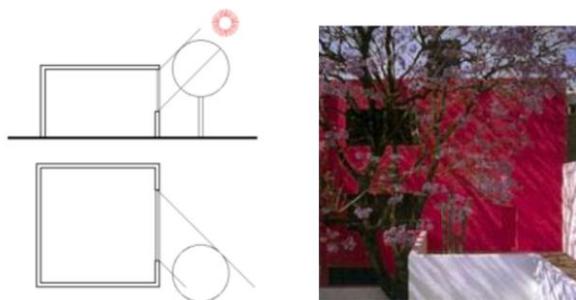


Figura 120. Esquema de Vegetación y ejemplificación - Casa Gilardi, México –Luis Barragán

Fuente: Fuentes, 2015.

Elementos combinados:

Generalmente los dispositivos de control solar se utilizan de manera combinada, es decir que se emplean varios tipos al mismo tiempo para que su acción de control individual se combine y produzca un efecto más eficiente.

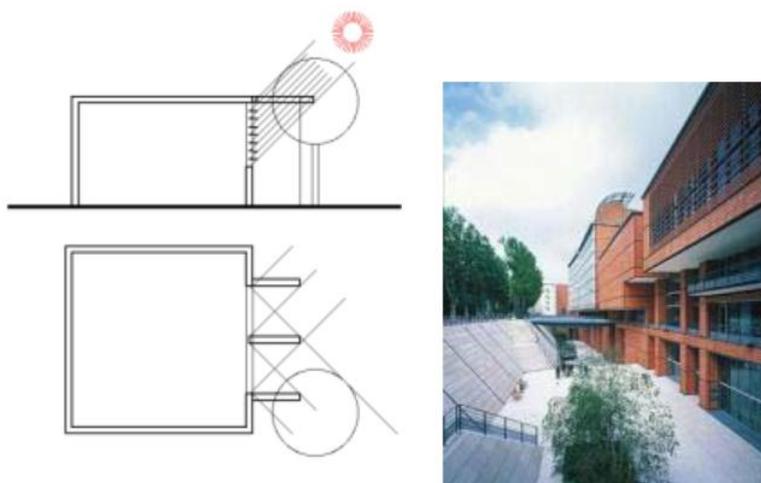


Figura 121. Esquema de Elementos combinados y ejemplificación - City Internationale, Lyon –Renzo Piano

Fuente: Fuentes, 2015.

De la agrupación de dispositivos de control solar se pueden describir básicamente tres conclusiones según el documento Dispositivos de Control Solar, curso en línea dictado por el profesor investigador Victor Fuentes Freixanet de la Universidad Nacional Autónoma de México:

La mayor eficiencia de los dispositivos horizontales como volados, aleros, repisas, persianas horizontales, etc. se logra cuando la orientación es SUR con un rango de 22.5° hacia el sureste y hacia el suroeste. Este rango puede ampliarse hasta 45° a ambos lados, sin embargo, en este caso será conveniente combinar el dispositivo con partesoles. Los volados también funcionan en la orientación norte cuando sean requeridos.

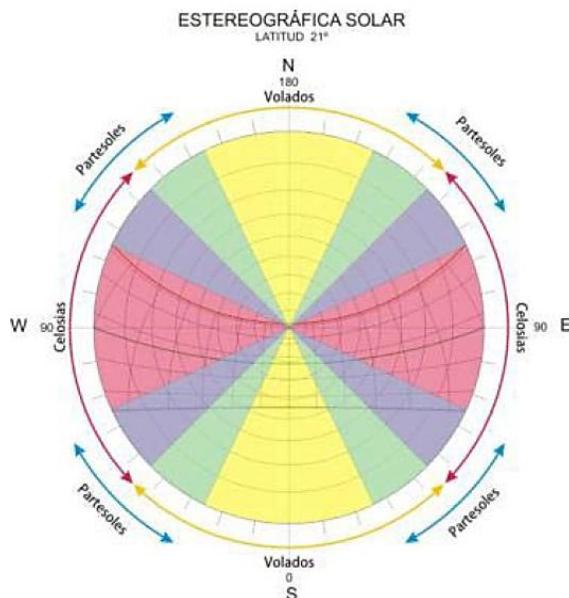


Figura 122. Efectividad de orientaciones para dispositivos de control solar

Fuente: Fuentes, 2015.

La eficiencia de los partesoles se da en las direcciones cardinales intermedias, es decir hacia el SURESTE y SUROESTE (noreste y noroeste). También con un rango de 22.5° hacia ambos lados. Mientras más estén orientados hacia el este y oeste, las tabletas de los partesoles deberán girarse con dirección hacia el sur.

Las celosías pueden utilizarse desde el rango sureste- noreste o suroeste-noroeste, sin embargo, su aplicación más adecuada es cuando están orientadas hacia el ESTE u OESTE. Las pantallas funcionan bien prácticamente en cualquier orientación, pero generalmente se utilizan en las mismas orientaciones descritas para las celosías.

4.3.5 Envoltente arquitectónica. Generalmente en definiciones arquitectónicas o de literatura técnica, la envoltente arquitectónica es sinónimo de piel, cáscara o membrana exterior que actúa como protección a un organismo vivo, tal como es estudiado en la biología, la cual

cumple la función de proteger, ocultar, mostrar o también regular temperaturas al organismo vivo con el fin de lograr un confort térmico o lumínico.

Así como en términos biológicos esta capa exterior puede ser compleja, en la arquitectura la envolvente puede llegar a involucrar parámetros y aspectos que van más allá de contener y proteger, como lo afirma Varini (2008) es “un sistema complejo, objeto de exploración y desarrollo que se ha enriquecido y afinado a punto de concentrar funciones pasivas y activas capaces de ser determinantes para el confort, el impacto ambiental y el consumo energético de una construcción” (p.14). El autor continúa explicando cómo la envolvente arquitectónica pasa a ser más compleja y alberga determinantes que generalmente no son tenidas en cuenta para un proyecto. Lo anterior se demuestra cuando la investigación se esfuerza en estudiar la envolvente y su relación con su entorno, la economía y factibilidad de su gestión, el bienestar de los usuarios y la imagen de la misma envolvente.

La connotación de la envolvente ha evolucionado y a los conceptos que se definen como “verdad constructiva” se han añadido nuevas propuestas de comunicación donde por medio de la tecnología y la industria del diseño se obtienen nuevas morfologías, expresiones en las fachadas de edificios que en algunos momentos rompen con los planos verticales para integrarse a techos y espacios urbanos.

En definitiva, el concepto de envolvente ha evolucionado y ha sido materia de estudio para comprender el trasfondo y el rol de esta. En su tesis de maestría *La Profundidad de la Envolvente*, Bustamante (2014) evidencia la transformación que tuvo la envolvente en Colombia de 1940 a 1970, su uso como instrumento de control y expresión de nuevas concepciones técnicas, formales y espaciales. Concluye con el papel de la envolvente en el proyecto moderno, razonando que va

más allá de permitir iluminar, ventilar y mirar; pues debido a su papel de espacio entre estructura y envolvente, esta lograría en ocasiones adquirir mayores dimensiones generando la incorporación de una nueva actividad, habitar la envolvente, no como un balcón donde es posible sentarse o en la piel que se convierte en mobiliario, sino como aquella experiencia que se percibe a través de la envolvente, cuando el usuario se permite transitar a través de ella y vivirla como un espacio o simplemente obtener sensaciones con la interacción de esta.

4.3.6 Diseño de la envolvente. En búsqueda de nuevas morfologías y de corresponder al proceso y evolución que se ha tornado con el concepto de envolvente, se encuentran los medios digitales como una herramienta que nos permita el diseño final y lograr un resultado que pueda ser controlado en su forma y a su vez funcione, que es uno de los objetivos principales de este proyecto, conseguir aportar al confort térmico al interior de la vivienda por medio de una envolvente arquitectónica. Para lo anterior se tendrá como base un modelo paramétrico que nos permita conocer factores determinantes que influyan en el diseño e identificar los parámetros variables que rijan las configuraciones de la envolvente.

Cabe aclarar que la exploración morfológica es también determinada por la primera etapa de investigación del presente documento, teniendo en cuenta la clasificación y las múltiples formas de conciliar una edificación con la guadua como principal material de construcción y así mismo, la consideración de materiales distintos a la guadua dependiendo de los tipos de uniones que se implementen.

4.3.6.1 Factores determinantes de la envolvente. Para el desarrollo de la envolvente es necesario consolidar los factores determinantes que influyen en el resultado y así mismo son los pilares que garantizan una propuesta integral a la edificación. Desde la función, la tecnología y

factores medioambientales, serán parte de los requerimientos del sistema. La Revista Envolvente (2011) los describe de la siguiente manera:

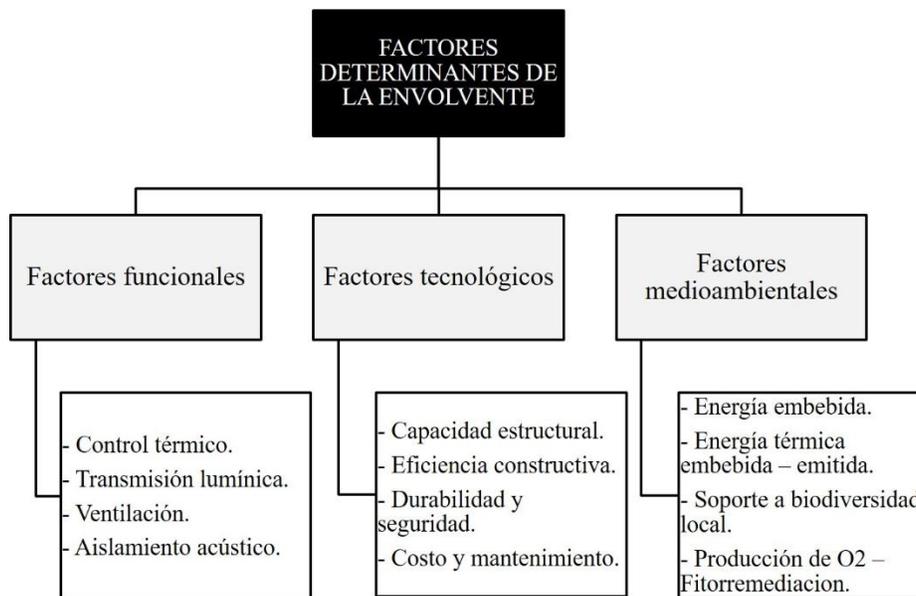


Figura 123. Factores determinantes de la envolvente

Fuente: Revista de Arquitectura, 2011.

Factores funcionales:

Los factores funcionales están relacionados con la manera en que la envolvente arquitectónica se desempeña como barrera de protección y proveedora de zonas de confort humano en su interior. Estos factores definen el grado de confort que el sistema envolvente determina sobre los espacios que cubre. Hemos determinado cuatro requerimientos como factores principales:

Control térmico. La envolvente arquitectónica juega un papel importante como filtro regulador de las condiciones de temperatura del espacio interno. El control térmico, sin embargo,

es resultado de la conjunción de múltiples subfactores, incluyendo la inercia térmica de los materiales y su configuración, su volumen de masa, grado de permeabilidad lumínica y de aire, insolación de la superficie, definiendo efectos de convección y radiación en un momento y contexto específico.

Transmisión lumínica. Teniendo en cuenta que el diseño de eco- envolventes pretende disminuir al máximo los requisitos de energía para su funcionamiento, el aprovechamiento de la iluminación natural es de gran importancia. El nivel de iluminación requerido al interior del espacio depende de las actividades que se deban realizar en él; este oscila entre los 300 y 1000 luxes.

Ventilación. Además de ser un subfactor en el control térmico, un espacio funcional requiere cambio constante del volumen de aire contenido para ser habitable, normalmente alrededor de un cambio total de volumen por cada hora, equivalente a unos 50 metros cúbicos de aire por persona por hora.

Aislamiento acústico. Como filtro selectivo de las condiciones externas, la envolvente debe procurar también el control de ondas sonoras al interior del edificio, normalmente son admisibles niveles de hasta 50 db, la configuración física de la solución determinante directa de este desempeño.

Factores tecnológicos:

Estos factores tienen que ver con los medios y las tecnologías empleados para materializar la propuesta de diseño de la envolvente, es decir, de qué y cómo está hecha.

Capacidad estructural. Probablemente, uno de los requerimientos fundamentales de la

construcción envolvente radica en su necesidad de mantenerse estable resistiendo fuerzas externas y de uso. En este caso, entenderemos el sistema en términos de su eficiencia como medio de transmisión de cargas

Eficiencia constructiva. Otro requerimiento de la envolvente, particularmente cuando se trata de un sistema que pretenda ser reproducible de manera industrial, radica en el tiempo y los recursos necesarios para su montaje en sitio.

Durabilidad y seguridad. Además de su estabilidad estructural ante cargas externas, una construcción debe tener la posibilidad de resistir una gran variedad de fenómenos físicos y químicos externos que pueden llegar a deteriorarla y poner en peligro la seguridad de los habitantes en el espacio interno. Particularmente, la configuración puede ser evaluada en términos de su resistencia al fuego y fenómenos ambientales comunes (weathering).

Costo y mantenimiento. La inversión económica requerida para la construcción y el mantenimiento del sistema envolvente es factor condicionante para el uso de unas u otras tecnologías. Una valoración de esta inversión permite comparar diferentes soluciones y verificar su viabilidad.

Factores medioambientales:

Estos factores son los relativos al medio físico global dentro del cual se localiza la posible envolvente arquitectónica, incluyendo aspectos energéticos y de biodiversidad (especies vegetales nativas o apropiadas).

Energía embebida. El primer factor propuesto como determinante de comportamiento medioambiental de la envolvente es la cantidad de energía requerida para su construcción

entendiéndola de manera total para los materiales, productos y procesos llevados a cabo dentro de los ciclos de vida de cada elemento que la compone.

Energía térmica absorbida – emitida. La manera y el grado en que la superficie envolvente refleja o absorbe la energía proveniente de la radiación solar resultan en la energía que esta transmite al medio local, modificando su funcionamiento, y llegando a causar fenómenos como el de la isla de calor.

Soporte a biodiversidad local. Previendo la inclusión de material vegetal o de soporte animal dentro de la configuración física del sistema envolvente, este factor califica la inclusión de ese material de acuerdo con su pertinencia y efectividad para soportar el sistema bio-diverso donde se sitúa.

Producción de O₂ – Fitorremediación. De la misma manera que el anterior, este factor califica el comportamiento del material vegetal incluido en el sistema envolvente, pero en este caso en términos de los beneficios directos que las estructuras vegetales puedan llegar a tener con respecto a la calidad del volumen de aire contiguo para uso humano.

4.3.7 Formulación e implementación de la estructura paramétrica. Cuando hablamos de una estructura paramétrica “nos referimos a una organización interrelacional, donde las partes están conectadas dentro de un sistema coordinado, implicando de esa manera la posibilidad de variar partes y recrear de manera automática nuevas configuraciones” (Woodbury, 2010, p. 11). Existe un sistema coordinado que se ha venido definiendo en cuanto a la función que abarcará la envolvente en la edificación (básicamente como control del sol y su aporte al confort térmico), la tecnología por medio de la materia prima y sus posibilidades constructivas, y también, el estudio del contexto y el aporte significativo al medio ambiente por medio del resultado final.

A continuación, se describen y desarrollan las partes de lo que será el modelo de la envolvente paramétrica, esto nos dará rangos que pueden cambiar dentro del sistema. A estas partes se les puede denominar parámetros de diseño, los cuales actúan en forma de configuraciones que de una manera general implican tipologías configurativas particulares (campos de variación), donde definiciones internas (variables) pueden llegar a tener valores diferenciales de rangos especificados (valores).

Es preciso mencionar que el sistema paramétrico está dado por el estudio de las estrategias bioclimáticas recomendadas en la carta psicrométrica, siendo la “protección solar de ventanas” con uno de los mayores aportes al confort si es aplicada a la edificación. La exploración de dispositivos de control solar despliega diferentes posibilidades, de las cuales se toman algunas como la persiana, pantalla y especialmente la celosía como base en la estrategia de diseño pasivo.

4.3.7.1 Parámetros de diseño. En continuación de la referencia tomada del modelo paramétrico para el desarrollo de una eco-envolvente descrita por La Revista Envolvente (2011), se describen cinco principales grupos, morfología y escala, mallado estructural, sección estructural, tipología de cerramiento y grado de permeabilidad, de los cuales se condicionan al material principal de construcción para el presente proyecto, la guadua. Según revisiones bibliográficas se ha identificado que el principal parámetro para el diseño de la envolvente es el material que se emplea para la solución, por esta razón, el uso de la guadua y la revisión bibliográfica realizada en la primera etapa del presente proyecto son determinantes en la consolidación del resultado.

A continuación, se muestran las variables del diseño controladas por medio de fórmulas ejecutadas en los software Rhino y Grasshopper:

Morfología y escala. El resultado final de la envolvente presenta un lenguaje modular, por tal razón se busca la manera de que se adapte a cualquier superficie o área que se encuentre en la edificación por medio de parámetros de diseño, incluyendo los rectángulos irregulares de la parte superior coloquialmente denominados cuchillas en las viviendas de interés social. La escala corresponderá también a las dimensiones que la vivienda tradicional presente, tanto la altura como el ancho de cada pórtico.

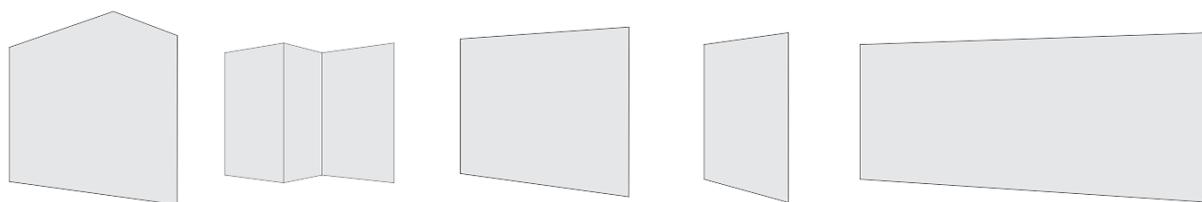


Figura 124. Morfología y escala de la envolvente

El presente proyecto está comprometido a superficies planas con variaciones en su mismo plano de trabajo, correspondiendo a las formas que la vivienda de interés social presenta en Colombia. No obstante, se mostrará posteriormente la posibilidad de aplicación en formas orgánicas como alcance de diseño.

Mallado estructural. La configuración de la malla y su morfología es indispensable debido a que tiene repercusiones estructurales en la envolvente cumpliendo la función de contener el cerramiento de la edificación.

El mallado es definido por “cuadrículas” aplicadas desde el software, decidiendo así la tipología estructural y albergando múltiples posibilidades de acuerdo a las alternativas constructivas que brinde la guadua como material de construcción. De acuerdo a la tipología de cuadrícula será el tipo de unión, por lo tanto, la revisión bibliográfica acerca de la construcción

en guadua será indispensable para el diseño final.

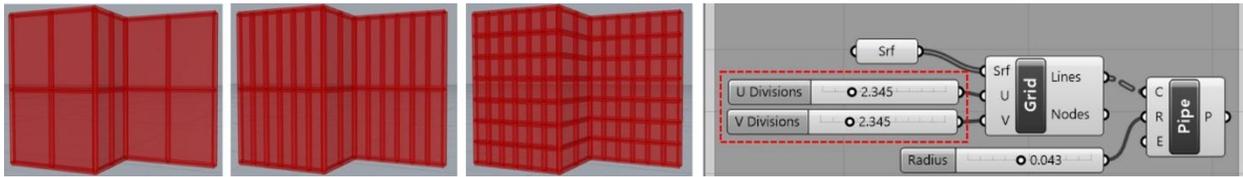


Figura 125. Variaciones de rejilla cuadrada

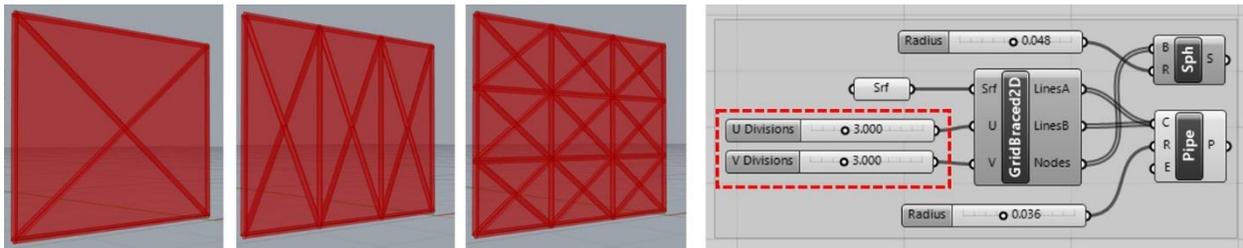


Figura 126. Variaciones de rejilla reforzada

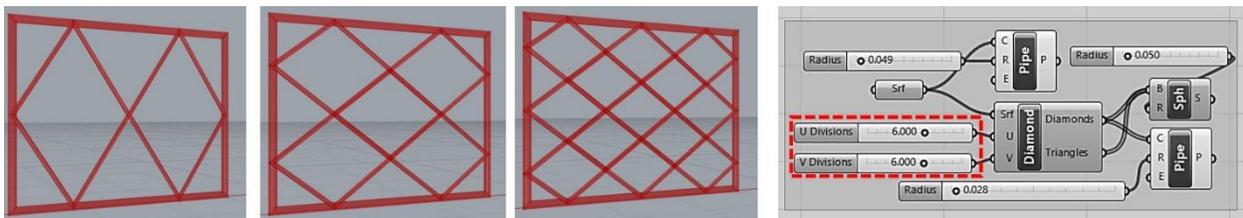


Figura 127. Variaciones de rejilla en diamante

Sección estructural. La sección estructural se refiere al ancho o radio del mallado, en este caso los valores de parametrización corresponden a lo documentado de los diámetros de la guadua, siendo 0.08m el mínimo promedio y 0.17m como promedio máximo.

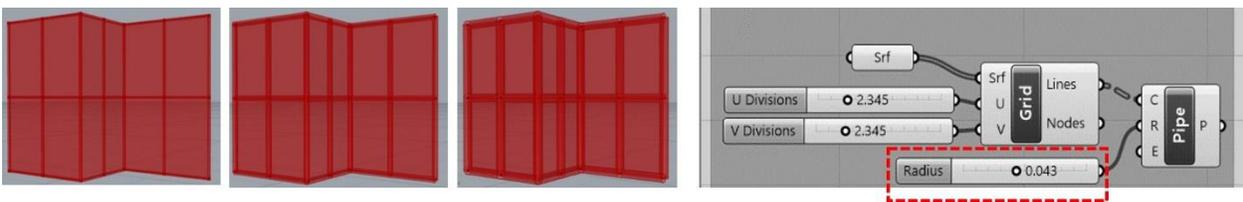


Figura 128. Variación del radio en rejilla cuadrada

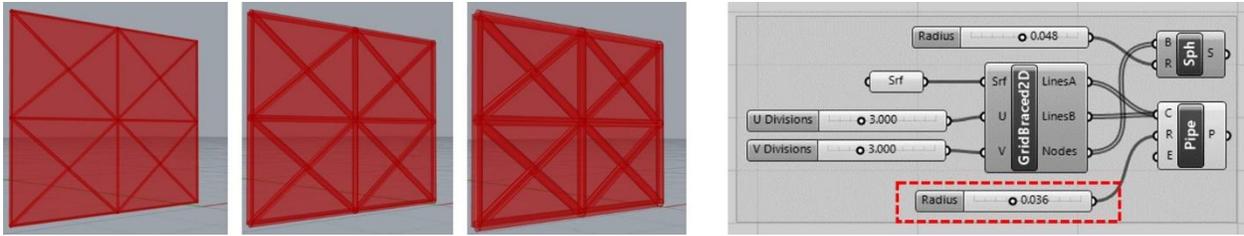


Figura 129. Variación del radio en rejilla reforzada

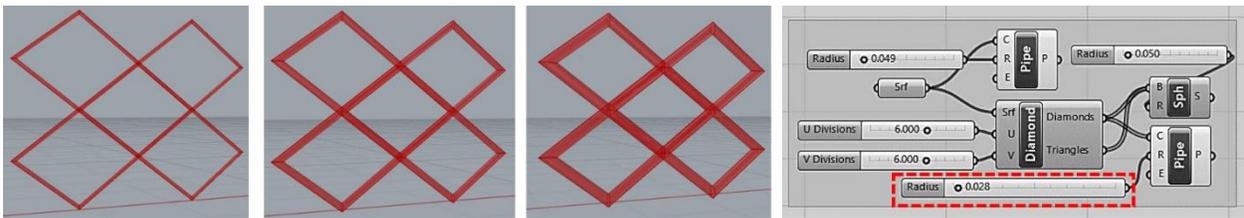


Figura 130. Variación del radio en rejilla diamante

Tipología de cerramiento. Con relación a la tipología de cerramientos, se definieron patrones que simulen los tejidos y paneles que la guadua puede brindar como posibilidad constructiva. Las fórmulas descritas a continuación demuestran una realidad virtual desligada de lo analógico, llevando lo tangible a lo digital para ampliar las alternativas en el diseño final de la envolvente y encontrar la mejor ruta como respuesta de cerramiento en la edificación.

A continuación, se muestran las fórmulas que definen cada patrón o tipología de cerramiento con posibilidades de aplicación en el diseño final:

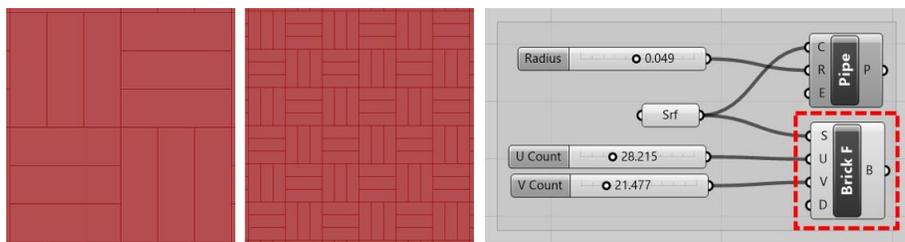


Figura 131. Tipología de cerramiento en forma de panel

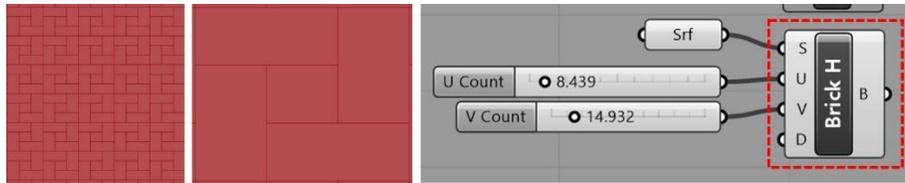


Figura 132. Tipología de cerramiento en forma de panel o tejido

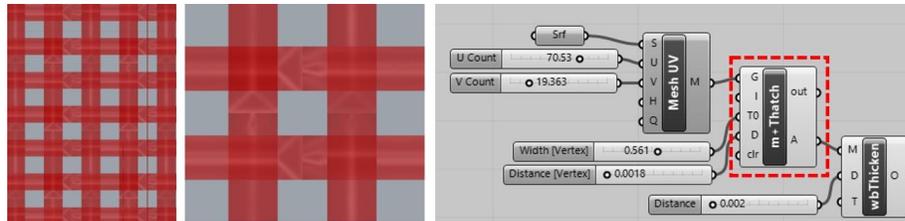


Figura 133. Patrón de tejido cuadrado

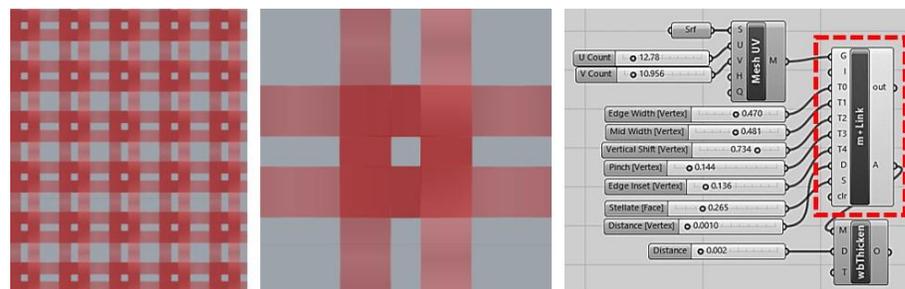


Figura 134. Variante patrón de tejido cuadrado. Fuente: Elaboración propia

Grado de permeabilidad. Los parámetros del grado de permeabilidad están altamente comprometidos con la relación que la envolvente tiene con el exterior, las variables de la fórmula contienen valores que definen un porcentaje de apertura para el tejido, según sea el valor el patrón se abrirá o cerrará al exterior, actuando de esta forma como un elemento de control térmico frente a las inclemencias solares en la fachada y a su vez, como un elemento de control visual proporcionando privacidad al interior de la edificación.

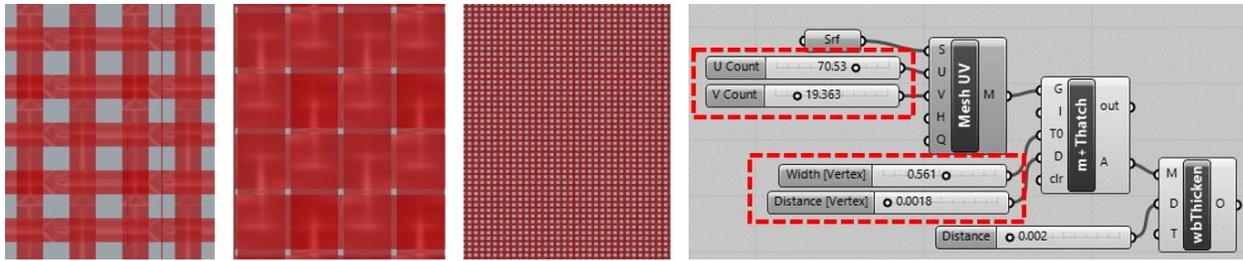


Figura 135. Grado de permeabilidad - patrón de tejido cuadrado

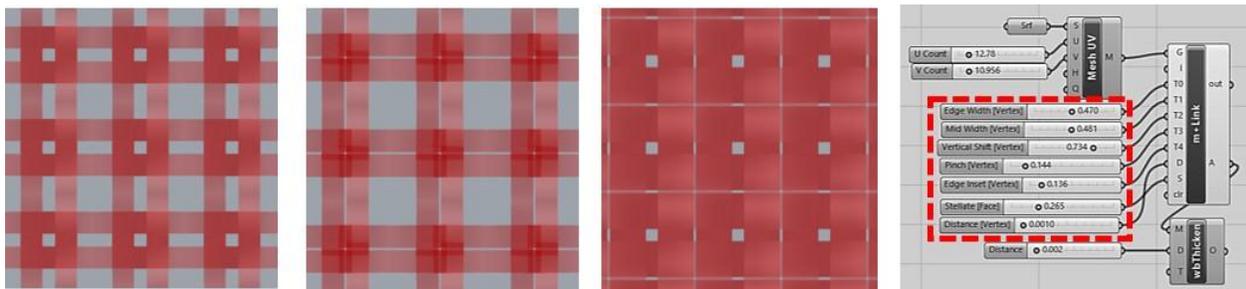
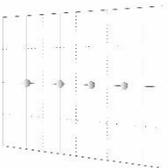
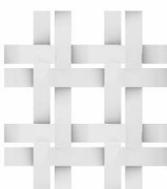
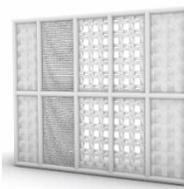
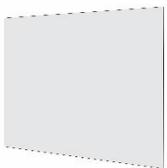
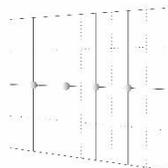
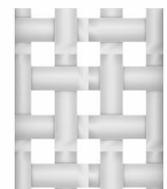
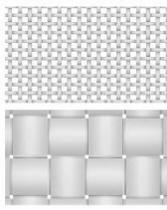
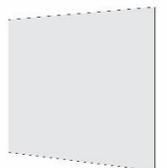
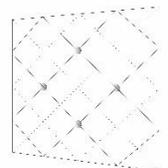
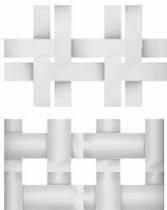
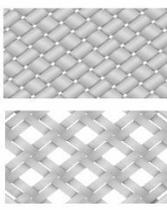
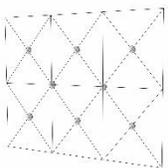
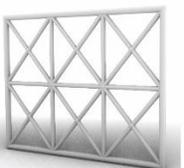
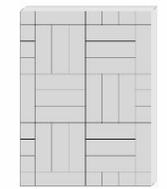
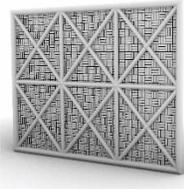
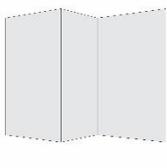
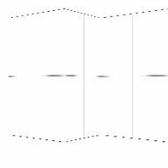
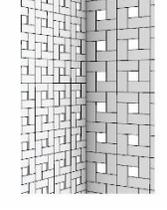
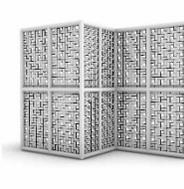


Figura 136. Grado de permeabilidad - variante patrón de tejido cuadrado

El grado de permeabilidad es dispuesto básicamente por la anchura que los elementos del tejido tengan, por lo tanto, es necesario tener en cuenta que la anchura estará condicionada por las fibras que sean obtenidas de las latas de guadua, las que a su vez estarán condicionadas también por los espesores y anchos de las paredes del culmo. De lo anterior se puede concluir la importancia del diseño digital como herramienta de predicción en el diseño, no sólo como un resultado estético y ambiental sino como un componente de control en la construcción con énfasis al aprovechamiento del material y disminución de desperdicios.

Seguidamente, es mostrada una matriz que organiza y reúne las posibilidades de diseño anteriormente descritas, combinando entre ellas algunas formas de concebir la envolvente y resolver el diseño final.

Tabla 22. Matriz parámetros generales de diseño

PATRONES GENERALES					
Morfología & escala	Mallado estructural	Sección estructural	Tipología de cerramiento	Grado de permeabilidad	Definición
					
					
					
					
					

Como evidencia de las posibilidades de aplicación en otras edificaciones con formas orgánicas se muestra el desarrollo de las mismas fórmulas y parámetros en diferentes superficies.

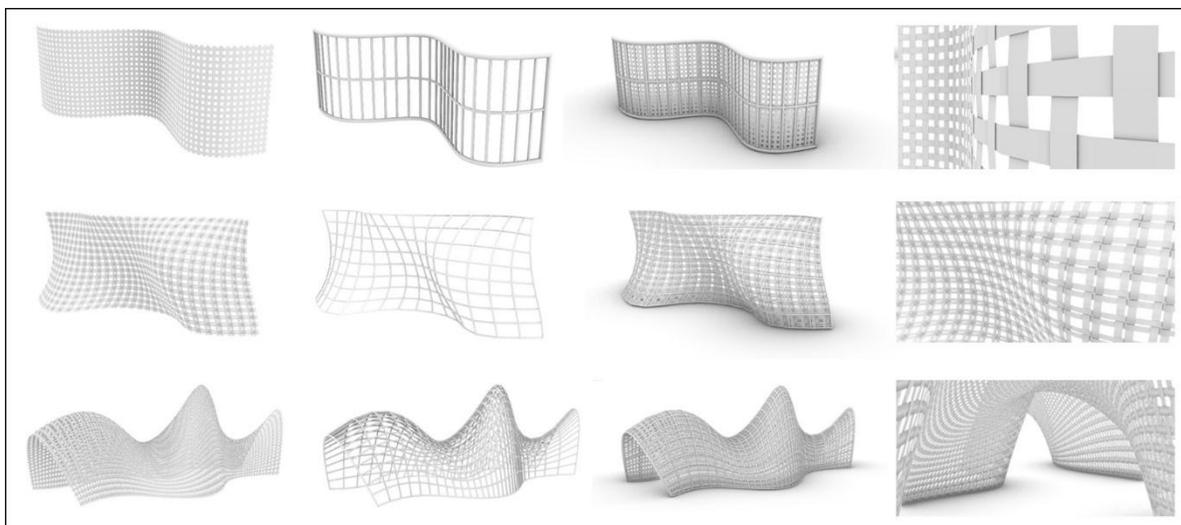


Figura 137. Aplicación de las fórmulas en superficies orgánicas

Finalmente, para el diseño final y la conformación de cada módulo se realiza un proceso constructivo con indicaciones técnicas a nivel de detalle estructural. El proceso de la mano de obra o artesanía de los paneles es respaldado por la bibliografía redactada en el presente documento acerca de las posibilidades constructivas de la guadua y el anexo “Manual para elaboración de envolvente” desarrollado por el autor.

El diseño se define con la aplicación de los patrones de tejido cuadrado y una formulación de estructura pensada en la facilidad constructiva y sobre todo funcional como contención o sostén de la piel.



Figura 138. Definición de estructura

Como se comprendió anteriormente, la fórmula de estructura permite variar el número de secciones longitudinales o transversales de la malla y las dimensiones radiales de la guadua, las cuales para este caso se tomó como referencia 0.050m de radio y un total de 6 secciones transversales para reducir las distancias entre culmo y culmo. La separación de los culmos corresponde a 0.4m mínimo con el fin de lograr contener el tejido de envolvente lo suficientemente templado y anclado.

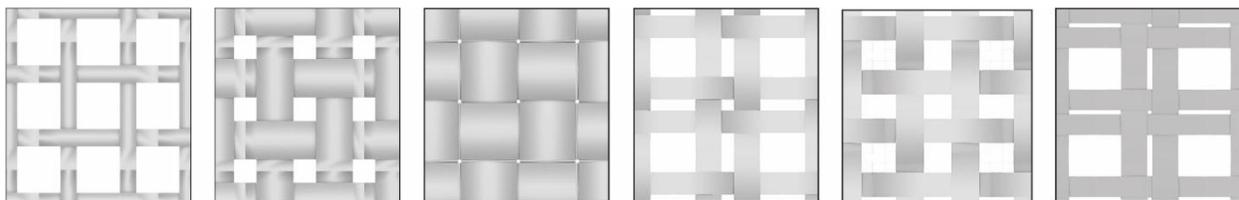


Figura 139. Definición patrones de tejido cuadrado

Se determinó el patrón de tejido cuadrado con dos variables de diseño o artesanía, la primera más compacta y cerrada, y la segunda más permeable y abierta según requiera el recinto. Los valores de la fórmula se adaptan también a los anchos de las tiras extraídas de las latas de guadua.

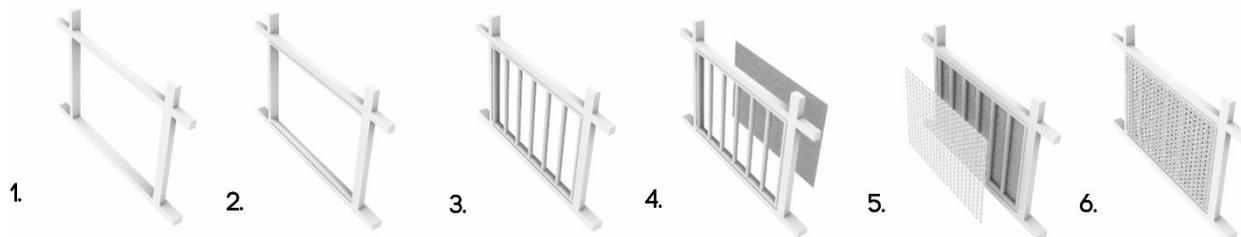


Figura 140. Proceso constructivo para la conformación del módulo

Las viviendas VIS presentan un sistema estructural aporticado convencional, conformado por zapatas, vigas y columnas unidas a través de nudos formando pórticos resistentes. El armazón estructural interno de este sistema permite involucrar la estructura en guadua que contendrá el tejido como envolvente.

Los culmos longitudinales son sujetos a la estructura convencional por medio de anclajes salientes del armazón interno, esto con el fin de posteriormente recibir los culmos transversales en corte boca de pescado. El sistema de anclaje con varilla roscada entre la estructura de guadua y la estructura convencional se aplica para las columnas, vigas de cimentación y vigas de amarre, las cuales al sujetar los culmos conforman un marco rígido que contendrá los culmos transversales y el tejido de envolvente.

Los culmos en boca de pescado de la parte superior son encajados a la estructura por medio de estacas de bambú, mientras que las boca de pescado en la parte inferior son sujetas por varillas tensadas para brindar una mayor estabilidad a la estructura.

Se estableció una doble capa de piel para los módulos, obteniendo una cámara de aire para el cerramiento y contrarrestar las inclemencias del clima, además de mostrar un carácter más cerrado al interior de la vivienda y otro más abierto en la fachada. Las pieles son clavadas y tensada a los culmos por medio de clavos.

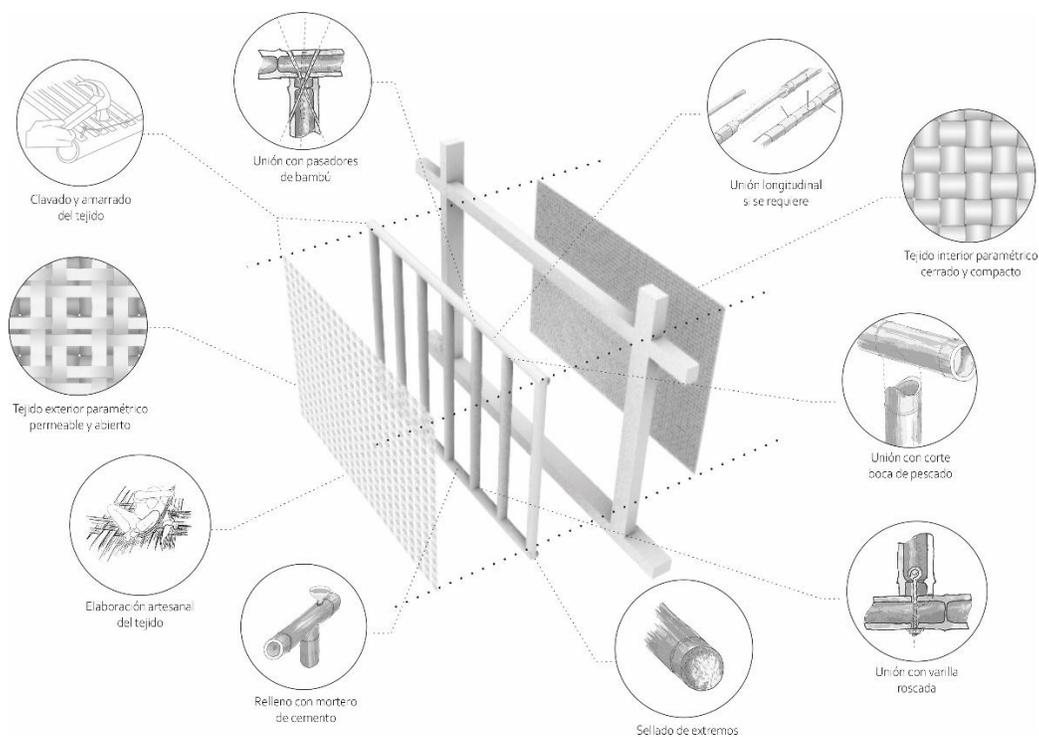


Figura 141. Despiece y requerimiento constructivo del panel

La envolvente actúa con un lenguaje modular adaptable a cambios geométricos de la edificación, respondiendo a factores determinantes como su función de proteger y responder al recinto que envuelve, el factor tecnológico intrínseco en el diseño y parametrización de esta por medio de software, y factores medioambientales como respuesta honesta frente a las condiciones climatológicas de la ciudad.

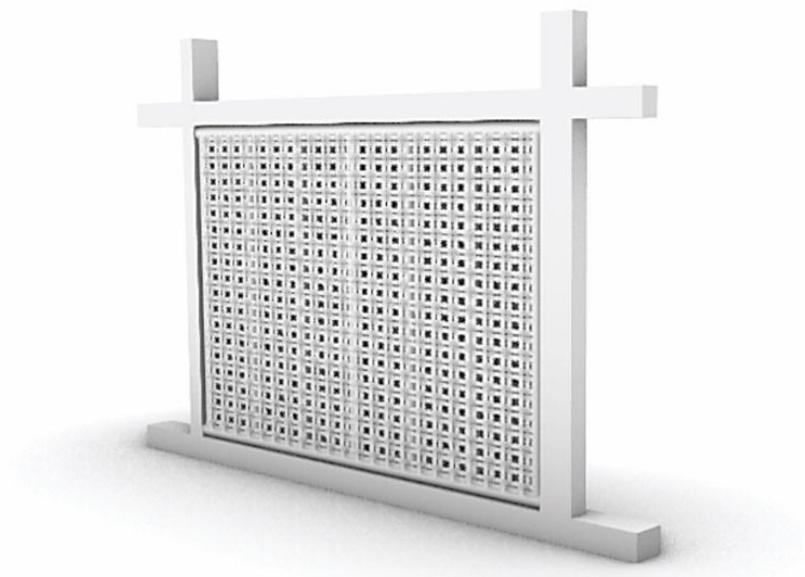


Figura 142. Módulo de envolvente

A continuación, se muestran los detalles y especificaciones estructurales del módulo:

La estructura en guadua se adosa a la estructura convencional por medio de varillas roscadas, estas se anclan al armazón de la columna y sobresalen para pasar a través del culmo y finalmente ser sujeto por la presión ejercida con la tuerca. Con el fin de que el culmo no sea aplastado por la presión de la tuerca en las uniones es necesario la aplicación del mortero de cemento en cada nudo que involucre la penetración de la varilla, la mezcla del mortero debe estar a 1:3 o 1:4 y las varillas roscadas cumplirán una medida correspondiente a 3/8" o 1/2".

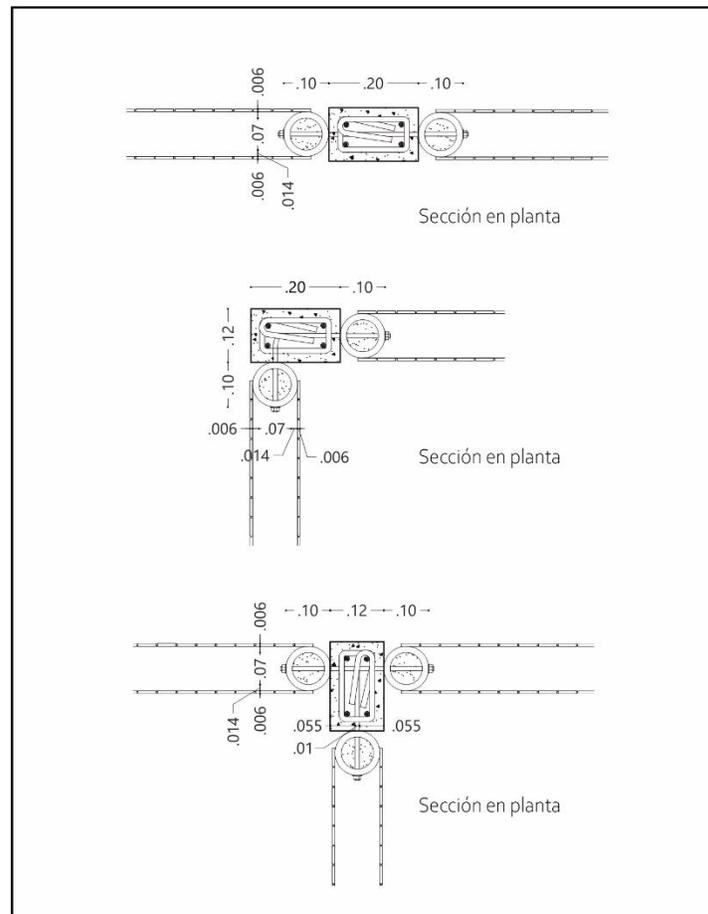


Figura 143. Sistema de anclaje entre armazón de columna y guadua

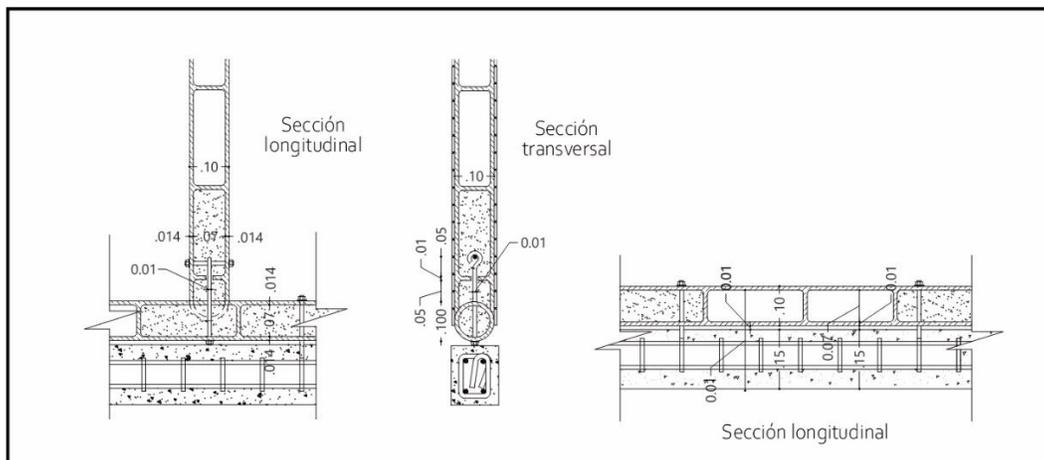


Figura 144. Unión inferior con pernotensor y sistema de anclaje entre viga de cimentación y la guadua

En las uniones inferiores existe una dilatación proporcionada por la altura de la tuerca, lo cual brinda el beneficio de aislar el culmo del contacto directo con la superficie, pues aun cuando los culmos han sido preservados y aplicado lacas de protección el mantenimiento se prolongará por más tiempo si se evita el contacto directo con el suelo.

Las uniones con pasadores en la parte superior del módulo han sido establecidas por practicidad de la mano de obra, ya que por espacio de trabajo la estructura convencional genera una limitación para otro tipo de unión entre guaduas como lo es el pernotensor. Los pasadores deben ser introducidos o golpeados de abajo hacia arriba con el fin de alcanzar la última pared del culmo transversal, la acción se hará con precaución de no afectar la estructura convencional.

Se recomienda que el diámetro de los pasadores sea de 1/2" hasta 5/8" con el fin de aumentar firmeza a la unión, además es de importante consideración al momento de clavar los pasadores no romper los que ya anteriormente se han fijado a los culmos.

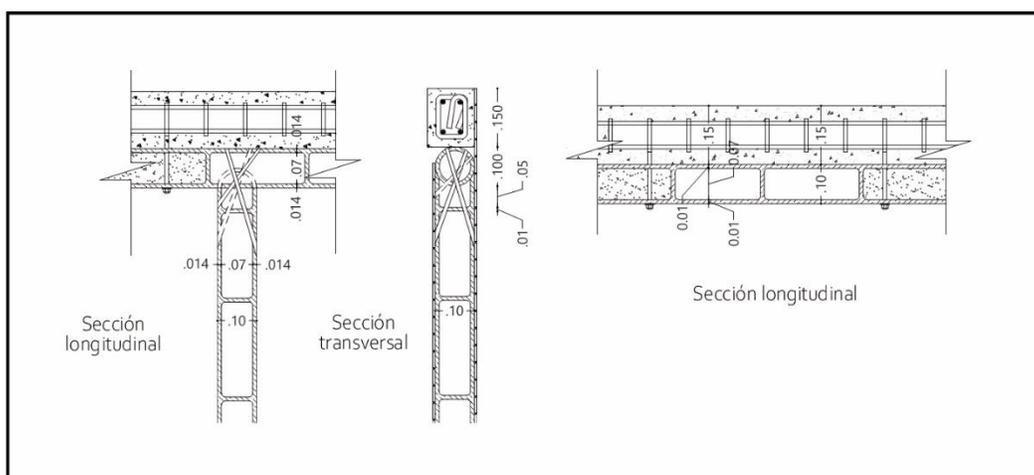


Figura 145. Unión superior con pasadores entre culmos y Sistema de anclaje entre viga de amarre y la guadua

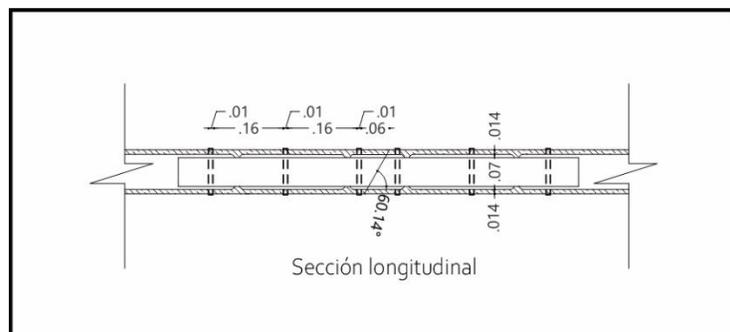


Figura 146. Unión longitudinal

Conforme a la unión longitudinal, los pasadores deberán estar totalmente secos y no se utilizarán pasadores que presenten rajaduras. El diámetro del pasador deberá ser por lo menos 1 mm mayor que diámetro del orificio hecho por la broca del taladro. Para introducirlos se usará martillo de madera. Cabe mencionar que las uniones longitudinales se harán solo en el caso de que se quiera abarcar un área lo suficientemente larga y los culmos no sean lo suficientemente largos para cubrirla, no obstante, debido a las dimensiones de la vivienda de interés social en Colombia será aplicado en pocas ocasiones.

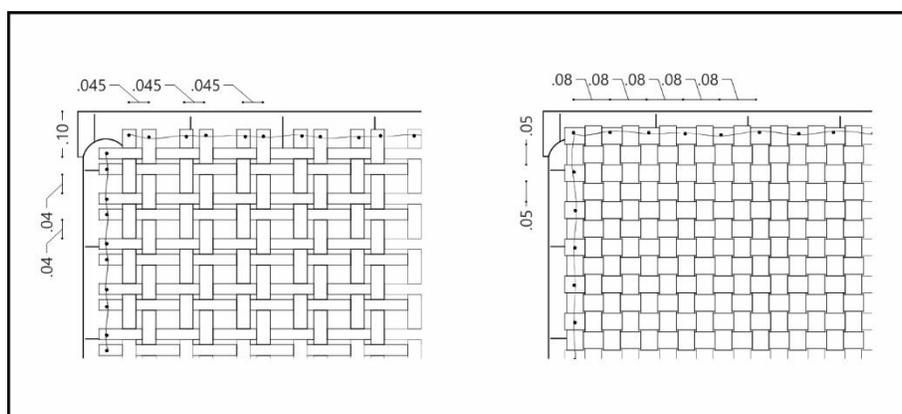


Figura 147. Fijación del patrón de tejido a estructura en guadua

Tanto la capa exterior de tejido como la interior son clavadas a los culmos de guadua por medio de puntillas y se refuerza con alambre galvanizado para tener más presión sobre el culmo y

evitar que se desprenda. La estructura en guadua es fundamental para la aplicación del tejido como envolvente, la distancia mínima de 0.04m entre culmo y culmo se realiza con el fin de estabilizar y disminuir grandes luces de distancia y obtener un tejido más tenso y compacto.

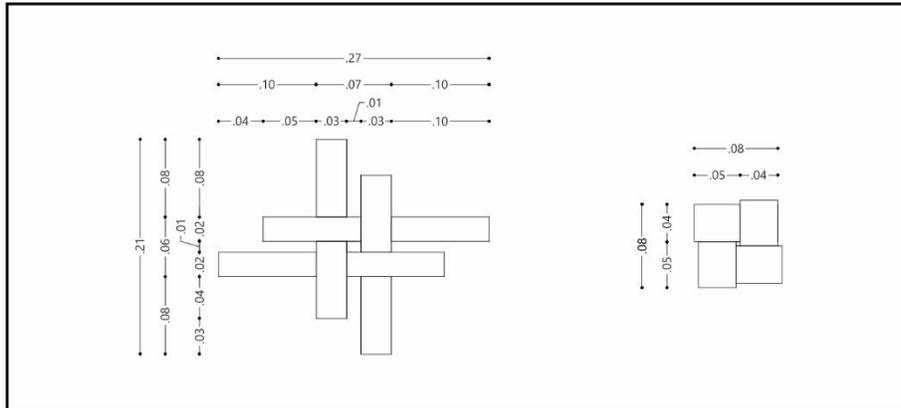


Figura 148. Patrón 1 y patrón 2 de tejido

Si existen medios digitales en este proyecto no es solamente para encontrar una morfología estéticamente aceptable, es con el fin de lograr resultados cualitativos que aporten a las determinantes sostenibles, pues la belleza y el arte son sólo un medio para concebir la arquitectura. El control de la forma permite también el control de componentes como la materialidad y afectación que las inclemencias del clima tienen sobre la edificación, es por esto que se busca un resultado positivo que posteriormente en el presente proyecto de investigación se analiza cuantitativamente.

Dentro de las intenciones que se intentan lograr con el diseño final, es tener un menor impacto sobre el planeta, potenciar la calidad de vida hacia estados cada vez más humanos, donde nos podamos realizar, construir como cultura, identidad y ciudad.

4.4 Simulación Energética en Edificios

La simulación de energía consiste en modelar el comportamiento energético de un edificio según sus características físicas (materiales, distribución, zonas, etc.) y los sistemas que lo conforman, mediante programas de computadora. Este método permite evaluar la interacción y el impacto de los diferentes elementos que se encuentran en una edificación como iluminación del espacio, cargas térmicas, uso, entre otros. Mediante esta metodología, se busca someter el modelo digital a un ambiente controlado específico, escogiendo unas condiciones y sitio de estudio específico; esto con el propósito de generar conclusiones como base en los resultados que obtenga de dicho proceso.

La simulación energética es necesaria en:

Proyecto constructivo: Actualmente, cualquier proyecto constructivo de un edificio debe incluir una Certificación Energética, basada en una simulación previa a su ejecución, realizada con alguno de los programas oficialmente reconocidos. Cada vez es mayor el número de administraciones públicas y promotores privados que ponen como requisito para sus proyectos una calificación energética determinada, por ejemplo, clase B para todos los edificios públicos.

Rehabilitación: La rehabilitación de un edificio con objeto de mejorar su eficiencia energética es un caso característico en el que es interesante una simulación, para prever el comportamiento energético obtenido con las medidas de mejoras que queremos incorporar.

Obtención de sello de certificación ambiental: Muchos de los sellos y programas de certificación ambiental de edificios requieren datos obtenidos en una simulación previa, como energía/consumo final o emisiones de CO₂. Una parte muy importante de la puntuación que

otorgan estos sellos de certificación ambiental depende del comportamiento energético del edificio.

Auditoría Energética: En una auditoría energética se analiza el comportamiento energético real de un edificio, y el coste asociado. El objetivo suele ser la reducción del consumo, tanto a nivel energético como a nivel económico. Algunas propuestas de mejora se suelen basar en predicciones de comportamiento del edificio con la variación de las condiciones aportadas por dichas mejoras, que sólo son posibles si contamos con una buena simulación energética que nos permita decidir la conveniencia o no de llevar a cabo la medida.

4.4.1 Estado normativo de la evaluación energética de edificios. Las normativas medioambientales en otros países son más exigentes cada día y se ha tornado paulatinamente un tema más legal que de interés particular de propietarios o fundamentalistas en temas ambientales.

A continuación, se presenta el estado actual normativo y de certificación energética en otros países según Gavilán (2015):

La normativa o códigos técnicos de la energía en edificación son los instrumentos usados por los gobiernos para reducir el consumo energético de los edificios. Estos códigos consisten en un conjunto de requisitos mínimos de eficiencia energética obligatorio destinado a regular el uso de energía en los edificios. Abarcan tanto a edificios nuevos como edificios existentes sometidos a renovación o alteración. Los arquitectos e ingenieros utilizan los requerimientos energéticos funcionales establecidos en los códigos de construcción en sus aspectos relacionados con energía para diseñar edificios que cumplen con los estándares requeridos.

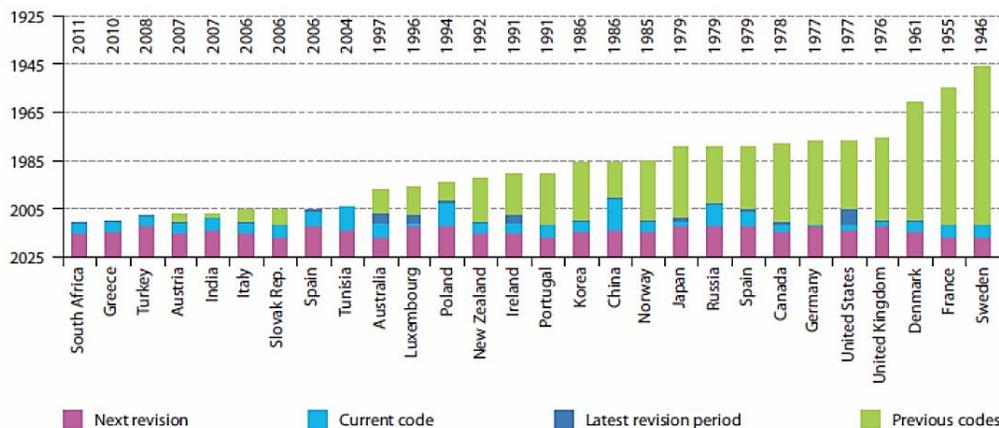


Figura 149. Progreso en la implementación de códigos energéticos en la construcción en países de la IEA, BRICS y Túnez

Fuente: Gavilán, 2015.

El avance de los estudios climatológicos en edificaciones ha avanzado en materia de alcances, principalmente se introdujo en edificaciones de uso residencial generalmente nuevas, seguido a esto toda la construcción de cualquier uso se vio involucrada como materia de estudio. Para el presente no sólo son estudiadas las edificaciones nuevas y de cualquier uso, son también son estudiadas las edificaciones sometidas a remodelaciones o renovación, esto con el fin de garantizar un mejor funcionamiento energético en cualquier acción constructiva y esta sea debidamente planificada para lograrlo.

A continuación, se muestran en las figuras cómo las normativas son aplicadas de forma obligatoria, voluntaria o ambas (mixtas), sin embargo, la forma más eficaz de conseguir la aplicación de los códigos energéticos es de forma obligatoria en los proyectos.

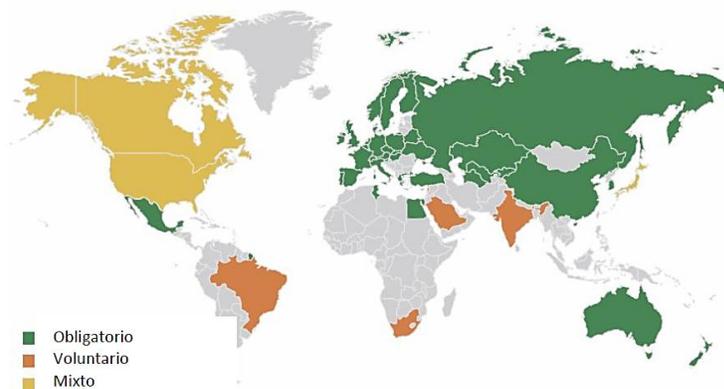


Figura 150. Uso mundial de códigos energéticos de edificación en nuevos edificios residenciales

Fuente: Gavilán, 2015.

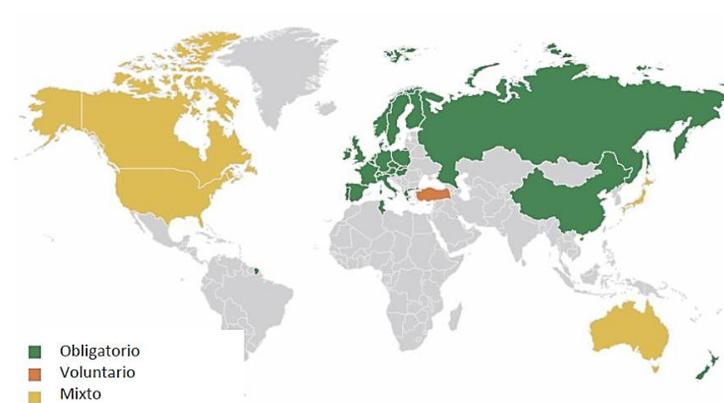


Figura 151. Uso mundial de códigos energéticos de edificación en edificios existentes residenciales

Fuente: Gavilán, 2015.

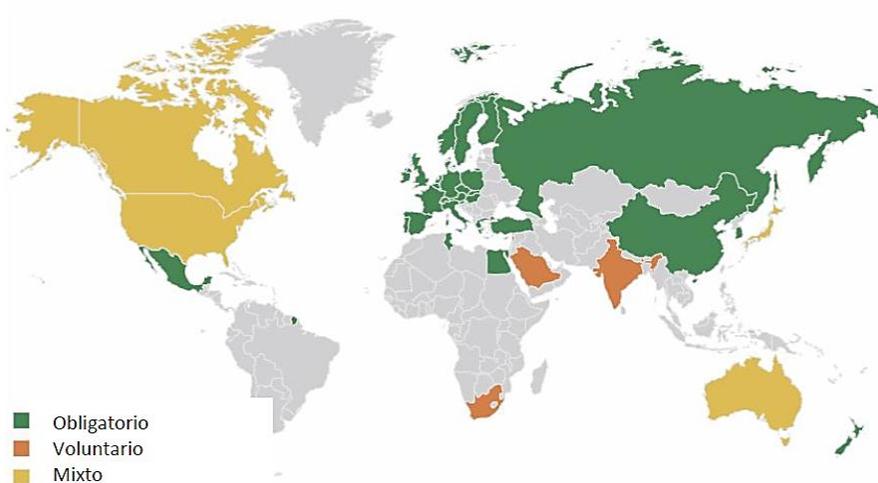


Figura 152. Uso mundial de códigos energéticos de edificación en edificios nuevos no residenciales

Fuente: Gavilán, 2015.

4.4.2 Sistemas de calificación y programas de certificación. Estos sistemas consisten en la creación de pautas que deberían cumplir los arquitectos, ingenieros y constructores en general con el fin de realizar edificaciones sostenibles, estos requisitos van más allá de criterios mínimos y edificaciones normalmente construidas, lo cual garantiza una acción realmente positiva al medio ambiente. El marco de eficiencia de tales edificios está basado en parámetros como el emplazamiento sostenible, eficiencia en el uso de agua y energético, materiales y recursos, calidad ambiental, innovación y diseño, tanto en la fase de diseño como en la fase de construcción, puesta en marcha y utilización de la edificación.

Los siguientes son los sellos de certificación más utilizados a nivel internacional, han instaurado marcos de sostenibilidad lo suficientemente importantes como para ser tenidos en cuenta aún en el ámbito nacional y regiones de toda Colombia.

4.4.2.1 Breeam. Creado en 1990 por el Building Research establishment (BREE) del Reino Unido, fue el primer sello de certificación desarrollado después del protocolo de Kyoto. Este sello es una herramienta que mide la sostenibilidad de distintos tipos de edificaciones, nuevas y existentes y se enfoca en los impactos de las edificaciones en su entorno. Igualmente, tiene una versión para desarrollos urbanos, denominada “BREEAM Communities”. Tiene versiones específicas para el Reino Unido, algunos países de Europa y del Golfo Pérsico (Susunaga, 2014).

4.4.2.2 Leed. El LEED es un programa prioritario del USGBC. Es un sistema voluntario de calificación de edificaciones basado en el consenso del mercado y en tecnología existente probada. Evalúa el desempeño ambiental sobre el ciclo vital de una edificación desde la perspectiva de la edificación vista y entendida como un todo, proporcionando un estándar definitivo para lo que se entiende como "edificación verde" (Espinosa & Echeverry, 2002).

4.4.2.3 Green star. Creada en 2003 por el Consejo Australiano de Construcción Sostenible, está basado en LEED y en BREEAM. Evalúa el diseño ambiental, así como la construcción de los edificios y busca establecer un lenguaje común y una medida estándar. Está diseñado especialmente para las condiciones australianas y se han creado versiones para Nueva Zelanda y Sudáfrica (Susunaga, 2014).

4.4.2.4 Funcionamiento y requisitos del LEED. LEED son las siglas en inglés de Leadership in Energy and Environmental Design que traduce Líder en Diseño Energético y Ambiental, el nombre completo del sistema es LEED Green Building Rating System que traduce Sistema de Calificación de la Edificación Verde LEED.

El LEED se fundamenta en energía aceptada y principios ambientales, logrando un equilibrio razonable entre las prácticas eficaces conocidas y los conceptos nuevos. A diferencia de otros

sistemas de calificación existentes, el LEED fue desarrollado por los miembros de USGBC, representando todos los segmentos del sector de la construcción y ha estado abierto al escrutinio público (Espinosa & Echeverry, 2002).

Según la función que pueda ocupar un edificio verde se evaluará por medio de la clasificación dada por leed:

LEED BD+C: Diseño y Construcción de edificios.

LEED ID+C: Diseño y Construcción de interiores.

LEED O+M: Operación y Mantenimiento de Edificios.

LEED ND: Desarrollo de Barrio.

El sistema Leed consiste en el cumplimiento de una serie de puntos que se van obteniendo para la edificación, sin embargo, existen una serie de requisitos previos que se deben cumplir para lograr que el proyecto sea evaluado, estos requisitos no adquieren puntos debido a su carácter obligatorio.

Según el número de puntos alcanzados, un proyecto obtiene uno de los cuatro niveles de calificación LEED: Certificado, Plata, Oro o Platino.

			
Certificado	Plata	Oro	Platino
40-49 puntos ganados	50-59 puntos ganados	60-79 puntos ganados	80+ puntos ganados

Figura 153. Niveles de calificación LEED

Fuente: USGBC, 2018.

Para el año 2013 se da una nueva versión de los puntajes Leed y su porcentaje correspondiente a la calificación total. La siguiente tabla muestra los cambios en la versión anterior (LEEDv3 2009) comparada a la más reciente (LEEDv4 2013), estos cambios se presentaron en algunos valores y el valor de la Localización y Transporte para un edificio verde.

Tabla 23. Comparación de los puntajes LEEDv3 2009 – LEEDv4 2013

Categoría	Puntaje LEEDv3 2009	% del total de los puntos	Categoría	Puntaje LEEDv4 2013	% del total de los puntos
-	0	0%	Integrative Design	1	1%
			Location and Transportation	16	15%
Sustainable Sites	26	24%	Sustainable Sites	10	9%
Water Efficiency	10	9%	Water Efficiency	11	10%
Energy and Atmosphere	35	32%	Energy and Atmosphere	33	30%
Materials and Resources	14	13%	Materials and Resources	13	12%
Indoor Environmental Quality	15	14%	Indoor Environmental Quality	16	15%
Innovation	6	5%	Innovation	6	5%
Regional Priority	4	4%	Regional Priority	4	4%

Fuente: Sustentabilidad SAS, 2014.

A continuación, se realiza una descripción de cada categoría (Susunaga, 2014):

Localización y transporte (16 puntos): con el fin de lograr ciudades más compactas es necesario involucrar sistemas urbanos de movilización sostenible mediante el uso de transporte alternativo, en la localización de edificios en zonas previamente desarrolladas, en la protección de zonas ambientalmente sensibles y en el respeto por la salud de las personas.

Sitios sustentables (10 puntos): Definir correctos criterios de emplazamiento de los proyectos, por la Revitalización de terrenos subutilizados o abandonados, la conectividad o cercanía al transporte público, la protección o restauración del hábitat y el adecuado manejo y control de aguas lluvias en el terreno seleccionado.

Eficiencia en el uso del agua (11 puntos): Incentiva a utilizar el recurso agua de la manera más eficiente, a través de la disminución 0 del agua de riego, con la adecuada selección de especies y la utilización de artefactos sanitarios de bajo consumo, por ejemplo.

Energía y atmósfera (33 puntos): Debe cumplir con los requerimientos mínimos del Standard ASHRAE 90.1-2007 para un uso eficiente de la energía que utilizamos en nuestros proyectos, para esto se debe demostrar un porcentaje de ahorro energético (que va desde el 12% al 48% o más) en comparación a un caso base que cumple con el estándar. Además, se debe asegurar en esta categoría un adecuado comportamiento de los sistemas del edificio a largo plazo.

Materiales y recursos (13 puntos): Describe los parámetros que un edificio sustentable debe considerar en torno a la selección de sus materiales. Se premia en esta categoría que los materiales utilizados sean regionales, reciclados, rápidamente renovables y/o certificados con algún sello verde, entre otros requisitos.

Calidad del ambiente interior (16 puntos): Describe los parámetros necesarios para proporcionar un adecuado ambiente interior en los edificios, una adecuada ventilación, confort térmico y acústico, el control de contaminantes al ambiente y correctos niveles de iluminación para los usuarios.

Innovación en el diseño (6 puntos): El proyecto deberá mostrar resultados que mejoren el desempeño ambiental de la edificación por medio de su innovación. El resultado final deberá superar los estándares de una línea base al involucrar las estrategias innovadoras, además, debe ser posible que el concepto se repita y se aplique en otros proyectos.

Prioridad regional (4 puntos): Los créditos regionales son otra de las características de LEED a través del cual se reconoce la importancia de las condiciones locales en la determinación de las mejores prácticas de construcción y diseño ambientales.

4.4.3 Certificación ambiental en Colombia. Para describir las herramientas que evalúan y definen una edificación como sostenible es necesario entender la estructura, organización y normatividad ambiental colombiana, la cual se fundamenta en la ley 99 de 1993 creándose el Ministerio del Medio Ambiente encargado de definir las políticas y normas en lo relacionado con recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente. Además, con el fundamento de esta ley se conformó el Sistema Nacional Ambiental SINA, el cual propone integrar a los diferentes agentes públicos, sociales y privados involucrados en el tema ambiental con el fin de promover un modelo de desarrollo sostenible, a través de un manejo ambiental descentralizado, democrático y participativo. El Sistema Nacional Ambiental es un grupo que al igual que en países como Estados Unidos y gran parte de Europa se han reunido entes públicos, privados y sociales a trabajar unidos con el fin de potencializar los aspectos ambientales y establecer criterios de construcción sostenible.

Como consecuencia de las problemáticas ambientales de Colombia, En marzo de 2010 se inició la formulación del Sello Ambiental Colombiano para Edificaciones Sostenibles (SAC-ES), con el liderazgo del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el ICONTEC y el trabajo de conjunto de empresarios, universidades y gremios.

El Sello Ambiental Colombiano para las Edificaciones Sostenibles (SAC-ES) se otorgará a edificaciones construidas con criterios integrales de sostenibilidad, las cuales tendrán en cuenta

aspectos de localización de la edificación, uso eficiente de la energía y del agua, materiales, residuos y desperdicios, calidad del ambiente interior y confort, entre otros (Susunaga, 2014).

Se establece con el Sello Ambiental Colombiano una normativa técnica para las construcciones, las cuales son conformadas por un comité técnico interdisciplinario, haciendo de este una integralidad como fundamento de esta organización, esto debido a la representación de la industria de la construcción, consumidores e interesados en general que establecen un consenso y generan requisitos más completos y enteros en materia de calidad, seguridad, protección a la salud y el ambiente.

Es importante mencionar que el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) el cual tiene como objetivo principal promover la transformación positiva en el medio ambiente por medio de la industria en la construcción, apoya de manera estructural las labores de este comité. En su tesis doctoral “Construcción Sostenible, Una Alternativa Para la Edificación de Viviendas de Interés Social y Prioritario” Susunana (2014), investigó el proceso de desarrollo que ha tenido el SAC-ES, afirma que, en marzo de 2014 la formulación de este Sello ha avanzado en un 60%. Este porcentaje de avance se traduce en que se han consensuado casi en su totalidad los siguientes temas: aspectos e impactos ambientales, riesgos, localización, ahorro y uso eficiente del agua, e impactos durante la construcción. Actualmente, se continúa con la discusión de los temas relacionados con eficiencia energética, materiales y residuos, así como calidad del ambiente interior y aspectos como durabilidad y manejo de plagas.

4.4.3.1 Certificación Leed en Colombia. En un estudio realizado por el diario La República (2017) se encontró que la situación de certificación sustentable, especialmente en sellos Leed, ha aumentado paulatinamente generalmente debido a empresas que han querido ir más allá del

ahorro de agua y energía en sus edificaciones.

Para el año 2014 habían 45 estructuras con certificado Leed, las cuales sumaban un millón de metros cuadrados. Ahora, hay 104 proyectos con el sello Leed, los cuales alcanzan 1,6 millones de metros cuadrados. Además, hay 234 edificaciones en fila para alcanzar esta certificación, y con estas se sumarían 4,6 millones de metros, según informó el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (Cccs).



Figura 154. Certificación Leed en Colombia

Fuente: La República, 2017.

De las ciudades que lideran la certificación Leed se encuentra Bogotá con 57 construcciones y 80 en proceso de obtenerlo, seguida de Medellín con 11 proyectos con el título leed y 26 por

obtenerlo. Lo anterior nos afirma la preocupación que organismos privados en el sector de la construcción tienen frente al tema del medio ambiente. El futuro en las edificaciones para Colombia se va tornando un tema más global en temas de normativas ambientales, lo cual va constituyendo una identidad de progreso en el mercado de la industria de la construcción e identidad a la nación.

4.4.4 Software utilizados para la evolución de edificaciones. La simulación de energía consiste en modelar el comportamiento energético de un edificio según sus características físicas (materiales, distribución, zonas, etc.) y los sistemas que lo conforman, mediante programas de computadora (Sancho, 2017). Por medio de estas herramientas se busca lograr resultados y conclusiones de un modelo digital el cual está sometido a una situación climatológica o ambiente controlado por el usuario.

A continuación, se mencionan algunos software con los que se podrían desempeñar positivamente en un proyecto de investigación:

4.4.4.1 Design Builder. A través del Design Builder se modela el edificio directamente en tres dimensiones o se puede exportar un dibujo 2D o 3D. Los resultados obtenidos en las simulaciones son bastante visuales. La entrada de datos es más visual y rápida haciendo que el trabajo de simulación sea más agradable.

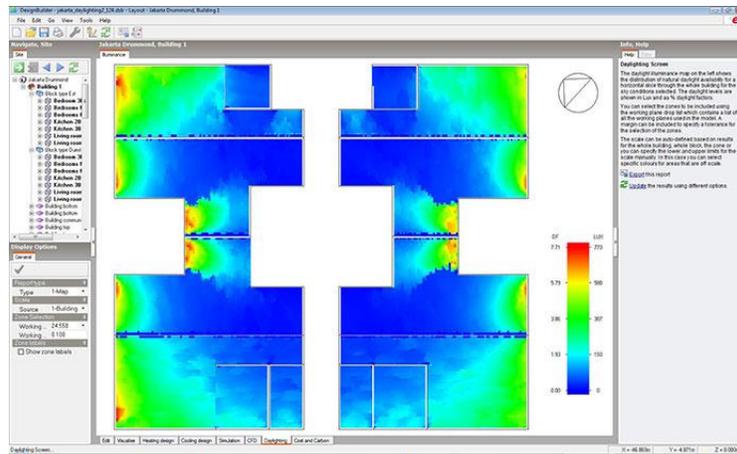


Figura 155. Interface de Design Builder

Fuente: Studiosseed, 2019.

4.4.4.2 Ecotect. Es un software desarrollado en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Australia Occidental, que ofrece una interfaz de modelización de dos y tres dimensiones, integrada con una amplia gama de funciones para análisis solar, térmico y lumínico, entre otras. Aplica las características conocidas de los materiales como la admitancia de un elemento constructivo y los factores de retraso térmico y atenuación térmica para definir la respuesta dinámica, es decir, en régimen transitorio (Boutet, Hernández & Jacobo, 2012).

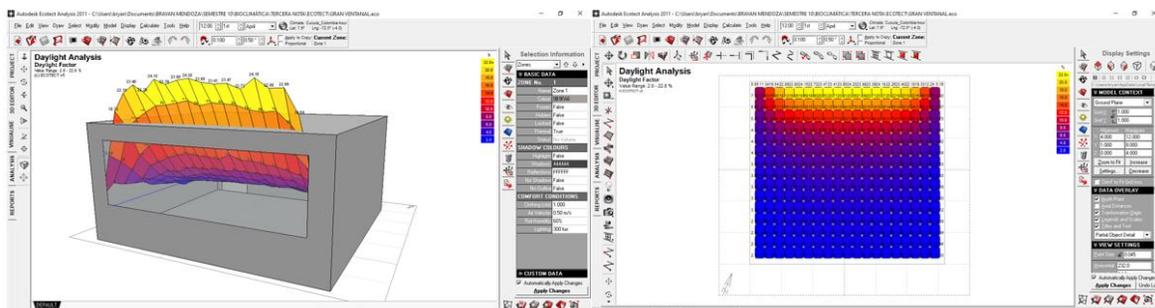


Figura 156. Interface de Ecotect

Fuente: Open Studio, 2019.

4.4.4.3 Open Studio. OpenStudio es una colección (Windows, Mac, y Linux) de herramientas de software multiplataforma para apoyar la modelización energética de todo el edificio usando Energyplus y análisis avanzado utilizando la luz del día Resplandor. OpenStudio es un proyecto de código abierto (LGPL) para facilitar el desarrollo de la comunidad, la extensión y la adopción del sector privado. OpenStudio incluye interfaces gráficas junto con un Kit de desarrollo de software (SDK).

La aplicación OpenStudio es una interfaz gráfica con todas las funciones para los modelos de OpenStudio que incluyen envolvente, cargas, horarios y HVAC. ResultsViewer permite navegar, trazar y comparar datos de salida de simulación, especialmente series de tiempo. La herramienta de análisis paramétrico permite estudiar el impacto de la aplicación de múltiples combinaciones de OpenStudio Measures a un modelo base, así como la exportación de los resultados del análisis para el envío de EDAPT.

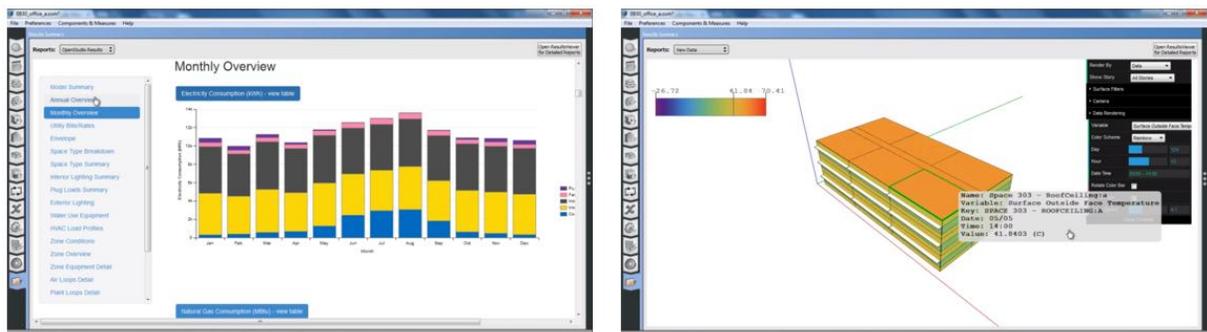


Figura 157. Interface de OpenStudio

Fuente: Open Studio, 2019.

4.4.5 Ecotect como simulador de rendimiento en edificios. Ecotect TM, propiedad de Autodesk, Inc., es "una herramienta completa de diseño ambiental y análisis de edificios que cubre la gama completa de funciones de simulación y análisis necesarias para comprender

realmente cómo funcionará el diseño de un edificio" (Autodesk, 2008, p16).

Las capacidades de análisis del programa primario incluyen análisis de energía, análisis térmico que tienen en cuenta factores como la gestión de recursos, las cargas de calefacción y refrigeración, y la ventilación y el flujo de aire. Análisis de iluminación / sombreado permiten el análisis solar, el análisis del derecho a la luz, la evaluación de la iluminación natural, el diseño de sombreado y el diseño de iluminación (Azhar, Brown & Farooqui, 2009).

Se considera ahora las ventajas y desventajas que los usuarios desde la academia y empresas han identificado con el uso de Ecotect como simulador en sus proyectos.

Ventajas:

Capacidades de visualización del modelo

Los resultados del análisis se almacenan en un solo archivo

Los gráficos resultantes se entienden fácilmente

Visualización de resultados rápida y precisa

Variedad de medios mostrados

Sistema de gestión de zonas

Desventajas:

La interfaz de usuario es difícil de entender

Los pasos o procedimientos de análisis no están claros

No hay verificación de errores gbXML

Los tiempos de ejecución de análisis son muy largos

Algunos análisis causan inestabilidad del programa.

4.4.5.1 Uso de Ecotect desde la Academia. En el desarrollo de proyectos arquitectónicos realizados desde la academia se intenta siempre que el estudiante tome las mejores decisiones en el proceso de desarrollo y se logren cumplir objetivos ambientalmente positivos para su edificación proyectada, esto con el fin de lograr resultados que sobresalgan en estándares de diseño y funcionalidad. Conocimientos como los que brindan los software anteriormente mencionados han sido el reemplazo de conocimientos empíricos y que paulatinamente se han posicionado como instrumentos altamente confiables.

Actualmente, las herramientas de simulación energética como Ecotect han permitido de una manera práctica lograr reducir el riesgo de errores, facilitando el progreso rápido y efectivo en la realización de proyectos académicos. Un ejemplo de esto se presenta en la Universidad Francisco de Paula Santander en la ciudad de Cúcuta - Colombia, al entender las herramientas digitales como parte importante del proceso académico, pues desde la electiva de profundización “Bioclimática” el aprendizaje de Ecotect es acompañado por docentes haciendo de la interfaz, los análisis o procedimientos más claros para el estudiante.

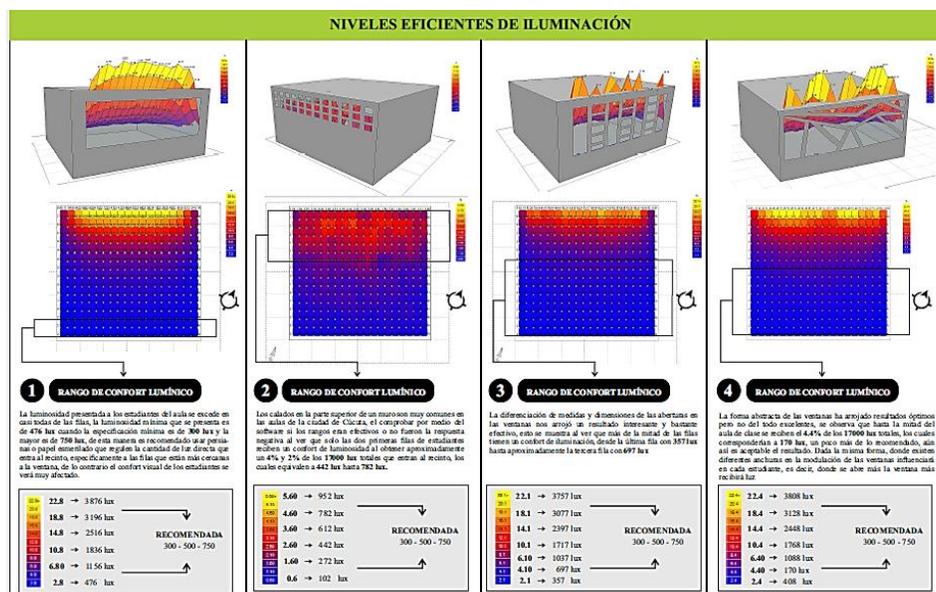


Figura 158. Ejercicio académico de Niveles Eficientes de Iluminación para una oficina con variación de aberturas en ventanas

4.4.6 Metodología de modelización. Como finalización al cumplimiento del objetivo cuatro del presente proyecto de investigación, se somete a prueba la envolvente en guadua y se realiza una simulación térmica comparando cuatro materiales, muro de mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos, mampostería estructural con bloques de concreto, muros de concreto mediante sistema industrializado y la envolvente en guadua. Lo anterior es en concordancia a los sistemas tradicionales usados para la construcción de viviendas de interés social en Colombia y la ciudad de Cúcuta, los cuales serán comparados frente al principal material propuesto en la investigación, la guadua.

El proceso de modelización y análisis se desarrolló por medio del software Ecotect. Se establecieron cuatro sólidos a los cuales se les asignó su material respectivo, el sólido tendrá unas dimensiones cercanas a las viviendas de interés social en Colombia, para este caso 34 m² de superficie construida.

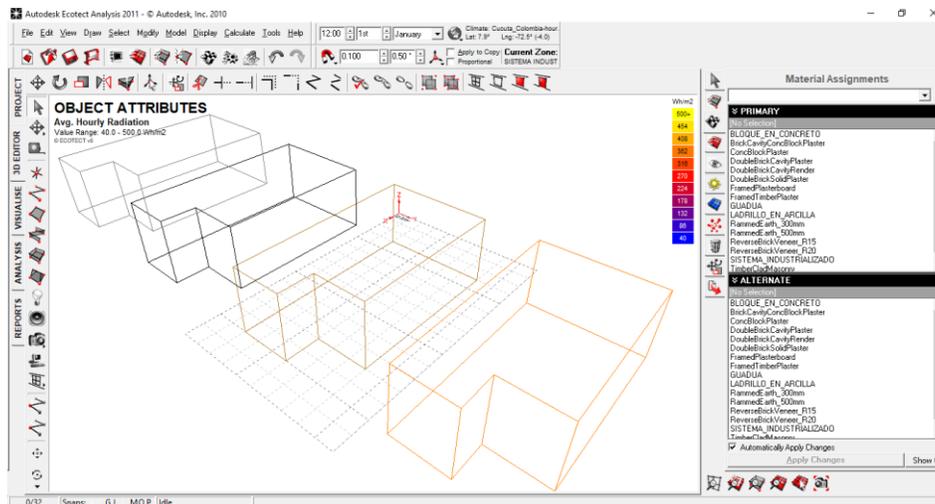


Figura 159. Proceso modelización de sólidos para asignación de materiales en Ecotect

Seguidamente, considerando que los cuatro materiales para analizar mencionados anteriormente no se encuentran en las librerías preestablecidas se proceden a ser creados y añadidos como nuevos, para esto se consulta la documentación ya redactada de cada material siendo necesarios los valores de densidad, conductividad térmica y calor específico.

Así mismo, los espesores de los muros se componen por otros materiales, excepto los muros en guadua los cuales se toman como material vegetal pleno. El ancho del mortero de cemento (pañete) como capa exterior e interior se determina en 0,15 cm y como acabado para el interior del muro se asigna al estuco de yeso con 0,05 cm de ancho, dichos espesores son dibujados y organizados por capas para obtener el espesor definitivo del muro. Cabe resaltar que para el ancho del material principal existe variación debido a las capas que los componen, sin embargo, se tomó la medida de 12 cm como referencia. Se considera también, para la mampostería en arcilla y en concreto cámaras de aire que corresponden a la fabricación de cada mampuesto.

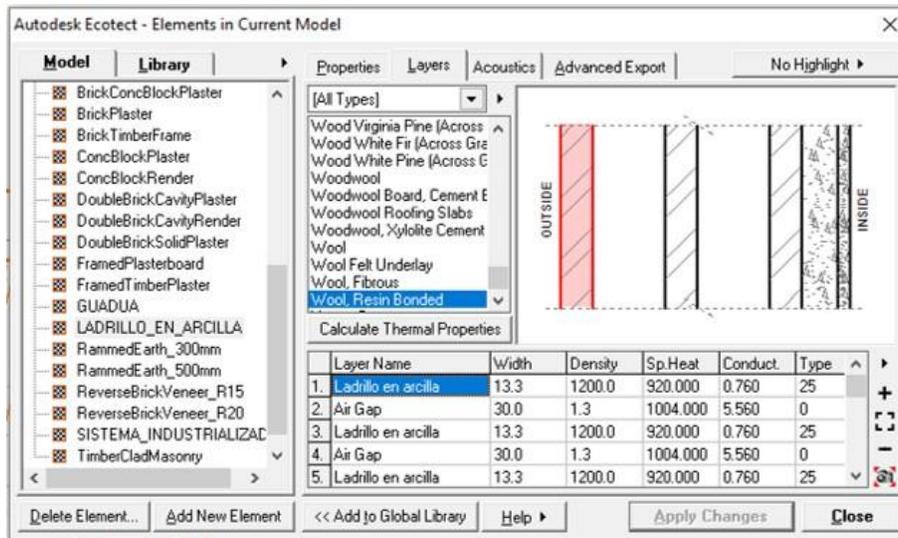


Figura 160. Creación de capas para muro en mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos

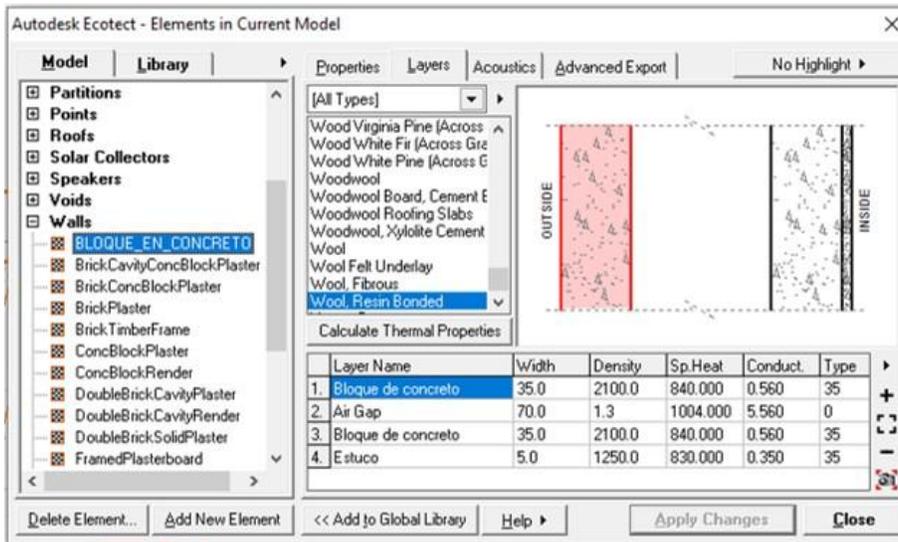


Figura 161. Creación de capas para muro estructural en bloques de concreto

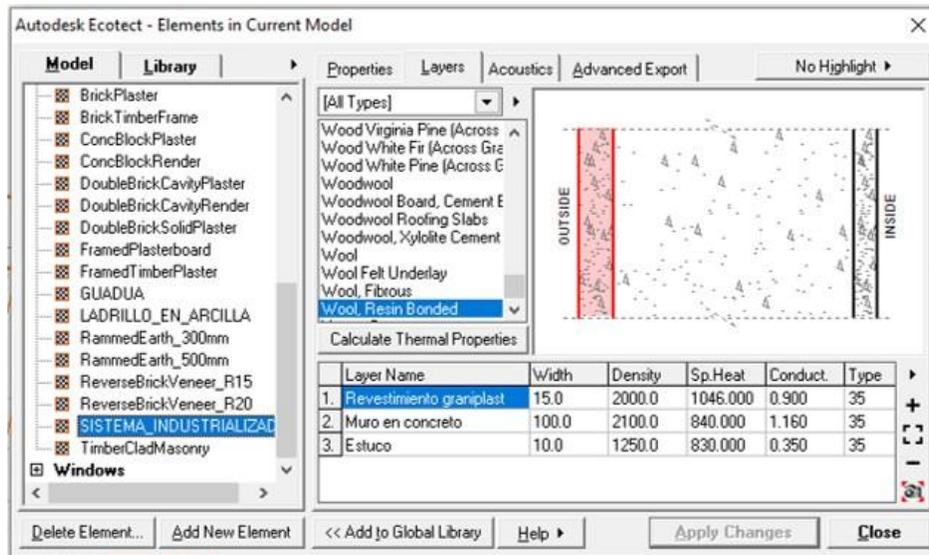


Figura 162. Creación de capas para muros de concreto de sistema industrializado

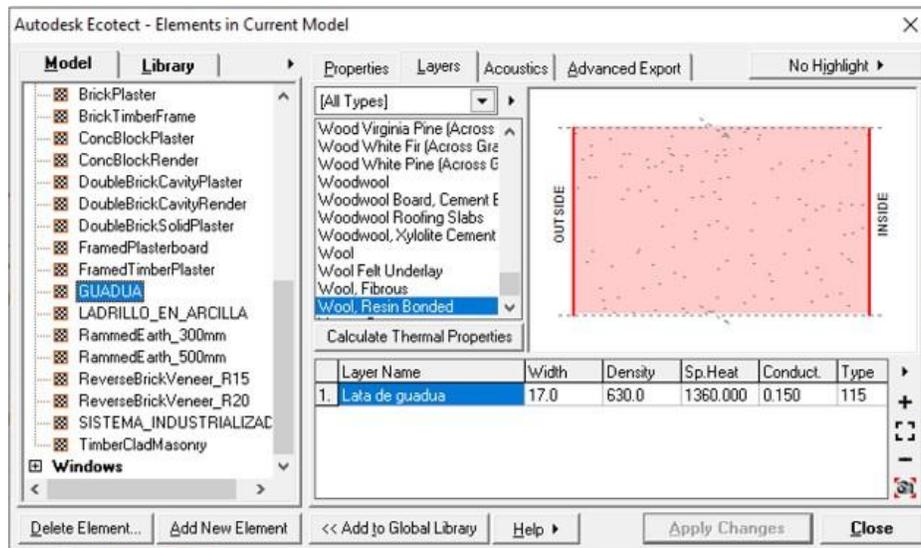


Figura 163. Creación de capas para muro o panel en guadua

Cada cara o superficie exterior de los sólidos se considera como envolvente, por lo tanto, la asignación de materiales fue realizada en el mismo sentido por medio de la categoría de “Wall” en la librería preestablecida de Ecotect.

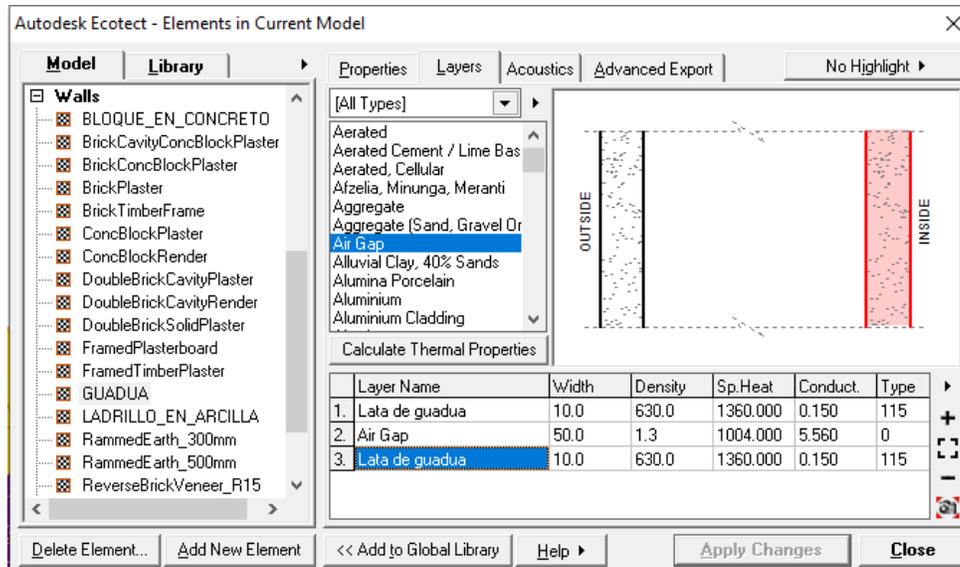


Figura 164. Doble envoltivo de panel en guadua con cámara de aire

Se estudió también, la posibilidad de usar una doble capa de envoltivo en guadua con un aislamiento de 5 centímetros pensando en los tejidos y su permeabilidad, aumentar el grado de obstrucción o control del sol y la privacidad por medio de las aberturas.

Posteriormente, se introducen los datos climáticos de la ciudad de Cúcuta por la Subdirección de Meteorología del Ideam para la ciudad de Cúcuta. Cartas climatológicas – Medias mensuales Aeropuerto Camilo Daza. Lo anterior con el fin de contextualizar los sólidos y validar la realidad de las condiciones del entorno donde se ubica el proyecto.

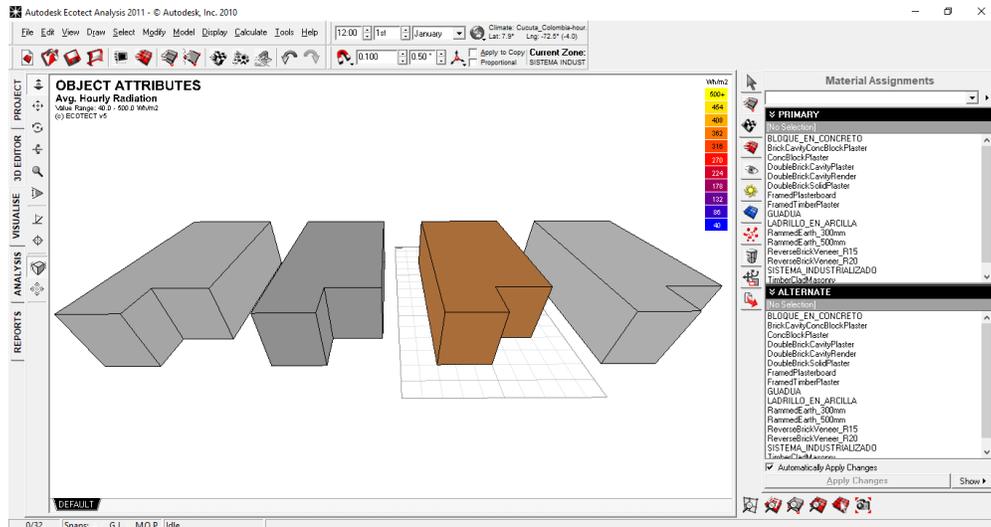


Figura 165. Sólidos asignados con los valores y materiales correspondientes

El análisis de acceso solar se refiere a la disponibilidad de radiación solar incidente (insolación), en superficies y puntos dentro del modelo. El análisis se especifica en un periodo de tiempo específico, del 20 de junio al 22 de septiembre el cual corresponde al solsticio de verano, momento crítico al mostrarse en temperaturas elevadas. Como intervalo de tiempo se estableció también el recorrido del sol desde las 8 de la mañana hasta las 6 de la tarde, cualquier momento antes del amanecer o después del atardecer no forma parte del cálculo y se ignora.

Autodesk Ecotect - Calculation Wizard... X

| solar access analysis | STEP 3 OF 7 Tool Hints **HELP!**

SPECIFIC DATE/TIME PERIOD

Solar access calculations are carried out each hour between the specified start and stop times for each day between the from and to dates. Values for times between hours are interpolated using the hours before and after that time. Shading and overshadowing are taken directly from the shading mask.

Any times before sunrise or after sunset do not form part of the calculation and are ignored.

WHAT DATES & TIMES DO YOU WISH TO USE ?

Date Range
 Select the dates over which solar radiation is to be calculated. You can select a default period using the selector above, or interactively set your own range.

From: 20 junio (mié.)
 To: 22 septiembre (sáb.)

Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec
 | from ————— to |

Time Range
 Select the hours of each day over which to generate the shading.

08:00 18:00

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
 | from ————— to |

Skip Wizard Always skip this wizard. << Back Next >> **Cancel**

Figura 166. Periodo de tiempo asignado para el análisis en Ecotect

El resultado final del presente objetivo es comparar y demostrar el desempeño térmico de los principales materiales utilizados en la construcción de Colombia frente al método de construcción con Guadua. Para encontrar el desempeño térmico se realizó un análisis general de los cuatro sólidos modelados, encontrar la radiación en sus superficies para que el software reciba información y despliegue el comportamiento o desempeño térmico de cada material en el solsticio de verano.

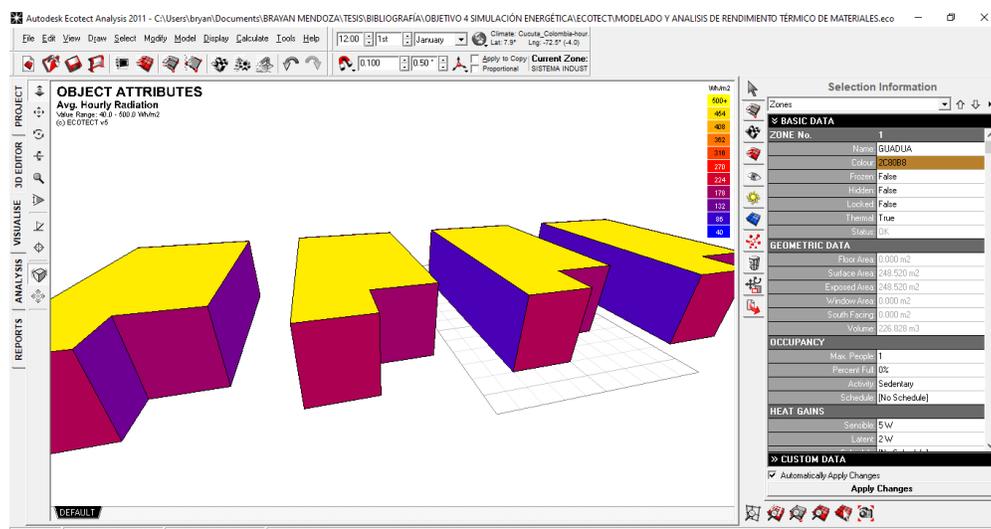


Figura 167. Análisis de radiación térmica en Ecotect

Considerando los datos de las propiedades fisicomecánicas y los espesores de las capas de los muros creados en la librería de Ecotect, junto con el análisis de radiación de los sólidos en general, se puede obtener el rendimiento térmico de cada material. La siguiente figura interpreta la variación de temperatura en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) que existe entre las horas del día, representándose en curvas que simbolizan a los cuatro materiales analizados, curva marrón para la guadua, curva en amarillo para mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos, curva en negro para mampostería estructural con bloques de concreto y curva en naranja para muros de concreto mediante sistema industrializado.

Cada curva presenta una variación en temperatura diferente a lo largo del día, dichos valores se reemplazarán en tablas con el fin de obtener promedios de rendimiento térmico para cada material y comparar dichos valores, además de realizar un análisis visual de acuerdo a lo que se perciba como comportamiento de las curvas.



Figura 168. Desempeño térmico de muro en mampostería en arcilla (amarillo), mampostería con bloques de concreto (negro), muros con sistema industrializado (naranja) y guadua (marrón)

Tabla 24. Desempeño térmico del muro en mampostería confinada con ladrillos de arcilla**huecos**

Muro en mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos			
Hora	Temperatura interior	Temperatura exterior	Diferencia de temperatura
0	27,2	23	4,2
1	26,6	22,7	3,9
2	26	22,5	3,5
3	25,4	22,4	3
4	24,8	22,2	2,6
5	26,2	22,2	4
6	26,1	22,1	4
7	26	22,7	3,3
8	26	25	1
9	26	27,2	-1,2
10	26,1	29,4	-3,3
11	26,1	31,3	-5,2
12	26,4	32,7	-6,3
13	27,8	33,5	-5,7
14	29,9	34	-4,1
15	31,8	33,9	-2,1
16	33,2	33,3	-0,1
17	34	32,1	1,9
18	33,9	30,6	3,3
19	33,9	30	3,9
20	33,1	29,4	3,7
21	31,9	28,9	3
22	30,4	28,3	2,1
23	29,6	27,7	1,9
PROMEDIO	29	27,8	
VALOR MÁXIMO	33,9	34	
VALOR MÍNIMO	24,8	22,1	

Nota. Valores en grados centígrados extraídos del software Ecotect.

Tabla 25. Desempeño térmico de la mampostería estructural con bloques de concreto

Mampostería estructural con bloques de concreto			
Hora	Temperatura interior	Temperatura exterior	Diferencia de temperatura
0	25,7	23	2,7
1	24,9	22,7	2,2
2	24	22,5	1,5
3	23,2	22,4	0,8
4	25,2	22,2	3
5	25	22,2	2,8
6	24,9	22,1	2,8
7	24,8	22,7	2,1
8	24,8	25	-0,2
9	25	27,2	-2,2
10	25	29,4	-4,4
11	25,5	31,3	-5,8
12	27,4	32,7	-5,3
13	30	33,5	-3,5
14	32,4	34	-1,6
15	34,3	33,9	0,4
16	35,3	33,3	2
17	35,4	32,1	3,3
18	35,3	30,6	4,7
19	34,4	30	4,4
20	32,9	29,4	3,5
21	31,1	28,9	2,2
22	29,9	28,3	1,6
23	29,6	27,7	1,9
PROMEDIO	29	27,8	
VALOR MÁXIMO	35,4	34	
VALOR MÍNIMO	24	22,1	

Nota. Valores en grados centígrados extraídos del software Ecotect. Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Desempeño térmico de muros de concreto en sistema industrializado

Muros de concreto en sistema industrializado			
Hora	Temperatura interior	Temperatura exterior	Diferencia de temperatura
0	25,3	23	2,3
1	24,7	22,7	2
2	24,1	22,5	1,6
3	25,5	22,4	3,1
4	25,4	22,2	3,2
5	25,3	22,2	3,1
6	25,3	22,1	3,2
7	25,2	22,7	2,5
8	25,3	25	0,3
9	25,3	27,2	-1,9
10	25,6	29,4	-3,8
11	27	31,3	-4,4
12	28,5	32,7	-4,2
13	30,1	33,5	-3,4
14	31,4	34	-2,6
15	32,1	33,9	-1,8
16	32,2	33,3	-1,1
17	32,2	32,1	0,1
18	31,6	30,6	1
19	30,7	30	0,7
20	29,6	29,4	0,2
21	28,8	28,9	-0,1
22	28,5	28,3	0,2
23	28,3	27,7	0,6
PROMEDIO	27,8	27,8	
VALOR MÁXIMO	32,2	34	
VALOR MÍNIMO	24,1	22,1	

Nota. Valores en grados centígrados extraídos del software Ecotect.

Tabla 27. Desempeño térmico de muro tipo panel en guadua

Guadua			
Hora	Temperatura interior	Temperatura exterior	Diferencia de temperatura
0	27,2	23	4,2
1	26,9	22,7	4,2
2	26,6	22,5	4,1
3	26,3	22,4	3,9
4	26,1	22,2	3,9
5	25,8	22,2	3,6
6	25,6	22,1	3,5
7	26,2	22,7	3,5
8	26,3	25	1,3
9	26,4	27,2	-0,8
10	26,4	29,4	-3
11	26,5	31,3	-4,8
12	26,6	32,7	-6,1
13	26,6	33,5	-6,9
14	26,6	34	-7,4
15	26,7	33,9	-7,2
16	27,3	33,3	-6
17	28,2	32,1	-3,9
18	29	30,6	-1,6
19	29,6	30	-0,4
20	29,9	29,4	0,5
21	29,9	28,9	1
22	29,8	28,3	1,5
23	29,4	27,7	1,7
PROMEDIO	27,3	27,8	
VALOR MÁXIMO	29,9	34	
VALOR MÍNIMO	25,6	22,1	

Nota. Valores en grados centígrados extraídos del software Ecotect.

Como conclusión a las tablas se realiza un análisis cualitativo y se establece la cantidad de horas que el desempeño térmico del material se encuentra dentro de los rangos de tolerancia de temperatura mencionados en la norma ASHRAE Standard 55 con el modelo PMV y en consideración al modelo ASHRAE Standard 55 del 2010 y su modelo teórico de confort adaptativo, dichos rangos de tolerancia se encuentran de 20°- 27° para el 2004 y 23° - 29° para el 2010.

Análisis de rendimiento térmico en base al modelo ASHRAE Standard 55 (2004):

El muro en mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos presenta un rango de confort de desempeño térmico desde la hora uno hasta el mediodía (1:00 – 12:00) para un total de 12 horas en confort, el límite de temperatura dentro del rango es de 26,6° y su mínimo es 24,8°. Así mismo, el rango de confort del desempeño de la mampostería estructural con bloques de concreto se da desde las cero horas hasta la hora once del día (00:00 – 11:00) lo cual suma un total de 12 horas de confort, donde los límites dentro del rango se dan de 23,2° a 25,7°. En relación con los muros de concreto en sistema industrializado se presenta un total de 11 horas dentro del rango de confort del desempeño térmico del material, esto se presenta desde las cero horas hasta las diez de la mañana (00:00 – 10:00), para los límites de temperatura dentro del rango están 24,1° y 25,6°. Finalmente, la guadua en forma de panel presenta un rango de confort en el desempeño térmico desde la hora uno hasta la hora quince del día (1:00 – 15:00) y completar un total de 15 horas de confort, las temperaturas mínimas y máximas alcanzadas dentro del rango fueron de 25,6° y 26,9°.

En lo que corresponde al estudio de la doble piel en guadua y cámara de aire de 5 centímetros, el análisis térmico evidenció que aumenta una hora más de confort a la edificación, mientras que con una sola piel se mantiene dentro del confort desde la hora uno del día, la doble piel se conserva desde la hora cero, es decir, desde las cero horas hasta las quince horas de día su rendimiento es de confort.

Análisis de rendimiento térmico en base al modelo ASHRAE Standard 55 (2010):

El muro en mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos presenta un rango de confort de desempeño térmico desde la hora cero hasta la hora trece del día (00:00 – 13:00) para

un total de 14 horas en confort, el límite de temperatura dentro del rango es de $27,8^{\circ}$ y su mínimo es $24,8^{\circ}$. Así mismo, el rango de confort del desempeño de la mampostería estructural con bloques de concreto se da desde las cero horas hasta la hora doce del día (00:00 – 12:00) lo cual suma un total de 13 horas de confort, donde los límites dentro del rango se dan de $23,2^{\circ}$ a $27,4^{\circ}$. En relación con los muros de concreto en sistema industrializado se presenta un total de 16 horas dentro del rango de confort del desempeño térmico del material, esto se presenta desde las cero horas hasta el mediodía, retomando nuevamente a las veintiuna horas (21:00 – 12:00), para los límites de temperatura dentro del rango están $24,1^{\circ}$ y $28,8^{\circ}$. Finalmente, la guadua en forma de panel presenta un rango de confort en el desempeño térmico desde la hora cero hasta la hora diecisiete del día (00:00 – 17:00) y completar un total de 18 horas de confort, las temperaturas mínimas y máximas alcanzadas dentro del rango fueron de $25,6^{\circ}$ y $28,2^{\circ}$.

En cuanto al estudio de la doble piel en guadua y cámara de aire de 5 centímetros, el análisis térmico evidenció que aumenta una hora más de confort a la edificación, mientras que con una sola piel se mantiene dentro del confort hasta las 17 horas, la doble piel se conserva hasta las 18 horas del día, teniendo un total de 19 horas.

Tabla 28. Comparación horas de confort según normas ASHRAE

	Doble piel con panel de guadua	Guadua	Mampostería estructural en arcilla	Mampostería estructural en concreto	Sistema Industrializado
ASHRAE Standard (2004)	16 h	15 h	12 h	12 h	11 h
ASHRAE Standard (2010)	19 h	18 h	14 h	13 h	16 h

Nota. El número de horas es considerado durante un día del año.

De acuerdo a lo anterior, cabe señalar que el rango de confort térmico indicado corresponde a las temperaturas internas del modelo; no obstante, los resultados numéricos hacen del análisis una

comprensión netamente cualitativa, de esta forma se concluye también la importancia de estudios cercanos a la realidad como las sensaciones psicológicas e higrotérmicas en los usuarios.

Como conclusión visual de la gráfica representada en curvas de los cuatro materiales se logra comprender que las temperaturas están al punto máximo permitido por el rango de confort de la norma, incluso cuando están dentro del rango permitido no se encuentran la mayor parte del día, tan solo llegan a estar pocas horas en confort. Los rangos comienzan a variar directamente proporcionales al aumento de las temperaturas exteriores, es en los momentos más críticos del día cuando el material debería reaccionar positivamente como aislante térmico, sin embargo, se muestran en la gráfica que es cuando más vulnerables son frente a las inclemencias aumentando generalmente a partir de las 8 de la mañana, el resto de las horas del día la edificación se encontrará en discomfort.

Como resultado y comparación del desempeño térmico de los cuatro sistemas de construcción y en las dos versiones diferentes de la norma (2004 y 2010), observamos que las edificaciones con mampostería en arcilla y mampostería estructural en concreto se encuentran en porcentajes medios con respecto a la guadua y el sistema industrializado, variando entre 12 y 14 horas de confort para ambas versiones de la norma. Por otra parte, el sistema industrializado para la versión del 2004 fue el que obtuvo menos horas de confort durante el día, caso contrario a la versión del 2010, demostrando más horas de confort aún más que la mampostería en arcilla y concreto, esto debido a las propiedades térmicas del material y su reacción frente a las condiciones externas del clima. Por último, la guadua frente a los demás materiales se distingue al brindar hasta 18 horas de confort térmico durante el día, aun así, no cuenta con la posibilidad de mantener la curva estable frente a las variaciones térmicas del día.

5. Conclusiones

El presente proyecto de grado denominado “Envolvente modular en guadua como estrategia de diseño pasivo para viviendas de interés social en la ciudad de Cúcuta” se desarrolló por medio del Semillero de Investigación Eco-hábitat, perteneciente a las líneas investigativas del grupo GRAMA de la Universidad Francisco de Paula Santander de la ciudad de Cúcuta.

El primer objetivo de la presente investigación, identificó las posibilidades constructivas que la *Guadua Angustifolia Kunth* podría tener, parte de los conocimientos humanos necesarios, herramientas, recomendaciones y bondades que cada unión o sistema posee. Para ello, se aplicaron instrumentos de recolección de datos, obteniendo como resultado más de trescientas posibilidades constructivas de este importante material agrupados en categorías como la guadua en tejido, guadua rolliza, latas de guadua, tipo panel y uniones modernas.

La investigación bibliográfica permitió entender que, dentro del gran abanico de posibilidades constructivas de la guadua es necesario el conocimiento empírico para el manejo adecuado de la materia prima, sin el conocimiento y manipulación precisa las propiedades fisicomecánicas de la guadua no serán aprovechadas al máximo. No obstante, el intercambio del aprendizaje entre lo científico y el conocimiento empírico de la mano obrera genera nuevos conocimientos y fortalece el panorama de la construcción con guadua en Colombia. La sinergia entre conocimientos genera beneficios que integran a la comunidad, la productividad, el campo académico y el medio ambiente, son lazos necesarios para lograr la sostenibilidad en la construcción.

La generación de una identidad y fortalecimiento de las raíces culturales son consecuencia de una arquitectura consciente de su entorno. En consecuencia de lo documentado, el uso de

materiales propios de cada lugar propicia la conciencia ambiental e impulsa los conocimientos autóctonos, en aprovechamiento de mano de obra y productividad de materiales. La guadua es pensada como una oportunidad única para Colombia con el fin de fortalecer y aportar significativamente al sector de la construcción de viviendas VIS, atendiendo a las cifras mencionadas por el DANE respecto al déficit cualitativo y cuantitativo de viviendas que posee la nación. Por lo anterior, se considera a la construcción en guadua no como una fórmula final, sino una alternativa que aporte al déficit habitacional y generar soluciones directamente relacionadas en componentes de confort y habitabilidad.

El objetivo dos de la presente investigación determinó las características de la envolvente que presenta la vivienda de interés social en Colombia y la ciudad de Cúcuta. A partir de los datos recolectados, se determina la importancia de los lineamientos dados por el gobierno nacional como solución en la construcción de las viviendas VIS, sin embargo, el conocimiento profesional es un actor indispensable en la toma de decisiones para el diseño y construcción.

En Colombia se evidencia la falta de investigación en los resultados arquitectónicos, el desarrollo de la construcción es más democrático que científico. Como resultado de la investigación bibliográfica, se concluye que la envolvente de la vivienda VIS carece de estudios climáticos que repercuten en el confort térmico al interior de la edificación, principalmente es debido a la escogencia de los materiales que, con el fin de responder a la alta demanda de edificaciones para viviendas de interés social se han consolidado en el mercado. Por tanto, el tema de la materialidad evidencia que es un aspecto más de tendencia que un tema consiente frente al cuidado del medio ambiente. Así mismo; la mampostería confinada, la mampostería estructural y los sistemas industrializados son los más usados en Colombia, de los cuales se demuestra un interés por medio de los materiales de construcción propios de la región como la

mampostería en arcilla, lograr alternativas que aporten al confort térmico por medio de conocimientos científicos e investigativos.

Como conclusión de diferentes análisis térmicos realizados a viviendas de distintas ciudades de Colombia se establece que están por fuera del rango de confort térmico, llegando incluso a ser crítica la sensación de vivir al interior de estas. En consecuencia, la grave situación climática de la envolvente en viviendas VIS para Colombia es debido a la falta de conocimiento bioclimático, estudio del clima donde se edifica, escogencia de materiales que respondan positivamente a la precariedad del ambiente, la falta de exigencia legal y el asesoramiento profesional frente al tema de confort térmico.

Como panorama general, se observó que en Colombia no existe motivación en la aplicación de materiales sostenibles para la construcción y las nuevas alternativas que puedan usarse; entonces, se concluye que serán los análisis científicos la base para sustentar y comprobar el funcionamiento óptimo, que garantice el desarrollo de proyectos sociales consecuentes a la realidad del entorno y constaten a los materiales alternativos como la guadua. Por lo anterior, el crecimiento social y cultural se manifiesta en lo que se adquiere de su propio territorio, se conserva y trasciende, por esta razón, el desarrollo de nuevas posibilidades de construcción con el uso de materiales del lugar será clave para un positivo crecimiento de las ciudades.

Como análisis de la guadua aplicado en la construcción, se concluye también la necesidad de promover el cultivo y producción de guadua en la región, dado que por las condicionantes de los organismos ambientales se tiene gran restricción en su manejo, desde el corte, transporte y uso en la edificación. Si se desarrollan sistemas de producción que garantice el cultivo y cosecha del material se haría aún más viable el uso de la guadua en la construcción de viviendas de interés

social y edificaciones en general.

Se demostró que las condiciones de cada lugar son específicas, para el caso de la ciudad de Cúcuta se evidenció por medio del software Climate Consultant 6.0 que la ciudad de Cúcuta está en un escaso 6,2% del tiempo en confort durante el año, por esta razón, resulta importante aplicar las indicaciones de la carta psicrométrica que el software sugiere en cuanto a mitigar las inclemencias del clima de la ciudad por medio del diseño. Por lo cual, se concluye que la “Protección Solar de Ventanas” es la segunda mayor recomendación de la carta, sustentando el diseño de envolvente como estrategia de diseño pasivo para lograr disminuir o mitigar las altas temperaturas de la edificación.

Se obtuvo como resultado una matriz organizada por grupos y subgrupos de dispositivos de control solar donde se despliegan una serie de posibilidades aplicables para el presente proyecto, no obstante, se entendió a las estrategias de control solar como mecanismos más de “control” que de “obstrucción” del sol, pues la necesidad de iluminar un espacio hace parte del confort de los habitantes. La comprensión documentada acerca de la envolvente arquitectónica y su connotación entorno al bienestar de los usuarios, su relación con el contexto y la misma imagen, llevó a la presente investigación a resolver el diseño por medio de herramientas digitales como un elemento adicional a los resultados finales de diseño.

La implementación de software digitales como Rhinoceros y Grasshopper incidió positivamente en los diseños finales para la envolvente en viviendas de interés social. La aplicación de fórmulas con el software permite que los diseños puedan ser adaptados a cualquier superficie o morfología que la vivienda en Cúcuta pueda presentar, aún en morfologías no convencionales. El control de las aberturas en los tejidos, los diámetros de la estructura y

subestructura de los culmos de guadua, incluso las dimensiones de los nudos ajenos al material en guadua también fueron posibles por medio del control del software de diseño; no obstante, la necesidad de relacionar el diseño con las características constructivos de la guadua es de gran consideración, siendo esto uno de los límites que puedan existir para dichos resultados.

Como consecuencia de lo documentado, se demuestra que por medio de las herramientas digitales las posibilidades de diseño pueden ser infinitas por medio de la parametrización y el conocimiento de la mano de obra, por tal razón, la presente investigación sustentó los lineamientos de la sostenibilidad al crear vínculos entre el conocimiento de la comunidad con la tecnología y las nuevas formas de concebir la arquitectura.

El uso de la guadua es un importante recurso, pero se debe tener en cuenta que para brindar confort térmico a una vivienda se debe hacer uso de la bioclimática que además de definir los materiales más idóneos, también se vale de múltiples formas, orientación y elementos de control solar para la consecución del objetivo, por tanto, el hecho de plantear el uso de la guadua como fachada no es la solución definitiva para concluir con una edificación eficiente en términos de confort.

La propuesta del uso de envolvente en guadua es un recurso que bien puede utilizarse en la totalidad de la vivienda, o solo para una de sus caras de acuerdo a la orientación del proyecto, que permita mitigar como una importante solución que, en relación con otros materiales, puede brindar a la edificación interesantes resultados tanto de confort, como de estética.

El tejido en guadua brinda importantes posibilidades de diseño y dentro de sus bondades está la facultad de comportarse muy bien con otros materiales, por esta razón en aspectos técnicos o de estructura que conforma cada panel y sostenga el tejido artesanal pueden usarse materiales

alternativos, bien sea con la misma guadua, materiales como el metal, la madera convencional o algún material compuesto preferiblemente sostenible.

La propuesta se plantea sobre viviendas VIS, pero es un gran recurso para cualquier tipo de proyecto arquitectónico, ya que entre las muchas bondades que brinda la guadua en las distintas propuestas, está que se pueden hacer los tejidos tanto para superficies verticales planas como para propuestas inclinadas o formas orgánicas, lo que resulta en interesantes posibilidades de paneles o de grandes superficies arquitectónicas. Por lo anterior, se recomienda el estudio de la aplicación de envolvente modular en guadua en distintos proyectos de investigación futuros.

En el objetivo cuatro de la investigación desarrollada, se realizó un análisis de rendimiento térmico de la guadua aplicada en una envolvente de vivienda VIS en la ciudad de Cúcuta, la morfología y área es corresponde a la recolección bibliográfica de lo construido en Cúcuta y el país en general. El análisis se desarrolló igualmente a la mampostería en arcilla, mampostería estructural en concreto y al sistema industrializado con el fin de comparar los resultados de los materiales convencionales y los de la guadua.

En primera instancia, se evidenció la importancia del componente digital y la intervención del área profesional en el ámbito académico para asesorar y acompañar el proceso de análisis. La sostenibilidad tiene como pilar fundamental la tecnología y los procesos constructivos asociados a estudios numéricos que comprueben la respuesta honesta frente al medio ambiente, es por esto que se entendió la relevancia de lo cuantitativo frente a lo cualitativo, lo relativo y lo verídico, y la suposición frente a la comprobación.

En el análisis realizado con Ecotect se mostró como resultado que en el solsticio de verano, para la fecha entre 20 de Junio y 22 de Septiembre, correspondiendo desde las ocho horas hasta

las dieciocho horas del día los materiales convencionales estuvieron evidentemente alejados de brindar confort a la edificación, sin ser capaces de mantener la curva evidenciaron estar entre once y dieciséis horas dentro del rango de tolerancia indicados por la norma ASHRAE Standard 2004 y 2010, siendo la guadua más eficiente que los demás sistemas constructivos con un alcance de hasta diecinueve horas de confort en el día.

Los resultados cuantitativos demostraron que la guadua aplicada como envolvente y comparada con los sistemas constructivos convencionales en la ciudad de Cúcuta, puede brindar hasta tres horas más de confort térmico a una vivienda de interés social o una edificación en general. Sin embargo, se recomienda que para estudios futuros y complemento a la presente investigación intervengan estudios de profesiones como la psicología, ramas de la salud o estudios del comportamiento humano en ambientes interiores como los higrotérmicos.

Como opción de aumentar el confort térmico en la envolvente se demostró que una doble capa de tejido en guadua con una cámara de aire de cinco centímetros entre ellas aumenta una hora más de confort al rendimiento térmico del panel.

En definitiva, los materiales convencionales no logran cumplir en su totalidad lo que un espacio habitable requiere en materia de confort térmico, por tal razón, se hace un llamado a los materiales que se disponen en la naturaleza como la guadua que, aunque tampoco alcance a brindar confort durante todo el día sí aporta al rango de temperaturas que menciona la norma y mitiga las inclemencias del clima. Para la actualidad es un aporte de gran relevancia si entendemos cómo habitarán las ciudades en un futuro y en circunstancias como las que el gobierno de la nación decretó el 24 de marzo como cuarentena en todo el país a causa de la pandemia mundial, permitiendo reflexionar en la calidad de las viviendas, su bienestar al interior

de ellas y el grado de satisfacción higrotérmico por parte de las familias colombianas. Es por esto la importancia de atender las decisiones que se toman a futuro para el sector de la construcción en Colombia, las decisiones que construyen ciudad, las que forman el tejido urbano y las que hacen realidad el tema sostenible.

Es valioso mencionar que, el estudiante que desarrolló el presente proyecto de investigación, fortaleció y profundizó conocimientos en los lineamientos de materiales sostenibles que tiene el semillero de investigación Eco – Hábitat, junto a las herramientas digitales que permitieron el diseño y los análisis gracias al acompañamiento de profesionales pertenecientes al programa de arquitectura, propiciando la formación del estudiante y su futura carrera profesional, así como la intervención en eventos internacionales como la 5ta Semana Internacional de la Ciencia, Tecnología e Innovación, la 6ta Semana Internacional de la Ciencia, Tecnología e Innovación, la 3ra Edición del Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación Sector de la Construcción, SENA Regional Valle del Cauca, así como el envío del resumen para participación en la 7ma Semana de la Ciencia, Tecnología e Innovación que a la fecha se encuentra en evaluación.

La presente investigación se muestra como un aporte significativo al desarrollo sostenible de la ciudad y todo lo que conlleva el término. Por tal razón, se recomienda mantener la continuidad de este tipo de estudios aplicados en la construcción y el cuidado del medio ambiente. Con el fin de lograrlo, se invita también al sector académico, industrial y económico en general a promover acciones de carácter investigativo aplicando el uso de herramientas digitales como las usadas en el desarrollo del presente documento.

Referencias Bibliográficas

- Agudelo, H., Hernández, A. & Cardona, D. (2012). Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 15 (1), 105-117.
- Arguelles, J. (2019). *El confort térmico en la vivienda colonial y VIS en Ambalema Tolima*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Arocena, R., & Sutz, J. (2001). *La universidad latinoamericana del futuro: tendencias, escenarios, alternativas*. México: Unión de Universidades de América Latina.
- Ascanio, C. & Castro, M. (2012). *Fomento del cultivo de guadua Angustifolia Kunth como alternativa maderable en la zona rural del municipio de Hacarí, Norte de Santander, Colombia*. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.
- Azhar, S., Brown, J. & Farooqui, R. (2009). BIM-based sustainability analysis: An evaluation of building performance analysis software. *In Proceedings of the 45th ASC annual conference*, 1(4), 276-292.
- Calva, C. (2015). *Diseño de un modelo de vivienda ecológica con bambú para la zona rural de Yantzaza*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.
- Casal, A. (2015). *Análisis comparativo de la eficiencia energética en edificios existentes con diferentes herramientas de simulación energética*. Tesis de grado. Universidad de Valladolid. Valladolid, España.
- Castañeda, L. (2009). *La guadua una alternativa para la construcción de viviendas de interés social*. Tesis de grado. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Puerto Boyacá.

- Castillo, B. & Mauricio, W. (2017). *Estudio técnico para el desarrollo del bambú (Guadua Angustifolia Kunth) de sección transversal triangular (modificada) para fabricar vigas laminadas en Colombia*. Chile, Universidad del Bio Bio.
- Congreso Sudamericano de Simulación de Comportamiento (2002). *Mejoramiento de las condiciones de confort térmico en las viviendas de interés social ubicadas en Bogotá a través de simulaciones térmicas dinámicas*. Argentina: UBA.
- Couret, D. & Párraga, J. (2016). *Resiliencia urbana y ambiente térmico en la vivienda*. *Arquitectura y Urbanismo*, 37(2), 63-73.
- Di Bernardo, Á., Jacobo, G. & Alías, H. (2008). Desempeño térmico-energético de viviendas sociales del NEA. Simulaciones con la herramienta informática “ECOTECT”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12.
- Espinal, C., Martínez, H., Covalada, H; Pinzón, N. & Espinosa, D. (2005). *La cadena de la guadua en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005*. Documento de trabajo No. 65. Bogotá: El Ministerio.
- Espinosa, J. & Echeverry, D. (2002). Aplicabilidad del sistema LEED en el entorno colombiano. *Research Memorando*, 3(4), 4.
- Flores, L., Flores Larsen, S. & Filippín, M. (2007). Comportamiento térmico de invierno y verano de viviendas de interés social en la provincia de Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11(4), 1-12.
- Fonseca, L. (2019). *Análisis del comportamiento térmico de las envolventes de las viviendas VIS en la ciudad de Tunja desde el enfoque de las tecnologías limpias*. Tesis de grado.

Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.

Fuentes, V. (2015). *Arquitectura Bioclimática*. Bogotá: Universidad Autónoma Metropolitana.

Galán, R. (2014). *Estudio de demanda energética utilizando software y hardware libre en el edificio de ingeniería industrial, UES*. Universidad de el Salvador. El Salvador.

Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico*. Santiago de Chile, Chile: Cepal.

Giraldo, W. & Herrera, C. (2017). Ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial. *Ingeniería y desarrollo*, 35(1), 77-101.

Gutiérrez, J. & Gómez, R. (2002). *Diseño y Elaboración a Escala Natural de Armaduras en Guadua Angustifolia*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Iturre, A. (2013). *Proyectar mejoras del confort térmico en la vivienda de interés social Buenaventura: casa barrio ciudadela nueva Buenaventura*. Escuela de Arquitectura Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Lopez, D. (2009). *Desarrollo de un Sistema de Construcción a partir de estructuras en Guadua*. Medellín: Universidad EAFIT-Ingeniería de Diseño de Producto.

López, O. (1981). *Manual de construcción con bambú. CIBAM, Centro de investigaciones de Bambú y Madera*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.

López, O. (2003). *Bamboo: The Gift of the Gods*. Bogotá: Colombia SA.

Manzini, E. & Bigues, J. (2000). Ecología y democracia: de la injusticia ecológica a la democracia ambiental. *Icaria*, 25(4), 1.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2011). *Calidad en la vivienda de interés social* / Díaz Reyes, Carlos Alberto; Ramírez Luna, Julia Aurora (Eds.), Aincol (textos). Bogotá: El Ministerio.
- Minke, G. (2012). *Building with bamboo: design and technology of a sustainable architecture*. Recuperado de: https://www.google.com/search?sxsrf=ALeKk03cq-ab&ved=0ahukewj_t7hrm_3rahxftlkkhro1c_qq4dudca0&uact=5
- Nexus, U. (2014). Fomento a la actividad productiva artesanal del departamento de Cundinamarca: Informe final. Artesanías de Colombia S.A y Gobernación de Cundinamarca, Colombia.
- Palme, M. (2010). *La sensibilidad energética de los edificios*. España: Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Rea, V. (2012). *Uso de la caña guadua como material de construcción: Evaluación Medioambiental Frente a Sistemas Constructivos Tradicionales*. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Madrid Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Madrid, España.
- Salas, A. (2017). La simulación digital como herramienta para el reacondicionamiento bioclimático de edificios. Digital simulation as a tool for bioclimatic reconditioning of buildings. *Anales de Edificación*, 3(1), 32-43.
- Salas, E. (2006). *Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia*. Simón Velez: “símbolo y búsqueda del primitivo”. Tesis de grado. Universidad politécnica de Cataluña.
- Samaniego, J. (2018). *Infraestructura modular en caña guadua Angustifolia Kunth para el proceso productivo del café en el sector rural del cantón Puyango*. Universidad Católica de

Loja, Ecuador.

Sanoff, H. (2006). *Programación y participación en el diseño arquitectónico*. Tesis grado.

Universidad Politécnica de Cataluña. Cataluña, España.

Sastre, R. & Muñoz, F. (2010). *Propiedades de los materiales y elementos de construcción*.

Cataluña, España: UPC.

Susunaga, J. (2014). *Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Varini, C. (2009). Envolventes arquitectónicas: Nueva frontera para la sostenibilidad energético-ambiental. ¿Cuáles modelos y cuáles aplicaciones? *Alarife: Revista de arquitectura*, (17), 79.

Vega, J. (2016). *Investigación pre-normativa de control térmico en fachadas de edificios multifamiliares tipo VIS en la ciudad de Bogotá DC*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Velasco, R. & Robles, D. (2011). Diseño de Eco-envolventes Modelo para la exploración el diseño y la evaluación de envolventes arquitectónicas para climas tropicales. *Revista de arquitectura*, 13(1), 92-105.

Villegas, M. (2005). *Guadua: arquitectura y diseño*. Bogota: Villegas Asociados.

Yáñez, J. (2009). *Análisis de la problemática actual en la construcción de vivienda de interés social en Cúcuta y sus posibles soluciones*. Bogotá: Universidad de los Andes.

ANEXOS

Anexo 1. Posibilidades constructivas de la guadua

POSIBILIDADES CONSTRUCTIVAS DE LA GUADUA

GUADUA ROLLIZA

UNIONES ZUNCHADAS
Conexión de zuncho y mortero

UNIONES EMPERNADAS
Unión con pernos axiales, transversales y mortero

ENTALLADURAS
Corte de dos orejas

NUDOS Y AMARRES
Cuadrado o triquete de amarre

UNIONES ZUNCHADAS
Conexión con pernos, platinas y mortero

UNIONES EMPERNADAS
Unión con pernos axiales, transversales y mortero

ENTALLADURAS
Uniones clavadas

NUDOS Y AMARRES
Amarre en diagonal

UNIONES ZUNCHADAS
Unión con pernos axiales y transversales

ENTALLADURAS
Cortes

NUDOS Y AMARRES
Nudo de ginebra o tripodada

UNIONES ZUNCHADAS
Boca de pescado con clavijas y pasadores de madera

ENTALLADURAS
Soporte vertical con corte 2 orejas

NUDOS Y AMARRES
Amorre en tijeras

UNIONES ZUNCHADAS
Boca de pescado con clavijas y amarre en cruz

ENTALLADURAS
Soporte con boca de pescado y amarre con sección de guadua

NUDOS Y AMARRES
Boca de pescado y 2 orejas con clavijas

UNIONES ZUNCHADAS
Boca de pescado con pernotensor

UNIONES EMPERNADAS
Boca de pescado con clavijas y amares

ENTALLADURAS
Boca de pescado y cuña de madera

NUDOS Y AMARRES
Pasadores y ajustadores de amarre

UNIONES ZUNCHADAS
Soporte vertical con core 2 orejas y pieza de madera

ENTALLADURAS
Corta de un lado

NUDOS Y AMARRES
Corta de un lado

GUADUA EN TEJIDO

Tejido hexágono

Tejido ajro

Espera en puentes y caminos

Tejido de guadua en la construcción

Tejido cuadrado

Possibilidades de diseño en paneles de guadua

Tablero de chapa tejido

Panel acustico con residuos de guadua

Tableros en guadua

Chapas planificadas en lamina de guadua

Detalle de tablero aplicado para ventanas

Tablero en particulas de guadua

Muro de esterilla con bahareque

Chapa estructural en guadua

Chapas en guadua con núcleo de madera

Panel con esterilla de guadua

TIPO PANEL

Estructura de latillas horizontales y verticales

Paneles con latas de guadua

Divisiones con latillas

Estructura geodésica con laminados de guadua

LATAS DE GUADUA

Unión con esfera metálica

Unión con piezas de caucho

Extremo de guadua cónica y módulos de ensamble metálicos

UNIONES MODERNAS

La necesidad de crear nuevas uniones y disposiciones de la guadua han llevado a estudios en temas de ingeniería, arquitectura y diseñadores de productos industriales a renovar la creatividad en nuevas formas de ensamble

Unión con articulación de juntas metálicas

Unión con cordones metálicos

Unión de bola metálica con aberturas perforadas

Uniones con madera, guadua y platinas

Estructura espacial con unión de esteras metálicas

Guadua y módulos de ensamble metálicos

Unión de botellas pet, cilindro de hierro y guadua

Estructura geodésica con módulos de borras plásticas

Unión con piezas de caucho

Extremo de guadua cónica y módulos de ensamble metálicos

GUADUA EN TEJIDO
Lo artesanal y el arte del tejido con guadua se remonta de hace 5 o 6 mil años atrás en China. Se han encontrado métodos de fabricación con el fin de lograr cosas de arte que representen a sus pueblos nativos y embellecer los recursos naturales que poseen en su territorio. Existen al respecto de 50 métodos, entre ellos emborzar, tejer y entrecruzar.

GUADUA ROLLIZA
Los culmos de guadua son usados en su estado natural siendo alterados nada más que por perforaciones e inclusión de materiales externos con el fin de desarrollar las nuevas tecnologías de ensamble y uniones. Lo anterior lleva a material a unas características estructurales que potenciarán las propiedades mecánicas de este.

LATAS DE GUADUA
El componente básico para los laminados, las latas, se componen de la parte gruesa del tallo, principalmente llamado "copa", "base" y "sobresosa" es decir, los primeros 8 a 12 m de un tallo de guadua. El proceso del "hacer" o sea 6 a 10 "latas" por tallo de guadua, un segundo paso de cavillado las convierte en "tabillas".

TIPO PANEL
La guadua implementada en muros tipo panel han sido una solución muy asertiva para comunidades que han entendido los beneficios de la construcción en guadua, su estabilidad económica cuando es ejecutada de forma masiva, la rapidez de construcción, la inclusión por necesidad conocimiento básico, un trasfondo que lleva a apropiarse del lugar y de sentido propio.

ENVOLVENTE
MÓDULO EN GUADUA PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

Estudiante: **BRAYAN LUKY MENDOZA GRANADOS**

Director: **ASTRID MATILDE PORTILLO R.**

Codirector: **JAVIER LEMUS TORRES**

gram ECOHÁBITAT
INSTITUTO DE INVESTIGACION

A UPS

Anexo 2. Compendio gráfico del proyecto de investigación

The graphic compendium features a dark background with a subtle geometric pattern of interconnected triangles. On the right side, there are three diamond-shaped cutouts showing interior architectural details: a wooden lattice structure, a window with a wooden frame, and a doorway with a wooden frame. The text is arranged as follows:

compendio gráfico del proyecto:

ENVOLVENTE

modular en guadua como estrategia de diseño pasivo para viviendas de interés social en la ciudad de cúcuta.

Logos: UFPB Universidad Francisco de Paula Santander, gram (Grupo de Investigación en Arquitectura y Urbanismo), and ECOHÁBITAT SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN.

Project Information:

Proyecto de grado

Envolvente modular en guadua como estrategia de diseño pasivo para viviendas de interés social en la ciudad de Cúcuta.

Autores:

Est. Brayan Lukey Mendoza Granados
Arq. Astrid Matilde Portillo Rodríguez
Arq. Javier Andrés Lemus Torres

Semillero de Investigación Ecohabitad
Universidad Francisco de Paula Santander

2020

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

Justificación del proyecto y metodología del proyecto.
Contexto.
Objetivos.

CAPITULO 1 pag 11

La guadua y sus posibilidades constructivas.

Guadua.
Partes de una guadua.
El corte.
Preseleccion.
Limpieza, blanqueamiento y secado.
Observación visual por defectos; diámetros y espesor de la guadua.
Tejido en guadua.
Guadua rolliza.
Nudos y amarres.
Entalladuras; juntas de miembros horizontales y verticales.
Uniones empedernadas y uniones zunchadas.
Latas de guadua.
Tipos de panel.
Uniones modernas.

CAPITULO 2 pag 29

Viviendas de interés social y sus características de envolvente.

Características de la envolvente en VIS.
Mampostería confinada, sistemas constructivos industrializados y mampostería estructural.
Aspectos climáticos de la envolvente en VIS.

CAPITULO 3 pag 35

Fundamentos para el diseño de la envolvente en guadua.

Fundamentos para el desarrollo de la envolvente: estrategias de diseño carta psicométrica y estrategias de diseño bioclimática.
Dispositivos de control solar.
Envolvente arquitectónico; diseño de la envolvente.
Factores determinantes de la envolvente.
Formulación e implementación de la estructura paramétrica.

CAPITULO 4 pag 41

Simulación y análisis energético de la envolvente modular en guadua.

Simulación energética en edificios.
Sistema de calificación y programas certificados.
LEED, niveles de calificación LEED.
Metodología de la modelación.
Comparación horas de confort según normas Ashrae.

INTRODUCCIÓN

2

La presente investigación hace referencia a una propuesta de diseño en viviendas de interés social sostenibles, donde la prioridad es el cuidado y la preservación del medio ambiente debido a los cambios climáticos que se han presentado en los últimos años como las altas temperaturas y la contaminación por parte de la fabricación y el desecho de materiales de construcción, por este motivo se entiende la necesidad que desde la vivienda se genere una conciencia frente al medio ambiente, no solo por la construcción en sí misma sino por las personas que las habitan.

1 Investigar lo disponible en materia prima para la construcción.

2 Entender lo que se tiene y lo que se puede utilizar.

3 La apropiación del lugar que aporta a un carácter cultural y social.

POSIBILIDADES CONSTRUCTIVAS PARA UNA FACHADA EN UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL CON EL USO DE LA GUADUA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.



Material sostenible y de baja contaminación.



Generador de empleo desde su cultivo hasta su construcción.



Material de construcción de muy bajo costo.

Desde el Semillero de Investigación de Arquitectura y Materiales Sostenibles Eco-Habitad del programa de arquitectura, se investigan los medios de levantamiento para la fachada en una vivienda de interés social siendo la guadua el componente principal de la construcción.

3

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO



-Contrarrestar los efectos dados por el cambio climático.



-Déficit presentado en la calidad de las viviendas de interés social en Colombia.



-Un impacto nacional que ocasione el uso de materiales propios y sostenibles en la construcción



-Inclusión de las herramientas digitales en los procesos constructivos tradicionales

METODOLOGÍA DEL PROYECTO

INVESTIGACION DOCUMENTAL Y EXPERIMENTAL





6

CONTEXTO

El problema de investigación se ubica en la ciudad de Cúcuta con una latitud de 7°53' 38" N, longitud de 72°30' 28" O y a 309m sobre el nivel del mar, limita por el Norte con el municipio de Tibú; por el Occidente con los municipios de el Zulia y San Cayetano; por el Sur con los municipios de Villa del Rosario, Bochalema y Los Patios y por el Oriente la República de Venezuela y el municipio de Puerto Santander.

Los asentamientos informales han sido una problemática urbana a nivel mundial donde la población más vulnerable, al no tener la capacidad económica para adquirir una vivienda, se asienta y habita en condiciones casi inhabitables. La problemática aumenta cuando se construye sin conciencia del contexto, determinantes climáticas y condicionantes que deberían ser tomadas en cuenta para el diseño y construcción de una vivienda. Por tal motivo, el estudio climatológico de la ciudad de Cúcuta será fundamental para el presente proyecto de investigación.



7

OBJETIVOS GENERALES



Diseñar una envolvente modular como estrategia de diseño pasivo para viviendas de interés social con la utilización de la guadua para optimizar el confort térmico.

8

OBJETIVOS ESPECIFICOS



Identificar y consolidar posibilidades constructivas de la guadua en edificaciones como alternativas en la construcción de viviendas de interés social.



Establecer las características de materialidad en la envolvente de vivienda de interés social con el fin de responder a las necesidades climáticas de la ciudad de Cúcuta.



Caracterizar las posibilidades constructivas y propuesta de diseño de la envolvente modular en guadua aplicadas para viviendas de interés social.



Evaluar el rendimiento térmico de la envolvente modular en guadua por medio de herramientas digitales donde compruebe la disminución de temperatura al interior de la edificación.

9



10

CAPITULO 1

La guadua y sus posibilidades constructivas.

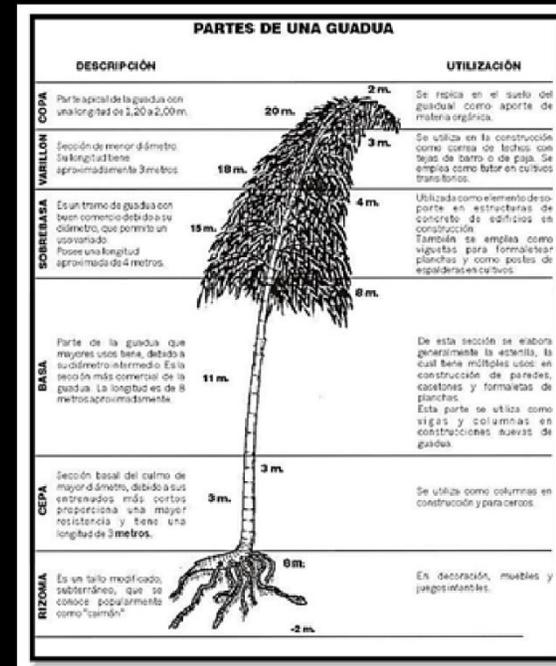
11

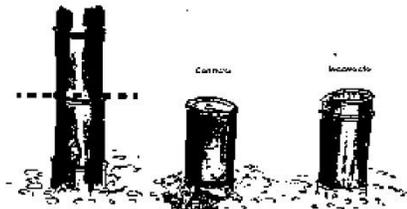


GUADUA

Lo siguiente hace referencia a la descripción de la especie *Angustifolia Kunth*, esta especie se conoce con diferentes nombres comunes en cada país Colombia "guadua" o "macana". El bambú no es un árbol, sino una hierba arborecente gigante, o en otras palabras, una hierba gigante leñosa.

Esta es una de las especies más importantes del mundo, debido a su gran resistencia y durabilidad, siendo el vegetal de más rápido crecimiento. Llegando en una etapa a crecer hasta 20 cm diarios. Produce más biomasa que cualquier madera tropical, y de mejor calidad, en condiciones ideales se podría llegar a 50 Tn/ha/año. En cuatro años puede ser cosechada. Se siembra una sola vez, y produce brotes indefinidamente, mejorando su calidad con el tiempo.





Corte de la caña guadua.

EL CORTE

La edad óptima para cortar el bambú *Guadua Angustifolia* y utilizarlo en la construcción es de 4-6 años de edad, que es cuando alcanza su madurez caracterizada por tener menos humedad y un tejido más duro (Aguilar Lucila, 2018).

La mejor hora considerada para la procedencia del corte es en la madrugada antes de que salga el sol, aproximadamente entre las 4:00am y 6:00 am con una prolongación hasta las 9:00am.



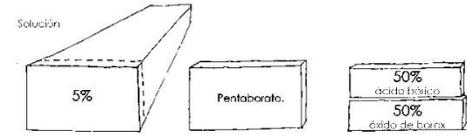
Fases de la luna para la cosecha de la caña guadua.

PRESERVACIÓN

Por la composición que posee la guadua y al ser madera vegetal es un material muy apetecido por hongos e insectos que lo deterioran, la diferencia entre un bambú que esté preservado y otro que no lo esté es muy extensa en la construcción, al preservarlo su vida útil puede ser alargada hasta 20 años, mientras uno que no esté procesado tendrá 2-3 años antes de deteriorarse en su totalidad.



Perforación de entre nudos.



Porción de la solución pentaborato.



Inmersión de los culmos en la solución pentaborato.

Figura. Escurrimiento de los culmos

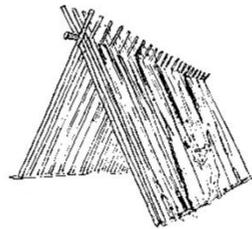


LIMPIEZA

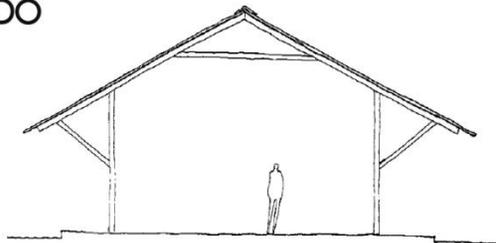
Una vez concluido el proceso de inmersión las cañas deben ser limpiadas del musgo, y líquenes en su mayoría, para lo cual hay varios métodos manuales. Generalmente el uso de una hidro-lavadora con chorro de agua a presión.

BLANQUEAMIENTO

Para que las superficies de las cañas sean más claras y adopten el color amarillo típico del bambú de manera homogénea, se deben exponer al sol de manera controlada. En un área libre colocar dos trípodes y un travesaño e ir inclinando los bambúes en ambos sentidos; este proceso dura máximo un mes.



SECADO



. Los culmos se apilarán por capas separadas entre ellas para que exista ventilación. Este proceso toma entre 2 y 3 meses.

OBSERVACIÓN VISUAL POR DEFECTOS

1. Defectos relativos a la constitución anatómica: desviación angular.
2. Defectos relativos al ataque de agentes biológicos perforaciones grandes y pudrición.
3. Defectos originados en el transporte y almacenamiento de la guadua.
4. Defectos originados durante el secado.
5. Ataques biológicos.

DIÁMETROS Y ESPESORES DE LA GUAUDA

D

Autor	Media	Mínimo	Máximo
García, (2004)	105	64	158
Stamm, (2002)	115	106	130
Montoya y Morales, (2001)	110	80	130
Takeuchi y Cortés, (2012)	125	110	170

E

Autor	Promedio	Desviación estándar
García, (2004)	16	2
Stamm, (2002)	17	3
Montoya y Morales, (2001)	14	5
Takeuchi y Cortés, (2012)	19	5



Posibilidades constructivas

La guadua presenta múltiples posibilidades de uniones y ensambles aplicadas en la construcción, las cuales varían de acuerdo a las necesidades y la aplicación en cada proyecto.



Beneficios sociales y económicos.



Beneficios ambientales.



Habilidades fisicomecánicas.



Aislamiento térmico y acústico.



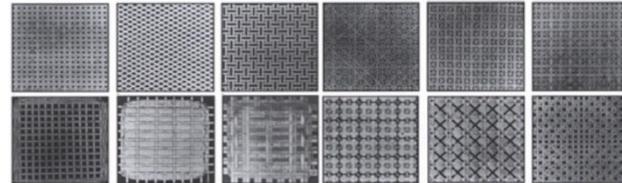
Resistencia al fuego.



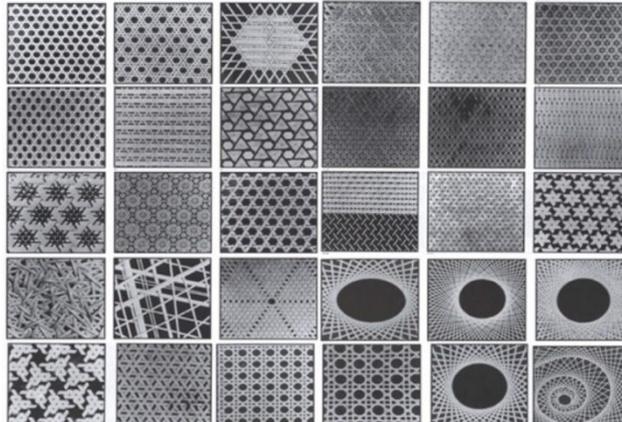
La guadua comercial.

TEJIDO EN GUADUA

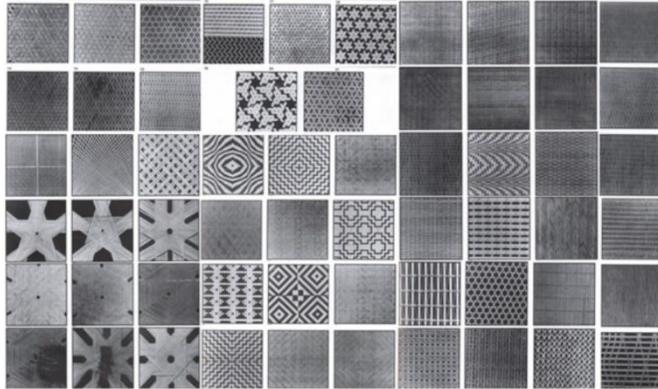
Tejido cuadrado.



Tejido hexagono.

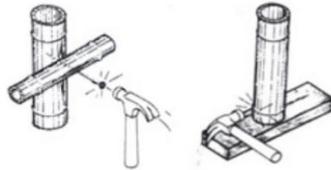


Tejido ajiro.



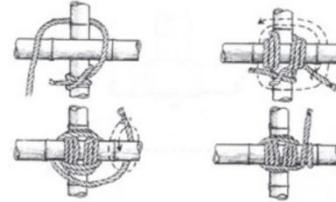
GUADUA ROLLIZA

El uso de la guadua rolliza en su estado natural se ha propuesto en múltiples formas de aprovechamiento para la construcción, se ha estudiado cómo las uniones y juntas entre ellas llevan al material a unas características estructurales que potencializan las propiedades mecánicas de este.

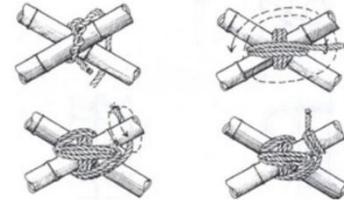


UNIONES CLAVADAS

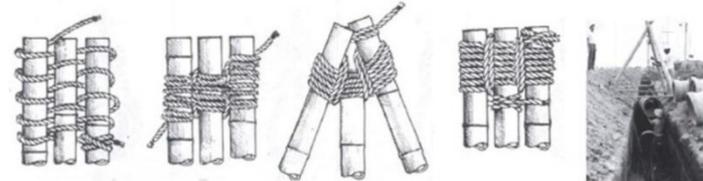
Cuadrado o trinquete de amarre.



Amarre diagonal.

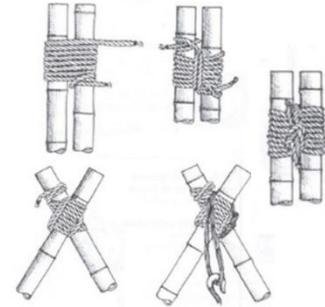


Amarre de ginebra o trípone (Usado como polea).

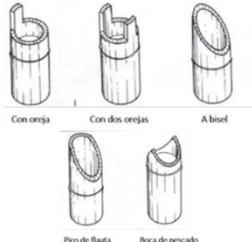


NUDOS Y AMARRES

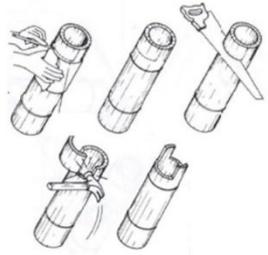
Bípode (amarre de tijeras).



ENTALLADURAS



Entalladuras en guadua.

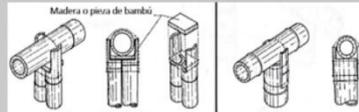


Proceso de manufactura corte con dos orejas.

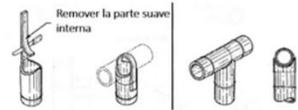
JUNTAS DE MIEMBROS HORIZONTALES Y VERTICALES



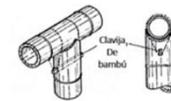
SopORTE vertical con corte 2 orejas.



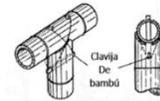
SopORTE vertical con corte 2 orejas y pieza de madera.



SopORTE con corte boca de pescado y amarre por sección de corte de la guadua.



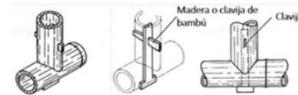
Boca de pescado con clavijas y amarres.



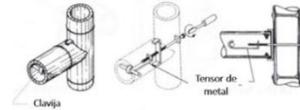
Boca de pescado con clavija y amarre en cruz.



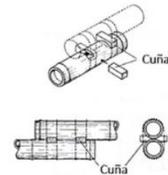
Boca de pescado y 2 orejas con clavijas.



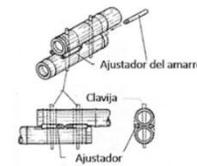
Boca de pescado con clavijas y pasadores en madera.



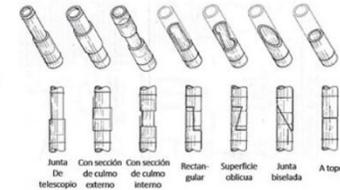
Boca de pescado con perntensor.



Boca de pescado y cuña de madera.



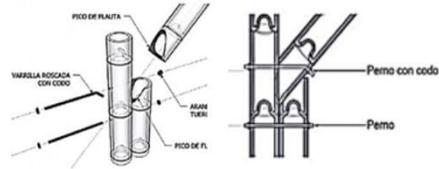
Pasadores y ajustadores de amarre.



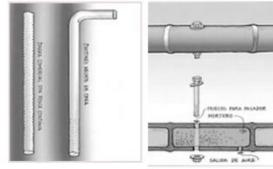
Empalmes horizontales.

UNIONES EMPERNADAS

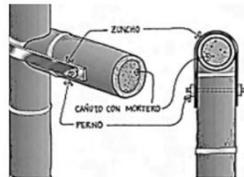
Unión con pernos axiales y transversales.



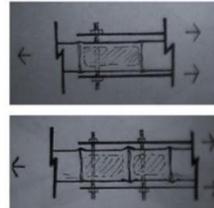
Unión con pernos axiales, transversales y mortero.



UNIONES ZUNCHADAS

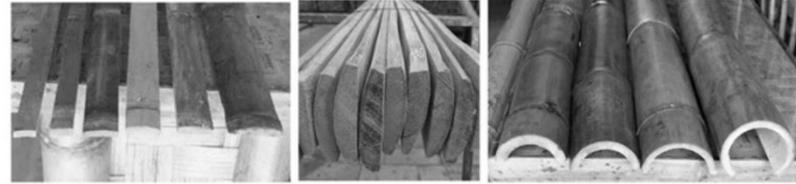


Conexiones zunchadas.



Conexión con pernos, platinas y mortero.

LATAS DE GUADUA



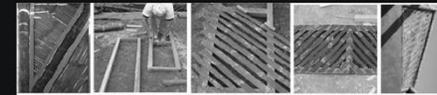
Paredes Ipirti.

Estructura geodésica con laminados en guadua.



Paneles con latas de guadua.

Disposición en panel.



T
I
P
O

P
A
N
E
L



Muro panel compuesto para vivienda.



Paredes Bahareque mejorado.

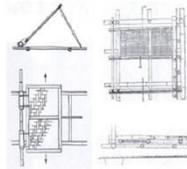


Panel con esterillas de guadua.

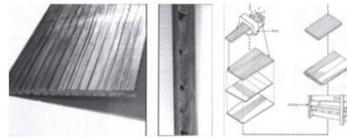
Tablero de Guadua para muros, puertas y ventanas.



Detalle de tablero en ventana.

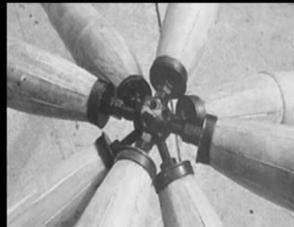


Laminados.

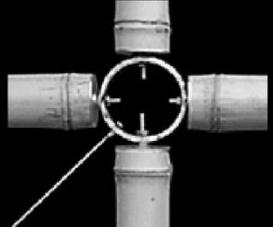


U
N
I
O
N
E
S

M
O
D
E
R
N
A
S



Unión de bola metálica con aberturas perforadas.



Unión con módulo cilíndrico metálico.



Unión con pieza de caucho.



Unión con módulo de madera y platinas.



Unión con esfera metálica.



Unión geodésica con barra plana metálica.



Unión con módulos metálicos y extremo de guadua cónica.



Unión con articulación de juntas metálicas.



Unión con cordones de alambre y pieza metálica.



Unión con cilindro de hierro y botellas Pet.



28

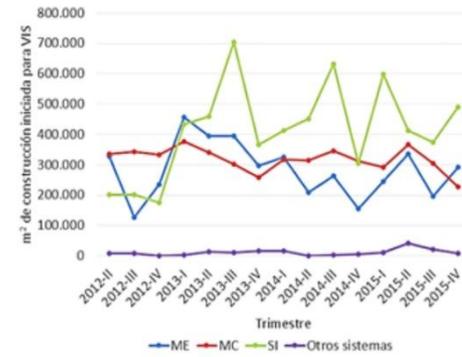
CAPITULO 2

Viviendas de interes social y sus caracteristicas de envolvente.

29



CARACTERÍSTICAS DE LA ENVOLVENTE EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL



Una selección acertada de materiales, debe brindar soluciones apropiadas al hábitat en el que está inmersa la construcción, de manera que genere bienestar permanente sin incurrir en costos elevados.

En Colombia se han implementado sistemas constructivos que puedan responder a la alta demanda de edificaciones para viviendas de interés social, para esto, un estudio estadístico de la Cámara de Comercio de Colombia (CAMACOL, 2016) identificó los sistemas constructivos más usados para VIS durante el segundo trimestre del año 2012 y el cuarto trimestre del año 2015, las cifras muestran que el uso de los Sistemas Industrializados (SI) con un 40,37% prima sobre la Mampostería Confinada (MC) con un 30,99%, la Mampostería Estructural (ME) con 27,58% y sobre otros sistemas de construcción con un 1,06% que corresponden a construcción liviana o híbridos.



MAMPOSTERÍA CONFINADA

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS INDUSTRIALIZADOS

MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL



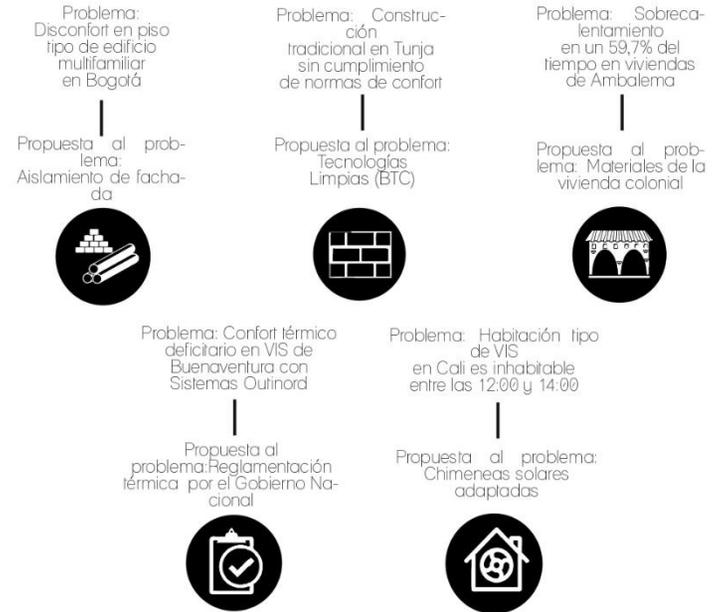
ladrillos pegados con mortero, se confinan con columnetas y vigas de armare en concreto reforzado que se vacían posteriormente a la construcción del muro, con esto se conforman láminas que funcionan como monolitos.

la producción de cemento y concreto en el país, conjugada con la apropiación de conocimientos acerca del comportamiento estructural del material y un mercado que demanda y prefiere este tipo de construcciones ha hecho que la cantidad de VIS y no VIS materializadas con estos métodos sean superiores en cantidad a las de otras alternativas.



La mampostería reforzada se fundamenta en la construcción de muros portantes hechos con bloques de perforación vertical que se unen por medio de mortero y alambres de acero en el sentido horizontal.

ASPECTOS CLIMÁTICOS DE LA ENVOLVENTE EN VIS



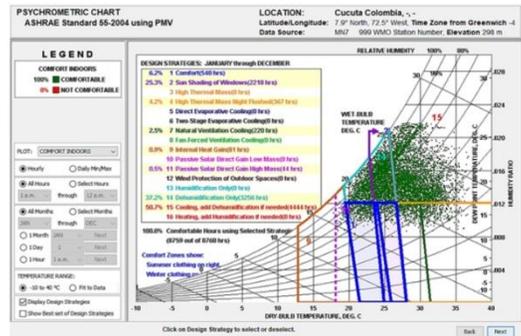


CAPITULO 3

Fundamentos para el diseño de la envolvente en guadua.

FUNDAMENTOS PARA EL DESARROLLO DE LA ENVOLVENTE

Estrategias de diseño – Carta psicrométrica.



Estrategias bioclimáticas.

Crear espacios habitables que cumplan con una finalidad funcional y expresiva.

Hacer un uso eficiente de la energía y los recursos; - Preservar y mejorar el medio ambiente.

se presenta la carta psicrométrica de la ciudad de Cúcuta con datos aportados por el IDEAM y los porcentajes de cada estrategia requerida para lograr un 100% de confort en espacios interiores de una edificación.

Horizontales	1. Alero, volado o voladizo.	
	2. Portico.	
	3. Repiza.	
	4. Persiana.	
	5. Faldón.	
	6. Pergola.	
	7. Toldo.	
8. Techo escudo o doble techo.		
Verticales	1. Pantalla.	
	2. Partesol.	
	3. Persiana vertical.	
	4. Muro doble o "muro escudo".	
Mixtos	1. Marcos.	
	2. Celosia.	
Otros	1. Remetimiento de ventanas.	
	2. Cambio de orientación de ventanas.	
	3. Contraventanas.	
	4. Nuevos acristalamientos.	
	5. Cortinajes.	
	6. Vegetación.	
	7. Elementos combinados.	

Dispositivos de control solar

Las recomendaciones del Software Climate Consultant, con un 25,3% de aporte al confort térmico si es aplicada, justifica la elección del control solar, para aumentar el confort higrotérmico en una VIS construida en la ciudad de Cúcuta, enfocados en el análisis y descripción del control solar por medio de la envolvente.

Debe pensarse más en términos de "control" y no de "obstrucción" ya que estos dispositivos deberán permitir el paso del sol en los periodos que lo requieran y evitarlo en aquellos otros donde no es conveniente que entre.

ENVOLVENTE ARQUITECTONICO

La envolvente arquitectónica es sinónimo de piel, cáscara o membrana exterior que actúa como protección a un organismo vivo, tal como es estudiado en la biología, la cual cumple la función de proteger, ocultar, mostrar o también regular temperaturas al organismo vivo con el fin de lograr un confort térmico o lumínico.

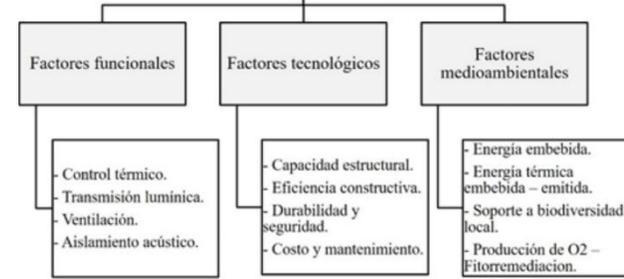
Es un sistema complejo, objeto de exploración y desarrollo que se ha enriquecido y afinado a punto de concentrar funciones pasivas y activas capaces de ser determinantes para el confort, el impacto ambiental y el consumo energético de una construcción."

DISEÑO DE LA ENVOLVENTE



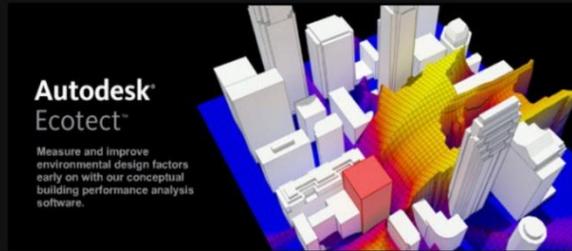
se tendrá como base un modelo paramétrico que nos permita conocer factores determinantes que influyan en el diseño e identificar los parámetros variables que rijan las configuraciones de la envolvente.

FACTORES DETERMINANTES DE LA ENVOLVENTE



FORMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA PARAMÉTRICA

- Sistema coordinado en cuanto a la función que abarcará la envolvente en la edificación (básicamente como control del sol y su aporte al confort térmico).
- La tecnología por medio de la materia prima y sus posibilidades constructivas, y también, el estudio del contexto y el aporte significativo al medio ambiente por medio del resultado final.
- Está dado por el estudio de las estrategias bioclimáticas recomendadas en la carta psicrométrica, siendo la "protección solar de venanas" con uno de los mayores aportes al confort si es aplicada a la edificación.



CAPITULO 4

Simulación y análisis energético de la envolvente modular en guadua.

SIMULACIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS

Modelar el comportamiento energético de un edificio según sus características físicas (materiales, distribución, zonas, etc.) y los sistemas que lo conforman, mediante programas de computadora; buscando someter el modelo digital a un ambiente controlado específico,



Las normativas son aplicadas de forma obligatoria, voluntaria o ambas (mixtas), la forma más eficaz de conseguir la aplicación de los códigos energéticos es de forma obligatoria en los proyectos.

SISTEMAS DE CALIFICACIÓN Y PROGRAMAS DE CERTIFICACIÓN.

Estos sistemas consisten en la creación de pautas que deberían cumplir los arquitectos, ingenieros y constructores en general con el fin de realizar edificaciones sostenibles, estos requisitos van más allá de criterios mínimos y edificaciones normalmente construidas, lo cual garantiza una acción realmente positiva al medio ambiente

LEED

Es un sistema voluntario de calificación de edificaciones basado en el consenso del mercado y en tecnología existente probada. Evalúa el desempeño ambiental sobre el ciclo vital de una edificación desde la perspectiva de la edificación vista y entendida como un todo, proporcionando un estándar definitivo para lo que se entiende como "edificación verde".

NIVELES DE CALIFICACIÓN LEED



Según el número de puntos alcanzados, un proyecto obtiene uno de los cuatro niveles.



Se estudió también, la posibilidad de usar una doble capa de envolvente en guadua con un aislamiento de 5 centímetros pensando en los tejidos y su permeabilidad, aumentar el grado de obstrucción o control del sol y la privacidad por medio de las aberturas.

El análisis se especifica en un periodo de tiempo específico, del 20 de Junio al 22 de Septiembre, como intervalo de tiempo se estableció también el recorrido del sol desde las 8 de la mañana hasta las 6 de la tarde.

SOFTWARE UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS

ECOTECT COMO SIMULADOR DE RENDIMIENTO EN EDIFICIOS.

herramienta completa de diseño ambiental y análisis de edificios que cubre la gama completa de funciones de simulación y análisis necesarias.

METODOLOGÍA DE MODELIZACIÓN

Editar acceso análisis

SPECIFIC DATE/TIME PERIOD
Elicit specific calculations for a certain date and time by selecting the specified date and time. You may specify a date range. The date range may be defined in two ways: 1) by selecting a date range in the calendar and then clicking the OK button. 2) by typing the date range in the text box.

HOW MANY DATES & TIMES DO YOU WISH TO USE?
Define the number of dates and times to be used. The maximum number of dates and times is 100.

Time Period
The time period for which the simulation is performed. The time period is defined by the start and end time of the simulation and the interval between the start and end time.

Start	End	Interval
00:00	24:00	1:00
06:00	18:00	1:00
08:00	18:00	1:00
08:00	18:00	2:00
08:00	18:00	3:00
08:00	18:00	4:00
08:00	18:00	5:00
08:00	18:00	6:00
08:00	18:00	7:00
08:00	18:00	8:00
08:00	18:00	9:00
08:00	18:00	10:00
08:00	18:00	11:00
08:00	18:00	12:00
08:00	18:00	13:00
08:00	18:00	14:00
08:00	18:00	15:00
08:00	18:00	16:00
08:00	18:00	17:00
08:00	18:00	18:00
08:00	18:00	19:00
08:00	18:00	20:00
08:00	18:00	21:00
08:00	18:00	22:00
08:00	18:00	23:00
08:00	18:00	24:00

Periodo de tiempo asignado para el análisis en Ecotect.

Crear capas para muro en mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos.

Layer Name	Units	Density	Surf.Wt.	Conduct.	Type
1	1.500	1200.0	180.000	0.760	2
2	10.0	1920.0	192.000	0.760	2
3	1.500	1200.0	180.000	0.760	2
4	10.0	1920.0	192.000	0.760	2
5	1.500	1200.0	180.000	0.760	2
6	10.0	1920.0	192.000	0.760	2
7	1.500	1200.0	180.000	0.760	2
8	10.0	1920.0	192.000	0.760	2
9	1.500	1200.0	180.000	0.760	2
10	10.0	1920.0	192.000	0.760	2

Creación de capas para muro estructural en bloques de concreto.

Creación de capas para muros de concreto de sistema industrializado.

Creación de capas para muro o pared enguadua.

Doble envolvente de pared enguadua con cámara de aire.

Se somete a prueba la envolvente en guadua y se realiza una simulación térmica comparando cuatro materiales, muro de mampostería confinada con ladrillos de arcilla huecos, mampostería estructural con bloques de concreto, muros de concreto mediante sistema industrializado y la envolvente en guadua.

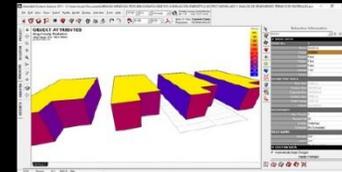
COMPARACIÓN HORAS DE CONFORT SEGÚN NORMAS ASHRAE.

	Doble piel con panel de guadua	Guadua	Mampostería estructural en arcilla	Mampostería estructural en concreto	Sistema Industrializado
ASHRAE Standard (2004)	16 h	15 h	12 h	12 h	11 h
ASHRAE Standard (2010)	19 h	18 h	14 h	13 h	16 h

los cuatro materiales están al punto máximo permitido por el rango de confort de la norma, incluso cuando están dentro del rango permitido no se encuentran la mayor parte del día, tan solo llegan a estar pocas horas en confort. Los rangos comienzan a variar directamente proporcionales al aumento de las temperaturas exteriores, es en los momentos más críticos del día cuando el material debería reaccionar positivamente como aislante térmico, sin embargo, se muestran en la gráfica que es cuando más vulnerables son frente a las inclemencias aumentando generalmente a partir de las 8 de la mañana, el resto de las horas del día la edificación se encontrará en desconfort.

Como resultado y comparación del desempeño térmico de los cuatro sistemas de construcción y en las dos versiones diferentes de la norma (2004 y 2010),

observamos que las edificaciones con mampostería en arcilla y mampostería estructural en concreto se encuentran en porcentajes medios con respecto a la guadua y el sistema industrializado, variando entre 12 y 14 horas de confort para ambas versiones de la norma. Por otra parte, el sistema industrializado para la versión del 2004 fue el que obtuvo menos horas de confort durante el día, caso contrario a la versión del 2010, demostrando más horas de confort aún más que la mampostería en arcilla y concreto, esto debido a las propiedades térmicas del material y su reacción frente a las condiciones externas del clima.



Análisis de radiación térmica en Ecotact



Desempeño térmico de muro en mampostería en arcilla (amarillo), mampostería con bloques de concreto (negro), muro con sistema industrializado (naranja) y guadua (verde).

Por último, la guadua frente a los demás materiales se distingue al brindar hasta 18 horas de confort térmico durante el día, aun así, no cuenta con la posibilidad de mantener la curva estable frente a las variaciones térmicas del día.

✓ La guadua es pensada como una oportunidad única para Colombia con el fin de fortalecer y aportar significativamente al sector de la construcción de viviendas VIS, atendiendo a las cifras mencionadas por el DANE respecto al déficit cualitativo y cuantitativo de viviendas que posee la nación.

✓ El crecimiento social y cultural se manifiesta en lo que se adquiere de su propio territorio, se conserva y trasciende, por esta razón, el desarrollo de nuevas posibilidades de construcción con el uso de materiales del lugar será clave para un positivo crecimiento de las ciudades.

✓ Se demostró que las condiciones de cada lugar son específicas, para el caso de la ciudad de Cúcuta se evidenció por medio del software Climate Consultant 6.0 que la ciudad de Cúcuta está en un escaso 6,2% del tiempo en confort durante el año, por esta razón, resulta importante aplicar las indicaciones de la carta psicrométrica que el software sugiere en cuanto a mitigar las inclemencias del clima de la ciudad por medio del diseño.

✓ "Protección Solar de Ventanas" es la segunda mayor recomendación de la carta psicrométrica, sustentando el diseño de envolvente como estrategia de diseño pasivo para lograr disminuir o mitigar las altas temperaturas de la edificación.

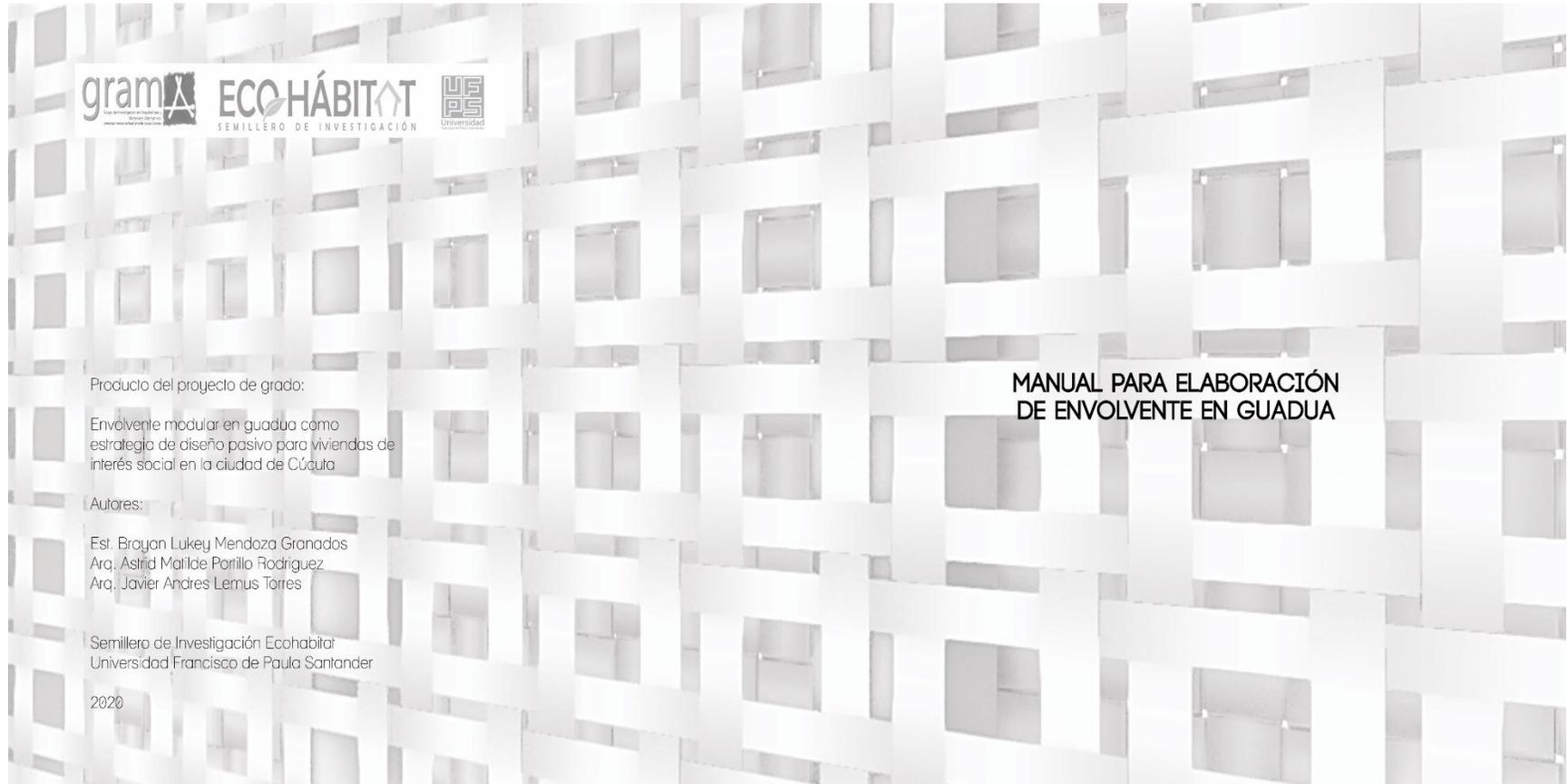
✓ La implementación de software digitales como Rhinoceros y Grasshopper incidió positivamente en los diseños finales para la envolvente en VIS; por medio de las herramientas digitales las posibilidades de diseño pueden ser infinitas por medio de la parametrización y el conocimiento de la mano de obra, los lineamientos de la sostenibilidad creando vínculos entre el conocimiento de la comunidad con la tecnología y las nuevas formas de concebir la arquitectura.

✓ La guadua aplicada como envolvente y comparada con los sistemas constructivos convencionales en la ciudad de Cúcuta, puede brindar hasta tres horas más de confort térmico a una vivienda de interés social o una edificación en general.

✓ La sostenibilidad tiene como pilar fundamental la tecnología y los procesos constructivos asociados a estudios numéricos que comprueben la respuesta honesta frente al medio ambiente, es por esto que se entendió la relevancia de lo cuantitativo frente a lo cualitativo, lo relativo y lo verídico, y la suposición frente a la comprobación.

✓ Los resultados cuantitativos demostraron que la guadua aplicada como envolvente y comparada con los sistemas constructivos convencionales en la ciudad de Cúcuta, puede brindar hasta tres horas más de confort térmico a una vivienda de interés social o una edificación en general.

Anexo 3. Manual gráfico descriptivo para elaboración de envolvente en guadua





MANUAL PARA ELABORACIÓN DE ENVOLVENTE EN GUADUA

CORTES

- Usar sierras para cortar metal, debido a la dureza de la copa de sílice.
- Hacer el corte a no más de 4 dedos u 8 cm de un nudo, en caso de no haber un nudo en el extremo del culmo, se deberá reforzar con un zuncho metálico para evitar que el culmo se abra.
- Realizar cortes en forma perpendicular a los fibras, de lo contrario se rojora.

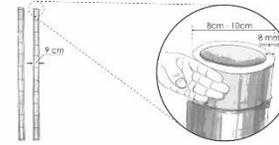
CORTE BOCA DE PESCADO

Herramientas:

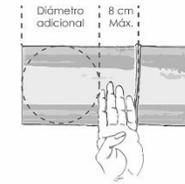
- Taladro
- Sacabocados ó copa sierra bimetálicas de 3-4" con guía.

Consideraciones:

- Dejar un diámetro adicional a la medida requerida, a no más de 4 dedos de un nudo. Esto es para tener un margen de trabajo en la boca de pescado.
- El corte deberá ser preciso de forma tal que en la unión haya contacto completo entre los culmos.
- Se deberá usar lentes y cubrebocas.
- El diámetro de la copa dependerá del diámetro del culmo a trabajar.



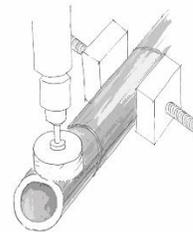
Separación del nudo para corte



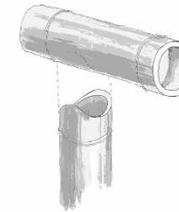
Separación máxima del nudo

Proceso:

1. Marcar con un lápiz el corte en el culmo.
2. Fijar el culmo a cortar para evitar desplazamientos.
3. Dirigir el corte en un ángulo de 90°. Para elaborar el pico de flauta alinear al ángulo requerido.
4. Empezar a cortar con alta velocidad y baja presión e ir en aumento a medida que se perfora.
5. Dependiendo del tamaño de la copa sierra, habrá que cortar por secciones.
6. Una vez cortado presentar la unión y de ser necesario pulir para que se ajuste al culmo de unión.



Elaboración de boca de pescado



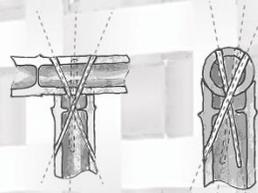
Unión boca de pescado

CORTE BOCA DE PESCADO

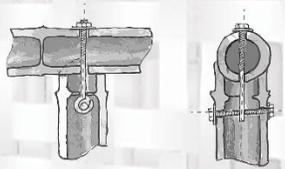
La formación de las uniones que transfieren fuerzas de un elemento a otro es indispensable en la construcción con guadua, por lo tanto, la aplicación del corte en boca de pescado para el diseño y elaboración de la envolvente es relevante por ser uno de los más comunes, óptimo estructuralmente y de baja complicación en manufactura.

Unión con varilla roscada galvanizada y pasadores de bambú

La varilla se presenta galvanizada, con tuerca y arandela respectivamente, el diámetro recomendado es varilla de 1/2" o 3/8". La varilla con gancho deberá pasar por debajo de la otra para luego tensar la unión ajustando la tuerca.

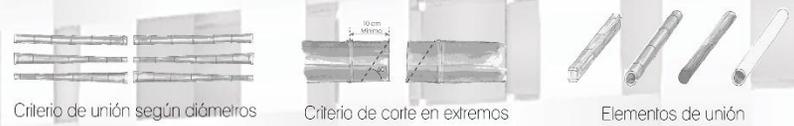


Los pasadores conformarán una "X" con el fin de que la unión resista esfuerzos en cualquier dirección. Los pasadores deberán entrar poco a poco a golpes con plana de martillo.



UNIÓN DE CULMOS LONGITUDINALMENTE

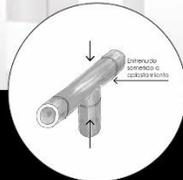
Al momento de que los culmos no logren cubrir las luces o distancias necesarias, se hace necesario resolver por medio de uniones longitudinales para resolver de forma uniforme la estructura que sostendrá la envolvente. Es necesario establecer los siguientes criterios:



- A. Los extremos a unir deberán tener un nudo a una distancia mínima de 10 cm.
- B. Hacer un corte en los extremos de manera diagonal en un ángulo de 60° aproximadamente
- C. Preparar el elemento de unión. Este debe ser un elemento longitudinal, rígido y resistente. Estos pueden ser: Latas de bambú, culmo de bambú, palo de madera o tubo metálico.

RELLENO CON MORTERO DE CEMENTO

Los ensambles en guadua de forma perpendicular tienden a ser débiles al momento de ser sometidos a esfuerzos de compresión hasta llegar a aplastarse, por tal motivo es necesario el relleno de los cañulos con mortero de cemento, aumentando considerablemente su capacidad portante.

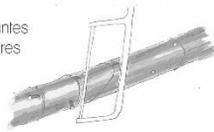


1. Ubicar los entrenudos a rellenar e identificar el extremo a perforar, este deberá estar en la parte más elevada para que el mortero fluya por gravedad.
2. Hacer el orificio utilizando una copa sierra o "saca bocada" con 1.5" de diámetro, un diámetro mayor podría debilitar el tallo del culmo.
3. Preparar la mezcla.
4. Rellenar todo el entrenudo utilizando un cuello de botella o manera de embudo para vaciar el mortero.
5. Colocar la "tapa" de bambú extraída con el sacabocados y dejar secar por lo menos dos días.

UNIÓN DE CULMOS LONGITUDINALMENTE

- A. Romper los diafragmas de los primeros dos nudos. Es importante no retirar por completo la estructura interna del nudo para no debilitar el culmo.
- B. Perforar con el taladro perpendicular a las fibras, cada perforación tendrá una separación de aproximadamente 9cm y estarán "giradas" o comúnmente llamada "a tresbolillo" es decir en diferentes direcciones unas de otras. Finalmente son fijadas con 3 pasadores de bambú o varilla rocada galvanizada preferentemente de 7/16" de diámetro.
- C. Cortar los sobrantes de los pasadores a raz del culmo y pulir bordes.

Cortar sobrantes de pasadores



Rompiendo nudos internos



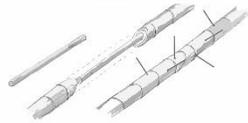
Sección con palo de madera



Se alternan las uniones



Perforación en diferentes direcciones

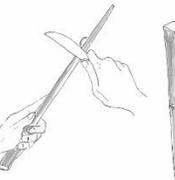


PASADORES DE BAMBÚ

- 1. Se deberán utilizar los primeros dos entrenudos de la cepa de la caña de bambú.
- 2. Los segmentos de entrenudos se deberán dividir en segmentos longitudinales dependiendo el diámetro se podrán obtener de entre 12-18 partes.
- 3. Fabricar una plantilla de metal con orificios de diferentes diámetros según se requerirán los pasadores.
- 4. Poner cada sección del culmo sobre el orificio de la plantilla de metal y haciendo uso de un martillo de madera golpear verticalmente hasta lograr sacar el pasador por el orificio.
- 5. De ser necesario pulir la punta con una navaja.
- 6. Poner a secar al sol los pasadores obtenidos durante dos días.



Pasador con plantilla metálica



Pasador con cuchillo

Una forma alternativa es dando la forma con cuchillos y navajas, es relativamente más tardada, dependerá de la maestría de los carpinteros, sin embargo resulta mejor debido a que se procura dejar parte de la capa externa de sílice la cual le confiere una mayor resistencia al pasador.

SELLAR EXTRAMOS

En las estructuras realizadas con bambú se deberán sellar todos los extremos de los culmos que podría albergar insectos o acumular polvo, suciedad e incluso humedad poniendo en riesgo la integridad del elemento.



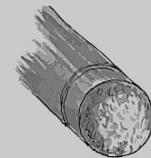
1. Realizar la mezcla para rellenar
Proporción: 50 % aserrín fino, 30% cola blanca y 20% de agua. Mezclar hasta generar una pasta espesa y homogénea.

2. Limpiar el espacio a rellenar en caso que se requiera.



3. Rellenar el espacio haciendo presión con las manos, se rellenará hasta cubrir por completo el externo y por encima del ras, dejando un ligero borde convexo, evitando así que no se genere oquedad al secarse.

4. Dejar secar.



LATAS PARA TEJIDO

Se obtienen haciendo cortes paralelos a las fibras. Se utilizan secciones de la caña de la parte basal e intermedia, utilizando culmos recién cortados y secos, armos preservados. Existen diversas formas para la obtención de latas, desde el uso de herramientas como el machete, el cortador radial metálico, o máquinas industriales diseñadas especialmente para el corte comúnmente llamadas "lameadoras".

Uso del cortador radial metálico



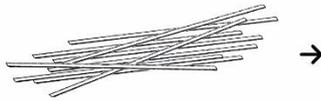
Cortador radial metálico sobre plancha



Retirar nudos internos de arcos

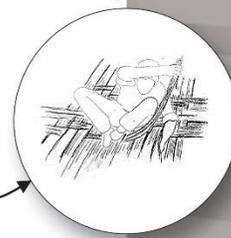


El cortador radial ejerce fuerza al culmo de forma paralela a las fibras de forma manual, o sobre una plancha ejerciendo fuerza. Si no se posee herramienta de cortadora radial se puede hacer uso del machete o cuchilla empezando cortar por la mitad del culmo longitudinalmente.



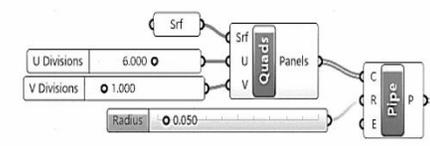
Cavado con puntillas y amarrado con alambre galvanizado o latas de bambú

Para el tejido: los tallos o latas de bambú se abren en finas tiras de piel hasta alcanzar el grosor requerido, dicho espesor comienza incluso desde los 0,6-1 mm mínimo. El tejido realizado en forma manual es clavado finalmente a otras guaduas o superficies que lo permitan fijar.



MANTENIMIENTO

- Para el mantenimiento de las estructuras durante la operación se debe aplicar una pintura de aceite o de alguna laca, aunque lo más recomendable son los aceites y resinas a base de linaza.
- Los elementos metálicos usados en las uniones que estarán en contacto con la lluvia deben tener un tratamiento anticorrosivo.
- Un producto adecuado para el mantenimiento del bambú es el aceite de palma, al cual se le deberá de incorporar dióxido de zinc o de titanio como protector UV. Una vez colocado el aceite se debe de aplicar una capa de cera para evitar que se pegue el polvo.
- Éste mantenimiento deberá realizarse en periodos de 2 años.



DISEÑO DE LA ENVOLVENTE: FORMULACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL MODELO PARAMETRICO

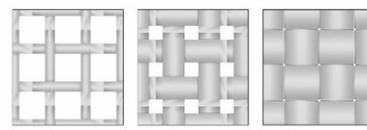
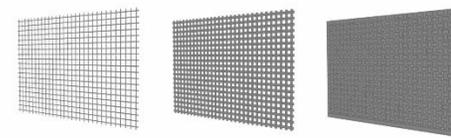
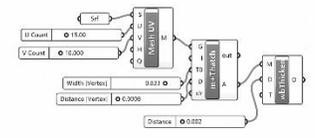
En búsqueda de nuevas morfologías y de responder al proceso y evolución que se ha tomado con el concepto de envoltorio y la construcción en guadua, se encuentran los medios digitales como una herramienta que nos permita el diseño final y lograr un resultado que pueda ser controlado en su forma y a su vez función.

A continuación, se describen y desarrollan los partes de lo que será el modelo de la envoltorio paramétrica, esto nos dará rangos que pueden cambiar dentro del sistema. A estos partes se les puede denominar parámetros de diseño.

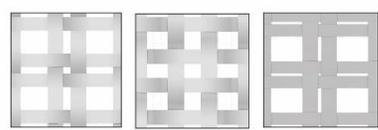
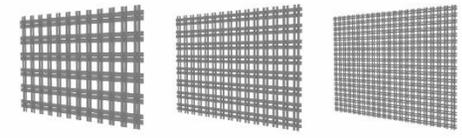
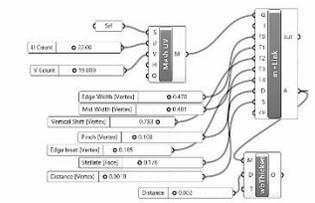
PARÁMETROS DE ESTRUCTURA

La fórmula permite variar el número de secciones longitudinales o transversales de la estructura y las dimensiones radiales de la guadua, las cuales se tomó como referencia 0.050m de radio y un total de 6 secciones transversales para reducir las distancias entre cumlo y cumlo. La separación de los cumlos corresponde a 0.4m mínimo con el fin de lograr contener el tejido de envoltorio lo suficientemente templado y anclado.

PARÁMETROS DE CERRAMIENTO

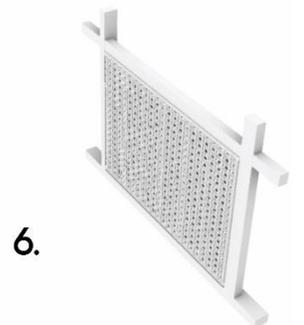
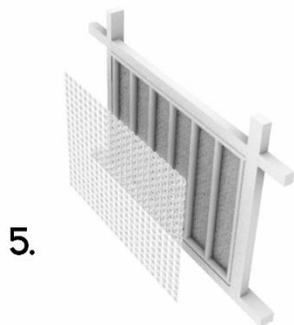
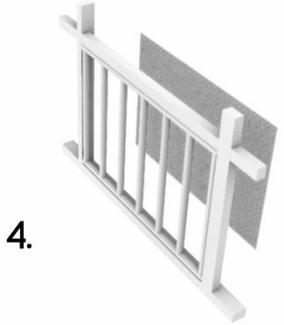
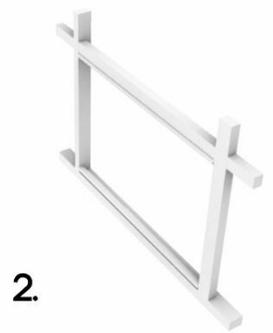
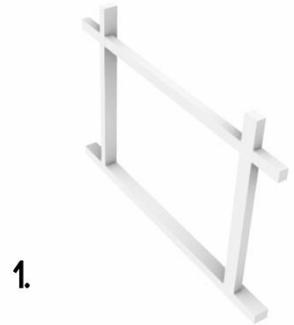


Los parámetros de cerramiento definen la manera en que el sistema envoltorio interactúa con el medioambiente circundante, determinando diversos tipos y niveles de intercambio energético. Por tal razón, de acuerdo a la necesidad o recinto de la vivienda será el grado de permeabilidad del tejido.



Los fórmulas presentan el patrón de tejido cuadrado con dos variables de diseño o artesanía, la primera más compacta y cerrada, y la segunda más permeable y abierta según se requiera. Los valores de la fórmula se adaptan también a los anchos de las tiras extraídas de las latas de guadua.

PROCESO CONSTRUCTIVO



PROCESO Y DETALLES ESTRUCTURALES



1.

2.

Las viviendas VIS presentan un sistema estructural articulado convencional, conformado por zapatas, vigas y columnas unidas a través de nudos formando pórticos resistentes.

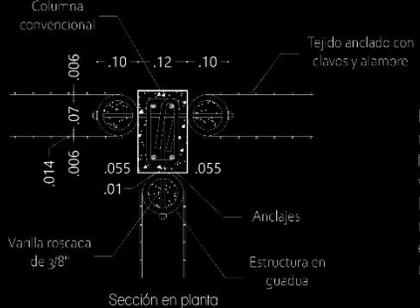
El amazón estructural interno de este sistema permite involucrar la estructura en guadua que contendrá el tejido como envolvente.

Se sujetan los culmos longitudinales a la estructura convencional por medio de anclajes salientes del amazón interno, esto con el fin de posteriormente recibir los culmos transversales en corte boca de pescado.

Se aplicará el uso de "unión longitudinal" entre culmos si estos no llegaran a alcanzar las distancias requeridas.

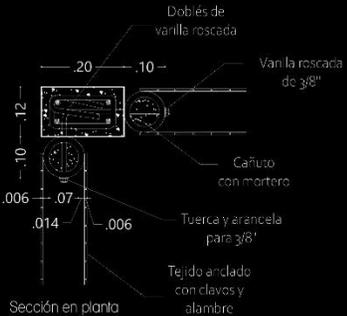



La estructura en guadua se adosa a la estructura convencional por medio de varillas roscaadas, estas se anclan al amazón de la columna y sobresalen para pasar a través del culmo y finalmente ser sujetado por la presión ejercida con la tuerca. Con el fin de que el culmo no sea aplastado por la presión de la tuerca es necesario la aplicación del mortero de cemento en cada nudo que involucre la penetración de la varilla.

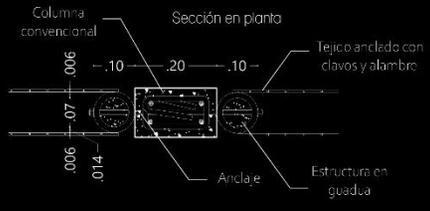


Sección en planta

Para este caso, el sistema de anclaje con varilla roscaada entre la estructura de guadua y la estructura convencional se aplica para las columnas, vigas de dimensionación y vigas de amarre, los cuales sujetan los culmos conformando así un marco rígido que contendrá los culmos transversales y el tejido de envolvente. Las varillas cumplirán unas medidas correspondientes a 3/8" o 1/2".

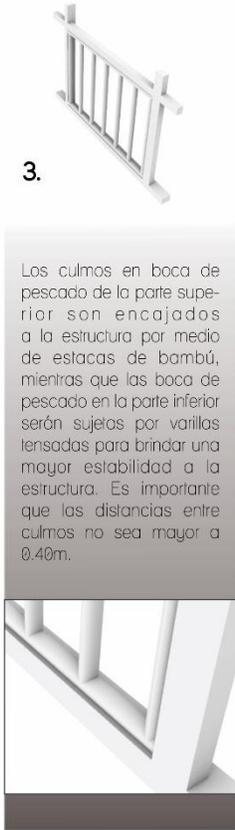


Sección en planta



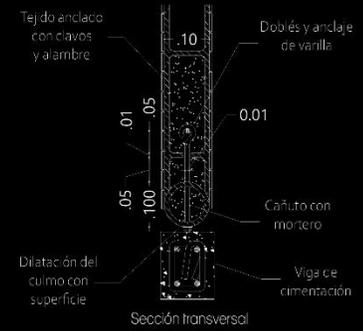
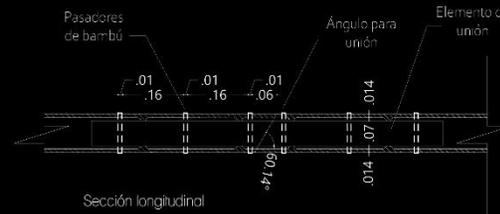
Sección en planta

PROCESO Y DETALLES ESTRUCTURALES



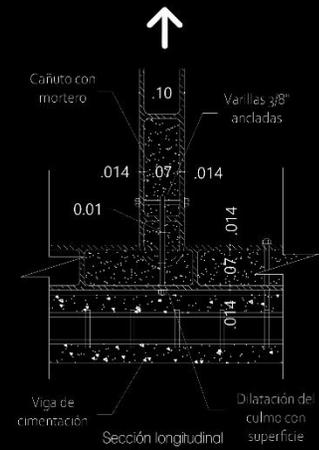
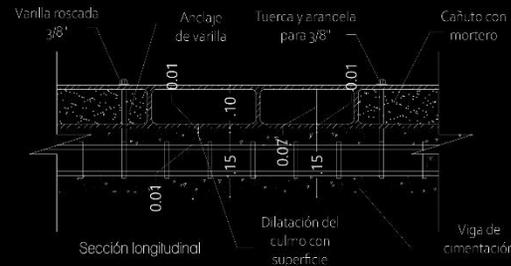
Los culmos en boca de pescado de la parte superior son encajados a la estructura por medio de estacas de bambú, mientras que las boca de pescado en la parte inferior serán sujetos por varillas tensadas para brindar una mayor estabilidad a la estructura. Es importante que las distancias entre culmos no sea mayor a 0.40m.

Los pasadores deberán estar totalmente secos y no se utilizarán pasadores que presenten rajaduras. El diámetro del pasador deberá ser por lo menos 1 mm mayor que diámetro del orificio hecho por la broca del taladro. Para introducirlos se usará morillo de madera.

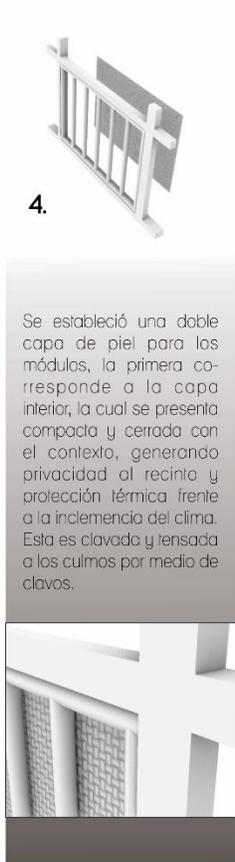


Debido a que la guadua tiende a ser débil al aplastamiento, los cañutos son rellenos con mortero de cemento y arena 1:3 o 1:4, esto es aplicado a los cañutos perforados por las varillas del armazón de la estructura convencional y en las uniones con corre boca de pez.

Existe una dilatación proporcionada por la altura de la fuerza, lo cual brinda el beneficio de aislar el culmo del contacto directo con la superficie, pues aún cuando los culmos han sido preservados y aplicado lacas de protección el mantenimiento se prolongará por más tiempo si se evita el contacto directo con el suelo.

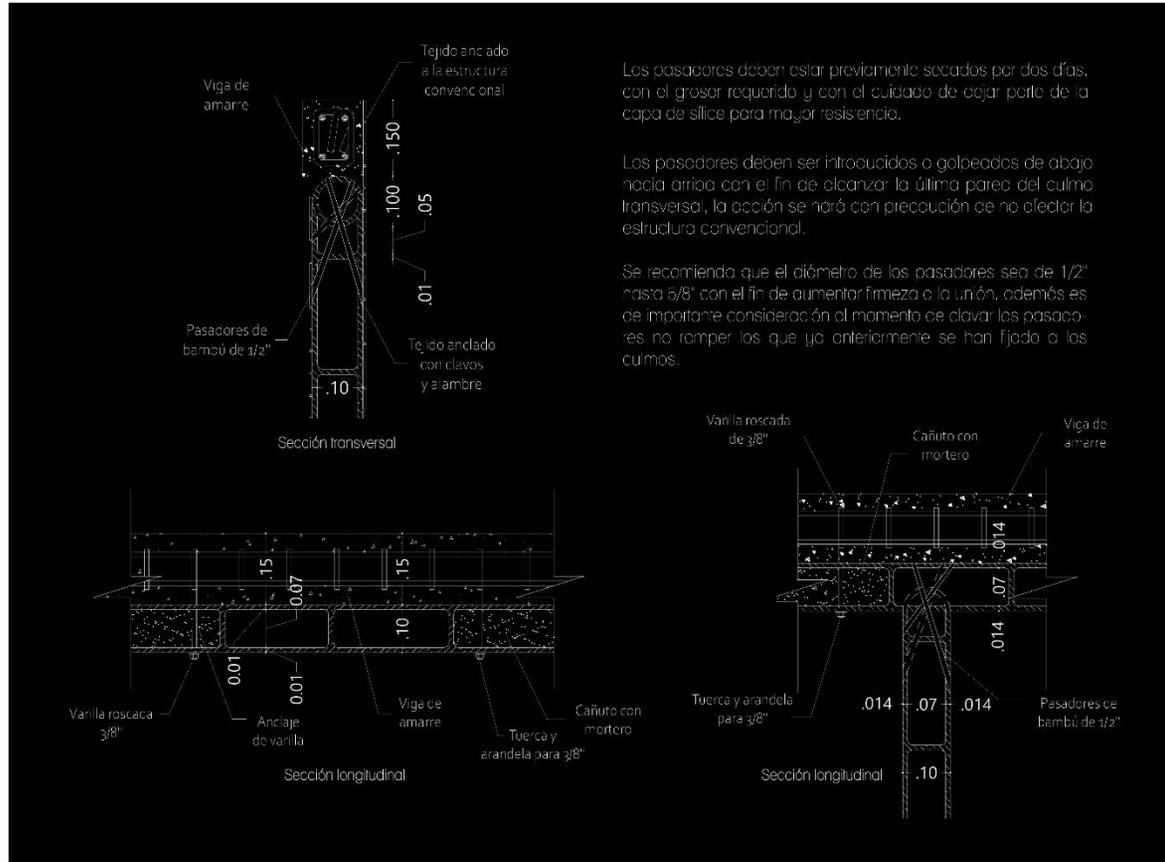


PROCESO Y DETALLES ESTRUCTURALES



4.

Se estableció una doble capa de piel para los módulos, la primera corresponde a la capa interior, la cual se presenta compacta y cerrada con el contexto, generando privacidad al recinto y protección térmica frente a la inclemencia del clima. Esta es clavado y tensada a los culmos por medio de clavos.

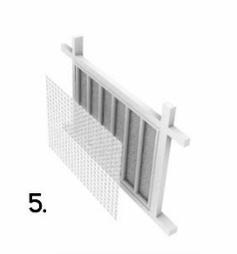


Los pasadores deben estar previamente secados por dos días, con el grosor requerido y con el cuidado de dejar parte de la capa de sílice para mayor resistencia.

Los pasadores deben ser introducidos o golpeados de abajo hacia arriba con el fin de alcanzar la última pared del culmo transversal, la acción se hará con precaución de no afectar la estructura convencional.

Se recomienda que el diámetro de los pasadores sea de 1/2" hasta 5/8" con el fin de aumentar firmeza a la unión, además es de importante consideración al momento de clavar los pasadores no romper los que ya anteriormente se han fijado a los culmos.

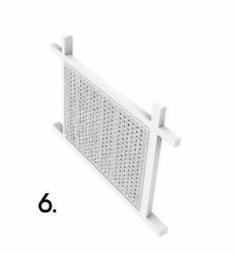
PROCESO Y DETALLES ESTRUCTURALES



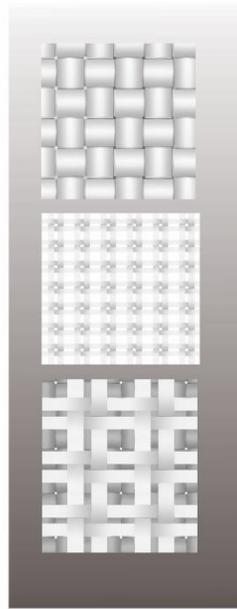
5.

La segunda capa de la envolvente se presenta con un tejido más abierto y permeable frente al exterior, siendo unida a los culmos por clavos a cada 0.04m o 0.05m.

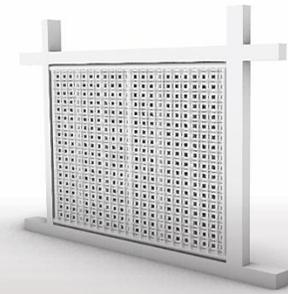
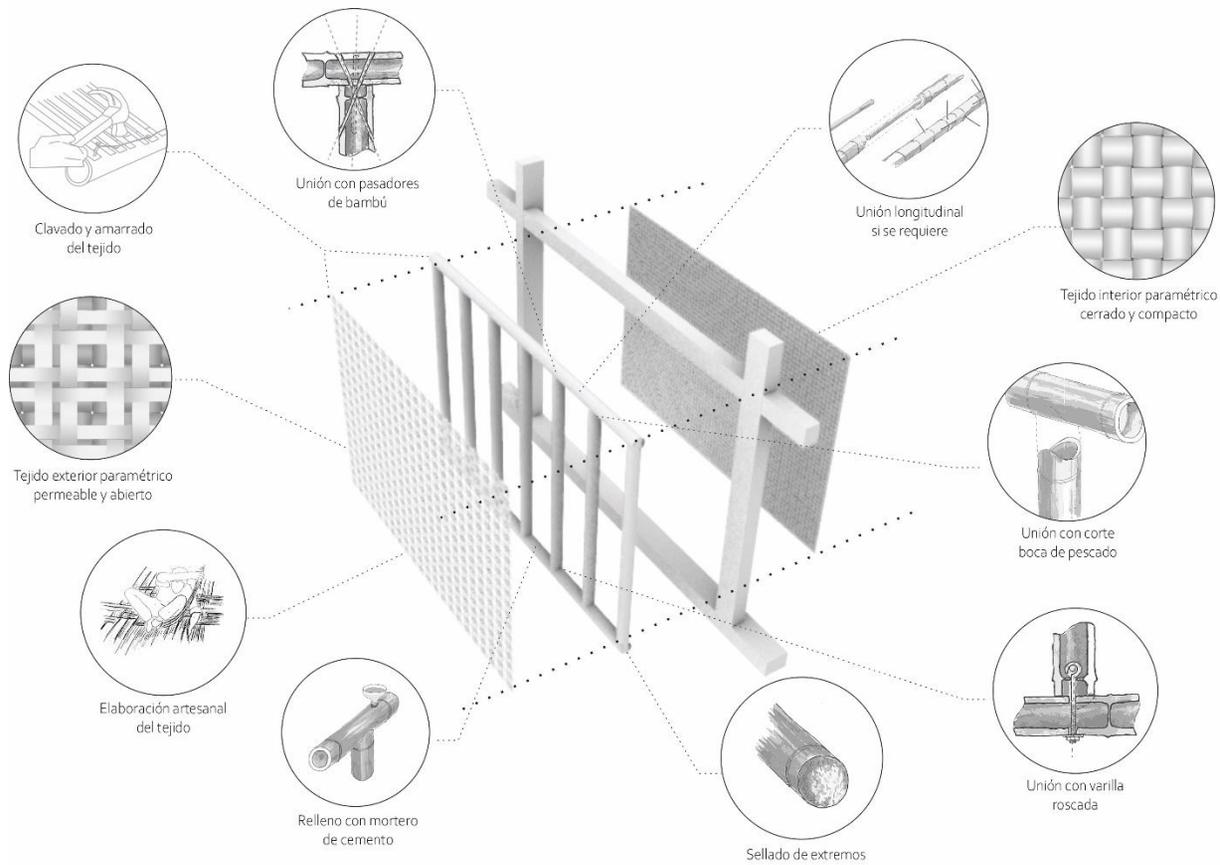
Existe también un aporte significativo a la estética de la vivienda, siendo lo artesanal lo más relevante y concebida como lo más esbelto de la edificación.



6.



Tanto la capa exterior de tejido como la interior son clavadas a los culmos de guadua por medio de puntillas y se refuerza con alambre galvanizado para tener más presión sobre el culmo y evitar que se desprenda. La estructura en guadua es fundamental para la aplicación del tejido como envolvente, la distancia mínima de 0.04m entre culmo y culmo se realiza con el fin de estabilizar y disminuir grandes luces de distancia y obtener un tejido más tenso y compacto.



La envolvente actúa con un lenguaje modular adaptable a cambios geométricos de la edificación, respondiendo a factores determinantes como su función de proteger y responder al recinto que envuelve, el factor tecnológico intrínseco en el diseño y parametrización de esta por medio de software, y factores medioambientales como respuesta honesta frente a las condiciones climatológicas de la ciudad. Además, la creación de espacios habitables confortables y saludables se hace posible por medio de estrategias bioclimáticas aplicadas en la envolvente propiciando el desarrollo integral de los habitantes en la edificación, siendo la guadua como condicionante de la construcción y protagonista estético, generando una identidad cultural como tejido social.



"Cuando se habla de la envolvente como dispositivo de control solar normalmente se piensa en elementos que obstruyen el paso de los rayos solares, sin embargo, debe pensarse más en términos de 'control' y no de 'obstrucción' ya que estos dispositivos deberán permitir el paso del sol en los períodos que lo requieran y evitarlo en aquellos otros donde no es conveniente que entre."

Dicho lo anterior, sería miope entender los dispositivos de control solar solamente como una estrategia que es aplicada a las ventanas o la fachada en general, como elemento de protección. Es necesario comprender el control del sol como una propuesta integral, que ocupe los componentes térmicos y lumínicos manejados por los rayos solares y lograr un equilibrio entre estos según la necesidad del proyecto. En el desarrollo de la presente envolvente de vivienda, el enfoque se dio principalmente con el componente térmico, comprobado y analizado por medio del software Ecotect.

En búsqueda de nuevas morfologías y de corresponder al proceso y evolución que se ha tomado con el concepto de envoltente, se encuentran los medios digitales como una herramienta que permitió el diseño final y lograr un resultado que pueda ser controlado en su forma y a su vez funcione, que es uno de los objetivos principales del presente proyecto, conseguir aportar al confort térmico al interior de la vivienda por medio de una envoltente arquitectónica.

La exploración morfológica es también determinada por la indagación bibliográfica a cerca de la construcción en guadua, sus uniones y las múltiples formas de conciliar una edificación, así mismo, la consideración de materiales distintos a la guadua dependiendo de los tipos de uniones que se implementen.





El crecimiento social y cultural se manifiesta en lo que se adquiere de su propio territorio, se conserva y trasciende, por esta razón, el desarrollo de nuevas posibilidades de construcción con el uso de materiales del lugar será clave para un positivo crecimiento de las ciudades.

En Colombia existe un estigma frente a los materiales sostenibles para la construcción y las nuevas alternativas que puedan usarse; entonces, se concluye que serán los análisis científicos la base para sustentar y aprobar el funcionamiento óptimo, que garantice el desarrollo de proyectos sociales consecuentes a la realidad del entorno y den confianza a los materiales alternativos como la guadua.

Los factores tecnológicos de la envolvente tienen que ver con los medios y herramientas tecnológicas empleadas en el proceso y desarrollo de esta, abarcando el proceso de diseño y fabricación. Para el presente proyecto se consideran los medios digitales en el proceso de diseño como un pilar fundamental, siendo estos procesos sustentados de un proceso artesanal y establecido, creando así vínculo entre las prácticas tradicionales y las nuevas formas de concebir el diseño en la arquitectura.



Uno de los requerimientos fundamentales para la construcción de la envolvente radica en su necesidad de mantenerse estable, resistiendo fuerzas externas y de uso. En este caso, se entendió el sistema en términos de su eficiencia como medio de transmisión de cargas que pueda presentar la estructura en guadua.

Además de su estabilidad estructural ante cargas externas, la envolvente debe tener la posibilidad de resistir una gran variedad de fenómenos físicos y químicos externos que pueden llegar a deteriorarla y poner en peligro la seguridad de los habitantes en el espacio interno. Particularmente, los mantenimientos y requerimientos para la guadua deben ser aplicados y ejecutados como medida frente a las inclemencias del medio ambiente.





Aplicación de las capas de tejido en guadua como envolvente en viviendas de interés social:

La sinergia del conocimiento profesional y tradicional como un factor indispensable en la toma de decisiones para el diseño y construcción.





Un factor determinante en el comportamiento medioambiental de la envolvente es la cantidad de energía requerida para su construcción, entendiéndola de manera total para los materiales, productos y procesos llevados a cabo dentro de los ciclos de vida de cada elemento que la compone. Por esta razón, la escogencia de un material ecológico como la guadua brinda ventajas económicas por tener muy bajo costo en mantenimiento, llegando a ser construida con herramientas de muy poco consumo energético y en algunos casos los niveles son de consumo cero.

La guadua como material de envolvente aporta al soporte de la biodiversidad local porque prevee la inclusión de material vegetal dentro de la configuración física del sistema envolvente, este factor se justifica porque es pertinente y efectivo para soportar el sistema bio-diverso de la ciudad de Cúcuta.

Para la formulación e implementación de la estructura paramétrica se realizó una "organización interrelacional, donde las partes están conectadas dentro de un sistema coordinado, implicando de esa manera la posibilidad de variar partes y recrear de manera automática nuevas configuraciones" Woodbury, 2010. Existe un sistema coordinado que se definió de acuerdo a la función que abarca la envolvente en la edificación (como control del sol y aporte al confort térmico), la tecnología por medio de la materia prima y sus posibilidades constructivas, y también, el estudio del contexto y el aporte significativo al medio ambiente por medio del resultado final.



El desarrollo del modelo paramétrico está desarrollado por partes, esto nos proporciona rangos que pueden cambiar dentro del sistema. A estas partes se les puede denominar parámetros de diseño, los cuales actúan en forma de configuraciones que de una manera general implican tipologías configurativas particulares, tales como radios de los elementos de los culmos, número de ejemplares dentro de una estructura, espesores, o permeabilidad y topologías de los tejidos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

López, O. (1981). Manual de construcción con bambú. CIBAM, Centro de investigaciones de Bambú y Madera. Universidad Nacional de Colombia. Estudios colombianos editores. Villegas, M. (2005). Guadua: arquitectura y diseño. Villegas Asociados.

López, O. (2003). Bamboo: The Gift of the Gods. Bogotá, Colombia SA: El autor. Edición 1.

Velasco, R., & Robles, D. (2011). Diseño de Eco-envolventes Modelo para la exploración el diseño y la evaluación de envolventes arquitectónicas para climas tropicales. Revista de arquitectura (Bogotá), 13(1), 92-105.

Anexo 4. Certificaciones de productos dentro de la investigación



76-9228
Santiago de Cali, Noviembre 01 de 2019

Señor
Bryan Lukey Mendoza Granados

Ponente "III Encuentro Nacional de semilleros de Investigación Sector de la Construcción".

Santiago de Cali

Asunto: Agradecimiento por su participación

Cordial saludo,

En nombre del Centro de la Construcción del Sena regional Valle del Cauca, el Sistema de investigación, desarrollo tecnológico e Innovación del Sena (SENNOVA) y el Comité Organizador del "III Encuentro Nacional de Semilleros de investigación del sector de la Construcción", manifestamos a usted nuestro agradecimiento por su participación con la ponencia "Envolvente modular en guadua como estrategia de diseño pasivo para vivienda de interés social en la ciudad de Cúcuta"; realizada el pasado 25 de octubre, su disposición para atender esta propuesta académica y su responsabilidad y compromiso para hacer de esta actividad un gran éxito.

Esperamos que los resultados obtenidos en este encuentro propicien la continuación del trabajo académico en las comunidades educativas y empresas relacionadas con el sector constructivo que permitan el avance en la investigación, innovación y desarrollo tecnológico del mismo en el país.

Con sentimiento de aprecio y gratitud,


Beatriz Eugenia Cobo García
Subdirectora (E) de Centro


Proyectó: Angela Natalia Camelo- Líder Sennova

Ministerio de Trabajo
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE
CENTRO DE LA CONSTRUCCION

Calle 34 No. 17B-23 Cali - Valle - PBX (57 2) 448 8470 – 441 1212
www.sena.edu.co - Línea gratuita nacional: 01 8000 9 10 270 GD-F-011 V04 Pag 1



Certificado No:
SC-CER339681



Certificado No:
CO-SC-CER339681



LA ALIANZA SISTEMA UNIVERSITARIO DE NORTE DE SANTANDER SIES+

CERTIFICA QUE:

Brayan Lukey Mendoza Granados
C.C. 1090504403

Participó como **PONENTE** en modalidad **ORAL** en el evento **II ENCUENTRO INTERINSTITUCIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN**, desarrollado en el marco de la **5th International Week of Science, Technology & Innovation** que se desarrolló del 20 al 23 de noviembre del año 2018 en San José de Cúcuta, Norte de Santander Colombia, con el tema "SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PREFABRICADOS CON MATERIALES DE LA REGIÓN CON ENFOQUE SOSTENIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS ECONÓMICAS Y DE CALIDAD HABITACIONAL EN CÚCUTA".

Mano P. B. S.
COORDINADOR MESA DE INVESTIGACIÓN ALIANZA SIES+
VICERRECTOR ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

Brayan Lukey Mendoza Granados
SECRETARIA TÉCNICA MESA DE INVESTIGACIÓN ALIANZA SIES+
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN
UNIVERSIDAD DE SANTANDER – CAMPUS CÚCUTA



LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER CÚCUTA Y SECCIONAL OCAÑA

CERTIFICA QUE:

Brayan Lukey Mendoza Granados
Con Documento de Identificación
1090504403.

Participó en el evento III ENCUENTRO INTERINSTITUCIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN que se desarrolló en el marco de la VI SEMANA INTERNACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN durante los días 19 al 25 de noviembre del año 2019 en San José de Cúcuta, Norte de Santander Colombia, con el tema "USO DE LA GUADUA PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL FRENTE A SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES EN LA CIUDAD DE CÚCUTA"

Juan Piero Rojas S.

VICERRECTOR ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

Yoracema Velásquez Pérez

DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

