

**SISTEMA PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE CONFORT TÉRMICO EN
LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL DEL BARRIO EL MORICHAL DE
COMFANDI, EN LA CIUDAD DE CALI, A PARTIR DE LA INTERVENCIÓN EN
LAS CAUSAS QUE GENERAN EL FENÓMENO DE LA ISLA DE CALOR.**

Presentado por:

ANDRÉS FELIPE CASTRO RINCÓN Cód. 0822002

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE ARTES INTEGRADAS
DISEÑO INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2013**

**SISTEMA PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE CONFORT TÉRMICO EN
LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL DEL BARRIO EL MORICHAL DE
COMFANDI, EN LA CIUDAD DE CALI, A PARTIR DE LA INTERVENCIÓN EN
LAS CAUSAS QUE GENERAN EL FENÓMENO DE LA ISLA DE CALOR.**

Presentado por:

ANDRÉS FELIPE CASTRO RINCÓN Cód. 0822002

Trabajo presentado como requisito para optar al título de:

DISEÑADOR INDUSTRIAL

Directores:

MAURICIO CHEMAS

EFRAIN DEL RISCO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE ARTES INTEGRADAS
DISEÑO INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2013**

DEDICATORIA

A mis padres, Edith y Francisco, por todo el cariño y el apoyo brindado, a mis hermanos por su constante ayuda, y principalmente al ejemplo de mis abuelos y mi tía María Elena, quienes desafortunadamente no lograron leer este párrafo y con quienes estaré siempre agradecido.

Infinitas Gracias.

Andrés Felipe Castro Rincón.

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Aprobado por el Comité de Programas en
cumplimiento de los requisitos exigidos por
el Departamento de Diseño de la
Universidad del Valle

JUAN CAMILO BUITRAGO
Jurado Diseñador

MARIA NORA HURTADO
Jurado Asesor

JULIAN CALVACHE
Jurado Especialista

MAURICIO CHEMAS
Director del proyecto

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA.	17
1.1 Título del proyecto.....	17
1.2 Justificación.....	17
1.3 Planteamiento del problema.....	23
1.4 Formulación.....	23
1.5 Hipótesis.....	23
1.6 Objetivo General.	23
1.6.1 Objetivos Específicos.....	23
1.7 Metodología.....	24
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	26
2.1 Modelos de confort térmico.	26
2.1.1 Modelo de adaptación.....	26
2.1.2 Índices térmicos.....	27
2.2 Parámetros de confort térmico en algunas ciudades de Colombia.	30
2.3 Conceptos generales de transferencia de calor.	31
CAPITULO 3: ESTADO DEL ARTE.....	35
3.1 Materiales Aislantes.	35
3.2 Extractores eólicos.	36
3.3 Cubiertas verdes.	36
3.4 Desarrollos internacionales.	37

3.4.1 Patrick Blanc.....	37
3.4.2 Agencia de protección ambiental de Buenos Aires.....	38
3.5 Desarrollos nacionales.	39
3.5.1 Timagua.....	39
3.5.2 Fenocol.	41
3.5.3 Álvaro Calonje Daly.	41
3.5.4 Bio360.....	43
CAPÍTULO 4: CLIMA.	45
4.1 Santiago de Cali.	45
4.1.1Factores climáticos	45
4.1.2 Elementos climáticos.	48
4.2 Fenómeno de isla de calor.	56
CAPÍTULO 5: ASPECTOS LEGALES Y SELECCIÓN DE LA SUPERICIE A INTERVENIR EN LA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL.....	57
5.1 La vivienda de interés social (VIS).	57
5.2 Normas mínimas de calidad de vida de la vivienda.....	58
5.2.1Artículo 40 de la Ley 3 de 1991:	58
5.2.2 Artículo 99 capítulo 10 de la ley 388 de 1997:	58
5.2.3 Artículo 1 del decreto 2083 de 2004:	59
5.2.4 Estatuto del uso del suelo para la ciudad de Cali.	60
5.3 Comuna 15.....	60
5.3.1 Localización.	60
5.3.2 División política.	61
5.3.3 Planos.....	61

5.3.4 Cubierta.	61
CAPÍTULO 6: SELECCIÓN DE LA ESPECIE.	63
6.1 Las plantas epífitas.	64
6.2 Requerimientos.....	64
6.2.1 Sustratos para jardines verticales.	65
6.2.2 Requerimientos de Agua.	65
6.2.3 Nutrientes necesarios.	65
6.3 Hospederos.	66
6.3.1 El tronco.....	68
6.3.2 Las ramas.	69
6.4 Obtención y reproducción de tillandsia recurvata.....	69
6.5 Otras especies de plantas que se pueden llegar a emplear.....	70
6.6 Efecto de la radiación sobre las plantas.	73
6.6.1 Energía absorbida.....	75
6.6.2 Energía transmitida.....	75
6.6.3 Energía emitida.....	75
CAPÍTULO 7: DESARROLLO DE LA PROPUESTA.	76
7.1 Conceptualización	76
7.2 Viabilidad.....	76
7.2.1 Limitantes.	76
7.1.2 Alcance.	77
7.3 Requerimientos y Determinantes.	78
7.4 Hipótesis de diseño.	78
7.5 Concepto de diseño.	78

7.6 Propuesta de diseño	79
7.6.1 Nombre del sistema.	79
7.6.2 Descripción del sistema.	79
7.6.3 Proceso de desarrollo formal	79
7.6.4 Componentes del sistema.	88
7.6.5 Características.	89
7.6.6 Materiales.	90
7.6.7 Desarrollo industrial.	91
CAPÍTULO 8: CUALIDADES DE LA TILLANDSIA RECURVATA.....	93
8.1 Modelo experimental.	93
8.2 Datos obtenidos.	94
8.3 Cálculos y resultados.	97
CAPÍTULO 9: COMPROBACIÓN.	103
9.1 Modelo de confort térmico comparativo.....	103
9.2 Temperatura Media Radiante (TMR).....	103
9.2.1 Factor de Forma.	104
9.2.2 Temperaturas.	104
9.3 Resultados (TMR).	105
9.4 Índice de sobrecarga calórica.....	106
CONCLUSIONES.....	109
Bibliografía.....	128

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Parámetros acerca de las condiciones de confort térmico en la vivienda de interés social de Valle Grande 1.	19
Tabla 2. Resultados del cálculo obtenido por medio del software Spring 3.0 empleando el índice de sobrecarga calórica (ISC).	21
Tabla 3. Parámetros para la aplicabilidad del método Fanger.	27
Tabla 4. Interpretación de los resultados obtenidos por el índice de sobrecarga calórica o ISC.....	29
Tabla 5. Parámetros de confort térmico en algunas ciudades de Colombia.	31
Tabla 6. Cambios de la Humedad Relativa.....	52
Tabla 7. Áreas mínimas de lote para vivienda de interés social, Artículo 1 del Decreto Nacional 2083 de 2004.....	59
Tabla 8. División política comuna 15, Agenda ambiental de Santiago de Cali (2006).	61
Tabla 9. Registro de los valores registrados en los dos voltímetros.	96
Tabla 10. Datos obtenidos de velocidad del viento según orientación tomados con el anemómetro digital.....	97
Tabla 11. Energía emitida.....	99
Tabla 12. Valores de radiación reflejada.....	101
Tabla 13. Porcentajes de radiación reflejada y emitida, La vegetación como instrumento para el control microclimático (1999).....	102
Tabla 14. Descripción y sumatoria de las áreas que conforman la vivienda.....	104
Tabla 15. Temperaturas superficiales en la vivienda.	104
Tabla 16. Calculo de la temperatura media radiante (TMR) para la cubierta sin protección.	105
Tabla 17. Calculo de la temperatura media radiante (TMR) para la cubierta con el sistema Prohabitat.	106
Tabla 18. Variables empleadas para obtener el índice de sobrecarga calórica. ..	107

LISTA DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Muestra la transferencia de calor que entra en forma de radiación, luego es conducida por los sólidos al estar en contacto entre ellos y por último transmitido a un fluido que en este caso es el aire.	32
Ilustración 2. Esquema de la circulación general de la atmósfera: en los trópicos predominan los Alisios. (Fuente: IDEAM Atlas climatológico Nacional).....	47
Ilustración 3. Exploración básica de superposición.....	81
Ilustración 4. Estructura para ubicar las plantas separadas de la cubierta.	81
Ilustración 5. Formas desarrolladas mediante el calco de algunas cortezas extraídas de la fotografía 21.	83
Ilustración 6. Exploraciones 2D realizadas en la aplicaciones Tiledeck.....	84
Ilustración 7. Exploración 3D de las formas obtenidas mediante tiledeck.....	84
Ilustración 8. Primeras visualizaciones de la exploración sobre una teja.....	85
Ilustración 9. Imagen del módulo en donde se ubicaran la especie <i>tillandsia recurvata</i>	86
Ilustración 10. Distribución de plantas en el módulo.	86
Ilustración 11. Retícula generada mediante la repetición del módulo hexagonal...	87
Ilustración 12. Posible apariencia que se generaría sobre la cubierta empleando el sistema Prohabitat en la teja de Eternit perfil 7, de izquierda a derecha, números 10, 6 y 4 respectivamente.	87
Ilustración 13. Bobina troquelada fabricada en bucles de vinilo con trama abierta.	88
Ilustración 14. Agarres de presión que ayudan a mantener a Prohabitat en su lugar.	89
Ilustración 15. Desarrollo radicular en la bobina de esterilla de PVC.....	90
Ilustración 16. Modelo de vivienda ideal para facilitar los cálculos de comprobación.	103

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Resultados obtenidos a través del Índice de Sobrecarga Calórica de la casa ubicada en el barrio Valle Grande 1 a través del programa Spring 3.0, febrero 16 de 2012.	20
Figura 2. Termografía y fotografía del techo de la vivienda de interés social de Valle Grande. (Fuente: Confort Ambiental En la Vivienda de Interés Social en Cali)	22
Figura 3. Termografía y fotografía fachada oeste Calicanto 1 junio 2:00pm. (Fuente: Confort Ambiental En la Vivienda de Interés Social en Cali)	22
Figura 4. Termografía y fotografía del parque Valle Grande, junio 1:00pm año 2009 (Fuente: Confort Ambiental En la Vivienda de Interés Social en Cali)	22
Figura 5. Esquema sobre los componentes que debe de tener una cubierta verde (Fuente: Agencia de protección ambiental, Buenos Aires)	39
Figura 6. Clasificación Climática del Valle Del Cauca. (Fuente: IDEAM, Atlas climatológico Nacional, 2005)	46
Figura 7. Mapa de relieve de Cali. (Fuente: Google Earth, 3 de abril de 2012)	47
Figura 8. Temperatura Media Anual (°C). (Fuente: IDEAM Atlas climatológico Nacional, 2005)	49
Figura 9. Registro de temperaturas y precipitaciones mensual para Cali, (Fuente: IDEAM Atlas climatológico Nacional, 2005)	49
Figura 10. Cartas climatológicas, medias mensuales, aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón, Cali. (Fuente: IDEAM Atlas climatológico Nacional, 2005)	50
Figura 11. Cartas climatológicas Humedad relativa, Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón, Cali. (Fuente: IDEAM)	51
Figura 12. Información de humedad relativa según hora del día, estación Meléndez, Universidad del Valle.	52
Figura 13. Cartas climatológicas medias mensuales Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón, Cali. (Fuente IDEAM)	53
Figura 14. Radiación solar en la principales ciudades del Colombia. Fuente: Corporación para la energía y el medio ambiente.	54
Figura 15. Régimen Anual de viento, Cali. (Fuente IDEAM)	55

Figura 16. Dirección de los vientos en Cali, (Fuente: POT Cali)	55
Figura 17. División de un hospedero para muestreo de epifitas en tronco y copa, adaptado de Johansson (1974) (Fuente: Patrones de distribución espacial de epifitas angiospermas en un bosque seco del Valle geográfico del río Cauca, Colombia)	68
Figura 18. Esquema general del ciclo de las bromelias (Fuente: Bases para manejo comunitario de bromelias ornamentales).	70
Figura 19: Esquema del efecto de la radiación sobre las plantas.	74
Figura 20. Índice de sobrecarga calórica para la superficie sin protección.	108
Figura 21. Índice de sobrecarga calórica para la superficie con Prohabitat.	108

LISTA DE FOTOGRAFÍAS.

Fotografía 1. Extractor eólico tomado de la ficha técnica de extractores eólicos de Tecningeniria.	36
Fotografía 2. Jardín vertical desarrollado Sao Paulo en el 2004 por Patrick Blanc (Fotografía extraída el 31 de octubre de 2012 en www.verticalgardenpatrickblanc.com).....	37
Fotografía 3. Jardín vertical desarrollado en les Quatre Temps, Pais en el 2006 por Patrick Blanc (Fotografía extraída el 31 de octubre de 2012 en www.verticalgardenpatrickblanc.com).....	38
Fotografía 4. Bandeja desarrollada por Timagua, ubicada de forma horizontal (Fotografía tomada el 7 de octubre de 2012 en la casa de Luis Carlos Ríos)	40
Fotografía 5. Bandeja desarrollada por Timagua, ubicada de forma vertical (Fotografía tomada el 7 de octubre de 2012 en la casa de Luis Carlos Ríos)	40
Fotografía 6. Soporte para cubierta verde desarrollada por Alvaro Calonje (Fotografía extraída el 31 de Octubre de la presentación <i>Los muros verdes</i> de Alvaro Calonje)	42
Fotografía 7. Cubierta desarrollada por Alvaro Calonje (Fotografía extraída el 31 de Octubre de la presentación <i>Los muros verdes</i> de Alvaro Calonje)	42
Fotografía 8. Módulo desarrollado por Bio360, el cual se ubica ubicada de forma vertical (Fotografía tomada el 12 de noviembre de 2012 en la oficina de Bio360) 43	
Fotografía 9. “Piel verde” desarrollada por Bio360, el cual es ubicado de forma vertical (Fotografía tomada el 12 de noviembre de 2012 en la oficina de Bio360) 43	
Fotografía 10. (<i>Tillandsia recurvata</i>), Tomada el 5 de noviembre de 2012.....	63
Fotografía 11. <i>Chiminango</i> (<i>pithe cellobium dulce</i>) Tomada el 5 de Noviembre de 2012.....	66
Fotografía 12. Samán (<i>samanea saman</i>) Tomada el 11 de Octubre de 2012.	67
Fotografía 13. Urapan (<i>oleaceae</i>) Tomada el 5 de Noviembre de 2012.	67
Fotografía 14. <i>Tillandsia recurvata</i> desarrollada entre la corteza del árbol de Chiminango, Tomada el 5 de noviembre de 2012.	68
Fotografía 15. <i>Tillandsia recurvata</i> desarrollada en las ramas del árbol de Chiminango, Tomada el 5 de noviembre de 2012.	69

Fotografía 16. <i>Tradescantia zebrina</i> , Tomada el 9 de marzo del 2013.....	71
Fotografía 17. <i>Syngonium pedatum</i> , Tomada el 10 de marzo del 2013	72
Fotografía 18. <i>Callisia repens</i> , imagen extraída de http://bit.ly/175OdDJel 11 de marzo de 2013.....	72
Fotografía 19. <i>Dichondra repens</i> , imagen extraída de http://bit.ly/ZoxVeG el 11 de marzo de 2013.....	73
Fotografía 20. Medidas de la <i>tillandsia recurvata</i>	80
Fotografía 21. Corteza del tronco del Chiminango.....	82
Fotografía 22. Instrumentos de medición para el experimento Fotografía tomada el 29 de noviembre de 2012 en la el laboratorio de fluidos e hidráulica de la Universidad del Valle.	93
Fotografía 23. Módulo experimental. Fotografía tomada el 14 de noviembre de 2012 en el laboratorio de fluidos e hidráulica de la Universidad del Valle.	94
Fotografía 24. Módulo instalado para realizar las mediciones experimentales. Fotografía tomada el 29 de noviembre de 2012 en la el laboratorio de fluidos e hidráulica de la Universidad del Valle.	95
Fotografía 25. Modulo para realizar las mediciones experimentales con plantas de los alrededores y con los radiómetros registrando valores de radiación solar simultáneamente. Fotografía tomada el 29 de noviembre de 2012 en la granja experimental de la Universidad del Valle.	95
Fotografía 26. Termografía del techo sin protección del módulo, encontrando temperaturas de hasta de 53°C. Fotografía tomada el 29 de noviembre de 2012 en la granja experimental de la Universidad del Valle.	96
Fotografía 27. Termografía del techo una vez retirada la protección del módulo, encontrando una reducción de temperatura aproximada de 19,4°C. Fotografía tomada el 29 de noviembre de 2012 en la granja experimental de la Universidad del Valle.	97

RESUMEN.

El presente trabajo de grado se desarrolla en nueve capítulos empezando con la problemática relacionada al confort térmico en la vivienda de interés social y finaliza con la obtención de una propuesta y sus respectivas comprobaciones.

Se opta por seccionar la presentación del trabajo de grado en capítulos que argumenten cada aspecto del proyecto, esta separación permite presentar con mayor facilidad una relación entre aspectos correspondientes del marco teórico, la metodología y los resultados, sin desatender la rigurosidad de cada uno de los aspectos mencionados.

El primer capítulo titulado *el problema* encierra aspectos formales del documento cómo lo son el título del proyecto, justificación, planteamiento del problema, formulación, hipótesis, los objetivos generales y específicos, y la metodología para resolverlos.

El segundo capítulo se encuentra parte del desarrollo del marco teórico relacionado con el confort térmico y las variables que encierra dicho modelo, argumentando el modelo de análisis empleado en la justificación del proyecto.

El tercer capítulo relacionado con el estado del arte, menciona diferentes métodos y propuestas que buscan solucionar algunos de los aspectos de la problemática planteada. Dando prioridad a aquellas soluciones que involucran plantas como parte de la propuesta; logrando con ello un intermedio entre la reducción de la radiación absorbida por los materiales que componen la vivienda y una reducción en los efectos que desencadenan el desarrollo del fenómeno llamado isla de calor.

Los siguientes capítulos hasta el noveno muestran el desarrollo metodológico de los objetivos y los resultados obtenidos, cada uno de estos capítulos es complementado con su aspecto teórico, argumentando la crítica sobre los documentos indagados y las decisiones tomadas.

El noveno capítulo muestra las conclusiones de los resultados obtenidos y del desarrollo de la propuesta.

Palabras Clave: Confort térmico, vivienda de interés social, teja eternit, índice sobrecarga calórica, fenómeno de isla de calor, reducción térmica con plantas, cubiertas verdes.

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo pretende desarrollar una propuesta, que reduzca la temperatura en el interior de la vivienda de interés social y particularmente dirigido a las cubiertas o tejas debido a la acumulación térmica que logran. Calentando no solo el interior del recinto sino que también modifica las condiciones climáticas del lugar, generando con ello como el fenómeno denominado la isla de calor.

Se toma como objeto de intervención la vivienda de interés social, gracias a que estudios sobre confort térmico realizados en la ciudad de Cali, revelaron los elevados niveles de estrés térmicos a los que se encuentran sometidos sus habitantes; estrés generado posiblemente por el diseño del inmueble, ya que es un estereotipo que se encuentra a lo largo de todo el país sin un margen para la contemplación de las condiciones particulares de cada región o sub región (Castro C & Rojas M, 1996); pero también responde al ahorro económico, tanto en la cantidad y la calidad de los materiales con los que son elaboradas (Gamboa H, Rosillo Peña, Herrera Caceres, López Bernal, & Iglesias García, 2011). Doris Tarchópolus (2003) resume dicho ahorro económico deduciendo que el mercado de la vivienda en Colombia asocia el término reducción con el término rentabilidad, desatendiendo de forma clara aspectos como el confort térmico y el impacto ambiental vitales para generar condiciones adecuadas para vivir.

Particularmente esta investigación cuenta con la colaboración de personas como la familia Bernal, quienes actualmente habitan en una de las casas de interés social del sector del Morichal de Comfandi, y la familia Mera la cual es tomada de la investigación *confort y estrés térmico en la vivienda de interés social* (2011). Dichas familias denuncian una gran inconformidad en términos cualitativos por las altas temperaturas que se desarrollan al interior del recinto, durante los meses de verano, viéndose en la penosa obligación de desalojar algunos espacios de la casa o incluso la vivienda en ciertas horas del día (Gamboa H, Rosillo Peña, Herrera Caceres, López Bernal, & Iglesias García, 2011).

Observando así una oportunidad de intervención debido a esta clara falencia de confort, con el fin de mejorar las condiciones térmicas en el interior del recinto, particularmente en las fechas de verano durante las horas del día para la ciudad de Santiago de Cali.

CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA.



1.1 Título del proyecto.

Sistema para mejorar las condiciones de confort térmico en la vivienda de interés social del barrio el Morichal de Comfandi, en la ciudad de Cali, a partir de la reducción de las causas del fenómeno isla de calor.

1.2 Justificación.

Los efectos del medio ambiente inciden directamente en la vitalidad como en la salud del hombre, según Víctor Olgyag (1998) “Es muy común la experiencia de que ciertos días las condiciones atmosféricas estimulan y vigorizan nuestras actividades, mientras que otros deprimen los esfuerzos físicos y mentales. También es muy conocido que en las zonas climáticas donde prevalece un calor o

frío excesivos, el esfuerzo biológico de adaptación a dichas condiciones disminuye nuestra energía” (p. 14), canalizando un gran porcentaje de esta para adaptarse al medio en donde se encuentra.

Es por ello que la vivienda se convierte en el “principal instrumento para llenar los requisitos de confort, brindando protección contra las inclemencias del ambiente exterior (...) la vivienda como tal tiende a suprimir esos efectos en la medida en que ellos perjudiquen a las personas durante su trabajo doméstico, su descanso y su sueño...” (Castro C & Rojas M, 1996, pág. 14). Además de ello la vivienda de interés social es el mecanismo mediante el cual el estado colombiano garantiza a los ciudadanos con bajos recursos el acceso a una vivienda digna¹. Viviendas que son elaboradas con materiales que cumplen reglamentos estructurales y sismo resistentes, pero dichos materiales influyen directamente sobre la sensación de calor puesto que son deficitarios “en términos de calidad urbanística, arquitectónica y dignidad habitacional” (Tarchópulos Sierra & Ceballos Ramos, 2003, pág. 18).

Este mecanismo llamado vivienda de interés social, ha tratado de ser definido mediante políticas estatales, basándose según Tarchópolus y Ceballos (2003) en criterios de aprovechamiento del suelo urbano desligándose de juicios técnicos, espaciales y culturales, y cuyas bases para ser desarrollados se generan a través de parámetros expedidos directamente en normas urbanísticas dadas por los propios municipios; municipios que no se han ocupado de forma rigurosa sobre las particularidades climáticas de cada región relacionadas con la calidad de la vivienda en términos de confort térmico para desarrollar propuestas de interés social.

Por otra parte el confort térmico depende de múltiples variables y actualmente se encuentran diferentes estudios y modelos, los cuales se muestran con mayor profundidad en el siguiente capítulo, y tratan de comprender aquellas condiciones óptimas en las que una persona gasta muy poca energía para protegerse de su entorno. Las condiciones del confort térmico en la vivienda están determinadas por ciertas variables, que entre ellas se destacan, la actividad física de los habitantes o tasa metabólica, la vestimenta y las temperaturas emitidas por las superficies envolventes, es decir, las paredes, el piso y la cubierta entre otras. Estas variables están citadas en diferentes modelos teóricos que determinan el nivel de confort, tales como el índice de valoración medio de Fanger, el índice de sobrecarga calórica, el índice de temperatura de globo y de bulbo húmedo, y el índice de sudoración requerida.

¹Artículo 51 de la constitución política colombiana: 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. (Constitucion política de la Republica de Colombia, 2000)

En el presente caso se determinó no emplear el índice de valoración medio de Fanger, como si lo hace la investigación de *confort térmico en la vivienda de interés social* (2011) para la ciudad de Cali, puesto que la temperatura del aire presentada en la tabla 1, fue de 32°C, valor superior a los márgenes establecidos para emplear este índice, cuyo valor de temperatura del aire debe estar entre los “[10 y 30] °C” (Mondelo, Gregori Torada, Blasco, & Barrau Bombardó, 2001, pág. 141)

Tabla 1. Parámetros acerca de las condiciones de confort térmico en la vivienda de interés social de Valle Grande 1.

Parameter	Input
Clothing (clo)	0,5
Air temp. (°C)	32,0
Mean radianttemp (°C)	33,4
Activity (met)	2,5*
Air speed (m/s)	0,15
Relativehumidity	60

Fuente: Gamboa H, Rosillo Peña, Herrera Caceres, López Bernal, & Iglesias García, (2011). *Confort ambiental en la vivienda de interés social en Cali* (p. 93). Grupo de investigación hábitat y desarrollo sostenible, departamentos de ingeniería mecánica y arquitectura de la Universidad del Valle. *Este valor es equivalente a un metabolismo ligero y en unidades de $[w/m^2]$ equivale a 100.

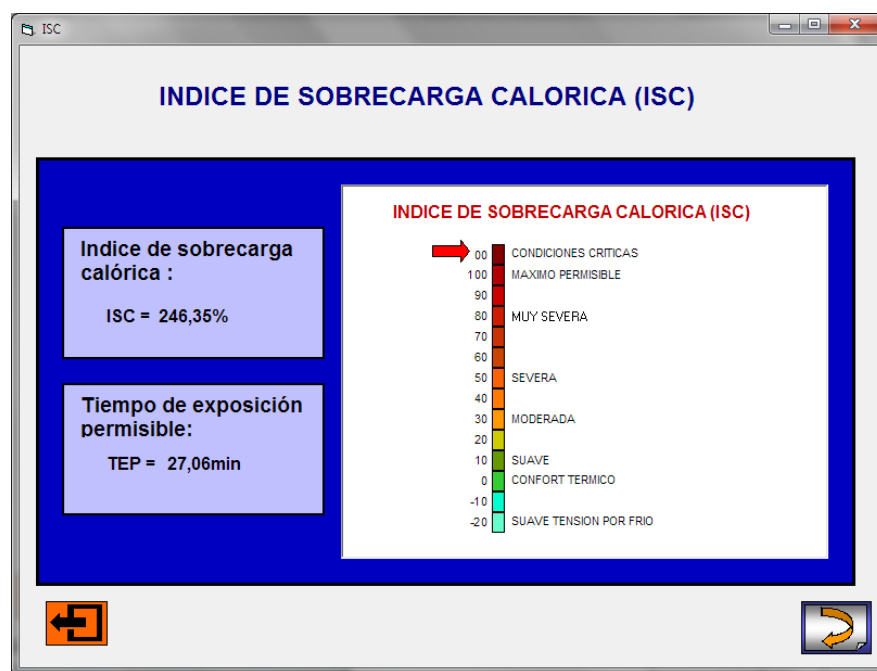
Los valores de las demás variables que requiere lo modelos de confort térmico se extraen de la misma investigación puesto que el análisis de resultados obtenido por el grupo de investigación *hábitat y desarrollo sostenible* determinó que el valor de la vestimenta es $0.5Clo^2$, correspondiente a una vestimenta ligera (camisa manga corta, interiores, pantalón largo, medias y zapatos) y un nivel de actividad moderado $2.5met^3$ correspondiente al oficio de una ama de casa.

²Las unidades Clo, según las normas ISO 7730 e ISO 9920 y el autor Sabina Cuesta, corresponden al aislamiento térmico proporcionado por la ropa la cual va desde los 0Clo, que equivale a estar desnudo hasta 1,5Clo referente a un uniforme militar de invierno. Si se quiere expresar en el sistema internacional de unidades 1Clo corresponde a $0,155m^2K/W$.

³Las unidades Met corresponde a la tasa metabólica o el gasto energético muscular que experimenta el trabajador cuando realiza una determinada tarea, por lo general se expresa en unidades de W/m^2 , donde 1Met corresponde a $58,15W/m^2$.

Debido a que el método de Fanger no se puede emplear para el análisis de la información suministrada en la tabla 1, ni en la ciudad de Cali durante los meses de verano, se utiliza el *índice de sobrecarga calórica*, mediante el programa Spring 3.0. En donde los resultados obtenidos al emplear las anteriores variables fueron desfavorables con relación al confort térmico, figura, con un valor resultante de sobre carga calórica de 154.19, siendo esta una condición crítica y en otras palabras quiere decir que “la temperatura interna se incrementará porque no existe equilibrio térmico, incluso en personas perfectamente aclimatadas” (Mondelo, Gregori Torada, Blasco, & Barrau Bombardó, 2001, pág. 104)

Figura 1. Resultados obtenidos a través del Índice de Sobrecarga Calórica de la casa ubicada en el barrio Valle Grande 1 a través del programa Spring 3.0, febrero 16 de 2012.



El anexo 1, muestra en detalle los valores obtenidos para las demás viviendas analizadas de los diferentes barrios, en donde los resultados de sobrecarga calórica y el tiempo de exposición se presentan en la tabla 2. Estos resultados fueron calculados con los parámetros más críticos para cada caso y extraídos del mismo anexo.

Tabla 2. Resultados del cálculo obtenido por medio del software Spring 3.0 empleando el índice de sobrecarga calórica (ISC).

Caracterización	ISC[%]	Tiempo de exposición [min]
Calicanto 1	65,60	Ilimitado
Calicanto 2	83,45	Ilimitado
Terranova 1	581,53	36,01
Terranova 2	729,66	28,44
Vallegrande1	246,35	27,06
Vallegrande2	133,97	117,1

Observando una oportunidad de intervención por parte del diseño industrial dirigido a la reducción de la temperatura en las superficies expuestas a la radiación solar directa; en el mismo documento se muestran varias termografías⁴, figura 2, figura 3 y figura 4, que presentan elevadas temperaturas en las paredes y en los techos, que paradójicamente estas estructuras están concebidos como barreras de separación entre un ambiente controlado y un ambiente que no lo está, afectando directamente la percepción de confort térmico.

⁴La termografía es una técnica que permite la medición de temperaturas a una determinada distancia sin la necesidad del contacto físico con el objeto a estudiar, mediante la captación de la radiación infrarroja registrando dicha información en una imagen digital.

Figura 2. Termografía y fotografía del techo de la vivienda de interés social de Valle Grande. (Fuente: Confort Ambiental En la Vivienda de Interés Social en Cali)



Figura 3. Termografía y fotografía fachada oeste Calicanto 1 junio 2:00pm. (Fuente: Confort Ambiental En la Vivienda de Interés Social en Cali)

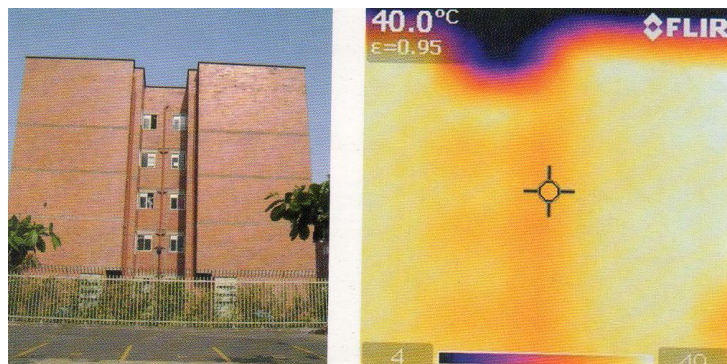
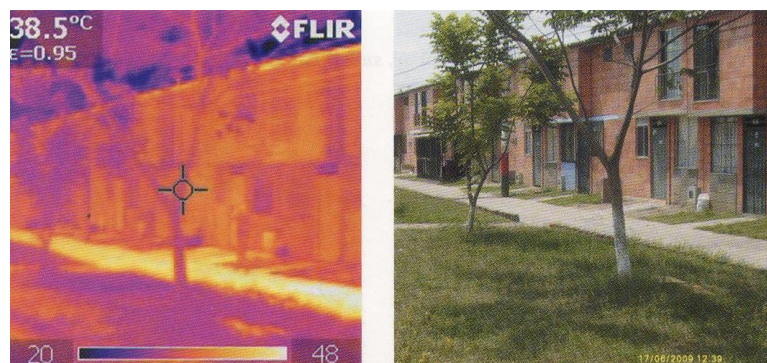


Figura 4. Termografía y fotografía del parque Valle Grande, junio 1:00pm año 2009 (Fuente: Confort Ambiental En la Vivienda de Interés Social en Cali)



Consecuente al aumento en la temperatura también es el desplazamiento de la naturaleza por la construcción de viviendas y carreteras, el fenómeno llamado isla de calor es evidente. Según la publicación realizada por la revista de la Universidad del Valle, *Ingeniería y competitividad* en su volumen número 13, titulado *Influencia de los campos de ocupación del suelo de Cali (Colombia)*, entre

1984 y 2003, en la temperatura de la superficie, elaborado por los investigadores Luis M. Santana, Luis A. Escobar y Paolo A. Capote. Encontraron que la temperatura ha sufrido un aumento 3.76°C en promedio ligado a un incremento del 29% del área construida y una disminución del área de pastos, rastrojos, cultivos y zonas arboladas (p.41). Consecuencia de ello la temperatura es absorbida por los materiales de construcción y se demora más tiempo en ser emitida y reflejada.

1.3 Planteamiento del problema.

La insuficiencia de confort térmico en algunas de las viviendas de interés social de los barrios Morichal de Comfandi, Valle grande 1 y 2 y Terranova 1 y 2 de la ciudad de Santiago de Cali, debido al registro de índices de sobrecarga calórica superiores al 100% son nocivos para la salud.

1.4 Formulación.

¿Cómo es posible mejorar las condiciones de confort térmico en la vivienda de interés social de un piso reduciendo los efectos de la isla de calor?

1.5 Hipótesis.

Es posible desarrollar una propuesta de diseño que reduzca el valor del índice de sobrecarga calórica en la vivienda de interés social de la ciudad de Cali, empleando plantas para reducir el impacto de la radiación solar y reducir los efectos del fenómeno llamado isla de calor.

1.6 Objetivo General.

Mejorar las condiciones de confort térmico mediante la reducción en el índice de sobrecarga calórica en la vivienda de interés social del barrio el Morichal de Comfandi en la ciudad de Cali.

1.6.1 Objetivos Específicos.

Determinar las condiciones climáticas del entorno donde se desarrolla la vivienda de interés social.

Determinar el área, materiales y el tipo de superficie sobre la cual se va a intervenir en la vivienda de interés social.

Determinar la cantidad de temperatura que reduce el sistema.

Determinar los niveles de reducción térmica y su influencia en el confort.

1.7 Metodología.

Se describe a continuación la metodología seguida con el fin de alcanzar los objetivos específicos propuestos en el desarrollo del presente trabajo. La siguiente metodología involucra la revisión exhaustiva de documentos relacionados con el tópico de estudio. Los resultados metodológicos de esta revisión permitieron estructurar conceptualmente los capítulos del cuarto al noveno.

Para la caracterización de las condiciones climáticas del entorno en el cual se desarrolla la vivienda, se recurre principalmente a investigaciones tales como la recopilada por Rodríguez (2003) y la desarrollada por el grupo de investigación de del grupo *confort térmico en la vivienda de interés social* (2011). Identificando las principales variables climáticas a tener en cuenta y por medio de documentación proporcionada por entidades climatológicas regionales, obtener los resultados de dichas incógnitas, capítulo 4.

En la selección de la superficie a intervenir se recurre a las leyes que rigen los proyectos de interés social en Cali los planos de una vivienda tipo en Morichal de Comfandi, con la finalidad de determinar área de la misma, los materiales que la componen, y según las termografías analizadas de las superficies con mayor exposición a la radiación solar determinar la superficie a intervenir, capítulo 5.

Para la sección de la especie se recurre a documentos técnicos y personas especializadas en el tema, con el objeto de determinar la planta por sus características de requerimientos hídricos, exposición solar y resistencia a condiciones críticas, capítulo 6.

El desarrollo de la propuesta se lleva a cabo mediante los requerimientos y determinantes obtenidos por capítulos anteriores, y con ayuda de programas especializados para obtener una configuración y visualización de la propuesta, todo esto acompañado de los materiales que se debe emplear en cada parte del sistema, capítulo 7.

Para determinar la cantidad de temperatura se recurre nuevamente a especialistas en el tema teniendo como finalidad desarrollar experimentos que registren cambios en la temperatura por parte de la especie empleada, capítulo 8.

Finalmente la evaluación comparativa se desarrolla a partir de los datos obtenidos por la especie, capítulo 8, elaborando un modelo de comparación de los datos obtenidos de la superficie intervenida con la propuesta desarrollada y sin la propuesta; determinando cuando contribuye a la mejora del confort térmico de sus habitantes o si por el contrario no se debe de emplear.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.

“El medio ambiente físico está formado por numerosos elementos relacionados. Es posible intentar describir los constituyentes del entorno tales como: luz, sonido, clima, espacio, etc. Todos ellos inciden directamente en el cuerpo humano, el cual puede absorberlos o intentar contrarrestar sus efectos (...). El hombre se esfuerza por llegar al punto en el que adaptarse a su entorno le requiera solamente un mínimo de energía” (Olgyay, 1998, p15) determinando de esta manera la zona de confort como un rango subjetivo que algunos investigadores han tratado de determinar y normalizar. En la zona de confort se percibe una ausencia de molestia sensorial, claramente no se puede definir como la simple ausencia de molestia y para ello algunos investigadores han planteado diferentes índices determinando las condiciones óptimas de confort térmico tanto para calor como para frío

2.1 Modelos de confort térmico.

Las relaciones con el medio ambiente térmico, las sensaciones fisiológicas y psicológicas que experimentan las personas con relación al confort se han estudiado mediante los enfoques presentados en la investigación recopilada por Rodríguez para el año 2003.

2.1.1 Modelo de adaptación.

Se obtiene a partir de estudios de campo, recolección de mediciones y entrevistas en relación al confort térmico. Como su nombre lo indica asume que las personas se adaptan o por lo menos intentan hacerlo generando condiciones intermedias ya sea mediante el uso de prendas de vestir, una determinada postura, horarios para actividades, niveles de actividad, dieta, bebidas, etc., y de ajustes psicológicos inconscientes.

Rodríguez (2003) presenta que para obtener dichas mediciones se debe investigar en las épocas de mayor calor del año, para el caso de estrés por calor, comparándolas con lugares frescos (lugares con aire acondicionado o de buena ventilación) y viviendas sin adaptaciones (casas y escuelas), para lo cual se emplearon instrumentos especializados determinando las distintas condiciones térmicas, y finalmente con la ayuda de entrevistas se obtenían los datos relacionados acerca de lo que sentían las personas en dichos espacios. Este estudio se realizó en la ciudad de Maracaibo Venezuela y por su elevado costo

con relación a los instrumentos de medición además de su realización en las fechas adecuadas es muy limitante para emplearse en esta investigación.

2.1.2 Índices térmicos.

Los índices térmicos son modelos matemáticos normalizados los cuales toman parámetros del contexto a analizar y proporcionan resultados relacionados al grado de confort obtenido.

2.1.2.1 Índice de valoración medio de Fanger.

Son tres variables dependientes principales tales como variables ambientales, variables fisiológicas y aislamiento térmico o vestimenta.

Este método exige el cumplimiento de ciertos rangos en los que debería estar las variables que se van a suministrar (tabla3) (Mondelo, P., 2001, p 142)

Tabla 3. Parámetros para la aplicabilidad del método Fanger.

Variable	Rango de valores	Unidad
Actividad metabólica	46-232	W/m ²
Aislamiento térmico de la ropa	0-2	clo
Temperatura del aire	10-30	°C
Temperatura radiante media	10-40	°C
Velocidad del aire	0-1	m/s
Presión del vapor de agua	0-2700	Pa

Fuente: Mondelo, Gregori Torada, Blasco, & Barrau Bombardó (2001). *Confort y Estrés térmico* (p. 100) México. Editorial Alfaomega.

Como se puede observar, este índice no se puede emplear para analizar la vivienda en la ciudad de Santiago de Cali puesto que según el IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales) y los informes presentados por el aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón, se encuentra en un rango de temperaturas de 32°C y 15°C, figura 12. Error encontrado en el libro *Confort ambiental en la vivienda de interés social en Cali*, al emplear esta fórmula como método de análisis contando además con una temperatura del aire, medida por ellos mismos

(tabla 1), de 32°C (Gamboa H, Rosillo Peña, Herrera Caceres, López Bernal, & Iglesias García, 2011, pág. 93).

2.1.2.2 Método del índice de sobrecarga calórica (ISC)

Elaborado por Belding y Hatch en 1955, en la Universidad de Pittsburg, como *Heat Stress Index* (HSI) (Mondelo, P., 2001, p. 101). Este método tiene en cuenta tres factores para determinar el intercambio calórico

- a) Convección
- b) Radiación
- c) Evaporación

Se emplea para determinar el nivel de estrés térmico por calor. Su deficiencia de aplicación se encuentra cuando se emplea en ambientes muy secos, humedades inferiores al 30%, puesto que se considera como excesiva pérdida de agua a causa de la sudoración; los resultados obtenidos por este método se interpretan según la tabla 4.

Este método es el más adecuado para analizar el estado actual de la vivienda y debido a ello se emplea en la justificación del presente documento. Además sirve para realizar un análisis teórico final, con el empleo de variables reales y el área de la vivienda, pretendiendo obtener resultados comparativos que determinen la viabilidad de implementar la propuesta desarrollada.

Tabla 4. Interpretación de los resultados obtenidos por el índice de sobrecarga calórica o ISC

Valor de ISC	Descripción
ISC=0	No existe sobrecarga térmica y significa que el trabajador no tiene que sudar para mantener el equilibrio térmico.
10<ISC<30	Sobrecarga calórica que oscila entre suave y moderada, donde se puede esperar cierta disminución del rendimiento al efectuar trabajos intelectuales o se le exija estar despierto.
40<ISC<60	Sobre carga calórica severa y quiere decir que puede amenazar la salud a menos que las personas bajo esta sobrecarga sean fuertes físicamente y estén aclimatadas.
70<ISC<90	Sobre carga calórica muy severa en donde un muy pequeño porcentaje de personas pueden soportar estar situación.
ISC=100	Sobrecarga calórica máxima permisible, lo tolerarían diariamente con un máximo de seis a ocho horas hombres jóvenes, sanos, físicamente fuertes y aclimatados.
ISC>100	Condiciones críticas por sobrecarga calórica, a partir de estos calores la temperatura se incrementará porque no existe equilibrio térmico, incluso en personas perfectamente aclimatadas.

Nota. Tabla construida a partir de los datos del texto *confort y estrés térmico* Fuente: Mondelo, Gregori Torada, Blasco, & Barrau Bombardó (2001). *Confort y Estrés térmico* (p. 103, 104) México. Editorial Alfaomega.

2.1.2.3 Índice de temperatura de globo y de bulbo húmedo (WBGT-Index)

“...Establecido por Yaglou & Minard, en los años 50, para la US NAVY como método rápido y fácil para determinar la severidad del ambiente térmico durante la ejecución de ejercicios y entrenamientos militares.” (Mondelo, P., 2001, p. 107)

Según Mondelo este método es aplicable en situaciones de agresividad, discomfort elevado, muy intensas y duraciones cortas. Puesto que en situaciones contrarias a estas la aproximación a calcular valores de confort no es representativa. En el caso de las viviendas de interés social las duraciones son largas y no lo hace apto para su empleo.

2.1.2.4 Método de sudoración requerida (SW_{req}).

Desarrollado por Vogt, Candas, Libert & Daull en 1981, y recogido en la norma ISO 7933. "...no sólo proporciona los intervalos idóneos de sudoración requerida para colocar a la persona en situación de equilibrio térmico sino que, además, su interpretación establece la sudoración, la humedad de la piel y la evaporación del sudor requerida" (Mondelo, P., 2001, p. 113)

Este método emplea datos de carga metabólica, temperatura del aire, temperatura media radiante, la velocidad del aire, el aislamiento térmico generado por la ropa y la humedad relativa. Además de ello necesita saber en qué posición se encuentra mayormente la persona durante el periodo de estrés térmico y algunos de estos son datos que no se pueden obtener sin el uso de instrumental especializado y su resultado sólo arroja criterios de alarma o peligro.

2.1.2.5 Método de vestido requerido ($IREQ$) y el (WCI)

Son métodos que se emplean cuando se presenta estrés térmico por frío, los cuales no son útiles para las condiciones promedio actuales de la ciudad de Cali, con temperaturas promedio de 24°C.

2.2 Parámetros de confort térmico en algunas ciudades de Colombia.

En la tesis de grado de los estudiantes Edgar Castro y Jorge Rojas, "Aislamiento térmico y acústico en la vivienda de interés social" del año 1996, se muestra una tabla de temperaturas en algunas ciudades de Colombia, tabla 5, en donde se ubican los rangos de temperatura en los que se puede obtener la condición de confort térmico. La tabla no muestra alguna fuente evidente de consulta, pero si furtivamente se compara con la, figura 12, relacionada a las cartas climatológicas de medias mensuales del IDEAM, encontramos que la temperatura de confort para la ciudad de Cali, propuesta por Castro y Rojas, es la temperatura promedio de la ciudad.

Tabla 5. Parámetros de confort térmico en algunas ciudades de Colombia.

Sitio	T. De confort Óptimo °C	T. De confort mínimo °C	T. de confort máximo en °C
Bogotá	21,2	18,4	24,0
Cali	24,0	21,2	26,8
Buenaventura	26,0	23,2	28,8
Guapi	26,0	23,2	28,8
Ipiiales	21,2	18,4	24,0

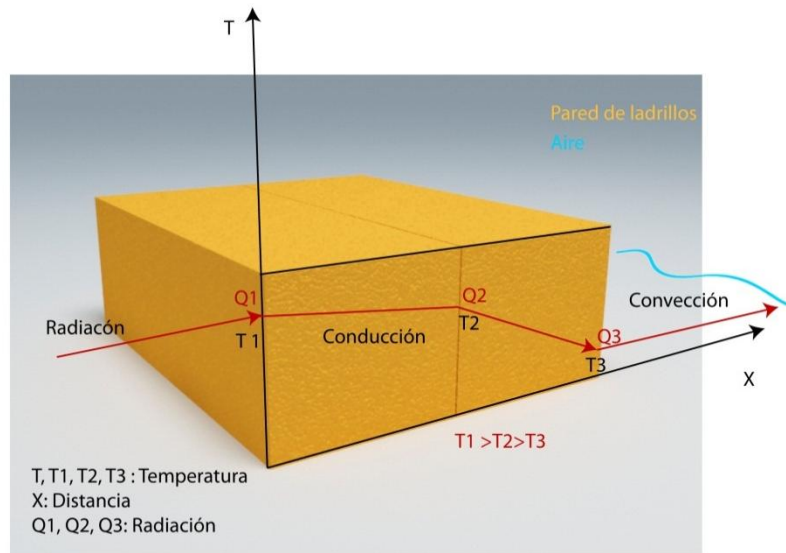
Nota. Fuente: Castro C & Rojas M (1996), Aislamiento térmico y acústico en vivienda de interés social (p. 4) Facultad de Ingeniería mecánica, Universidad del Valle.

2.3 Conceptos generales de transferencia de calor.

Con el fin de obtener una mejor comprensión de los modelos antes mencionados se recurre a la revisión y el empleo de temas relacionados a la transferencia de calor, realizando esto de forma muy general, ya que la comprensión de muchos de los conceptos requiere de conocimientos especializados en el tema y se pretende dar una respuesta desde una formación del diseño industrial sin desatender la rigurosidad del proyecto.

“Transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas” (Incropera & De Witt, 1999, pág. 2). El calor se transmite de tres formas distintas las cuales son: conducción, convección y radiación. Todos estos conceptos son importantes pues según Mario Ortega Rodríguez y Antonio Ortega Rodríguez (2001) para un individuo que se encuentre en un recinto cerrado los intercambios de calor se producen: por conducción al estar los pies en contacto con el suelo, por convección debido al aire envolvente y por radiación mediante la emisión de los materiales que rodean a la persona, ilustración 1.

Ilustración 1. Muestra la transferencia de calor que entra en forma de radiación, luego es conducida por los sólidos al estar en contacto entre ellos y por último transmitido a un fluido que en este caso es el aire.



2.3.2 Transferencia de calor por conducción.

Se entiende por conducción aquel calor transmitido entre sólidos que se encuentran en contacto entre sí y se transmite en una o múltiples direcciones por unidad de tiempo.

La ley de Fourier es una ecuación que permite cuantificar los procesos de transferencia de calor por conducción, permitiendo calcular la cantidad de energía que se transfiere por unidad de tiempo.

Ley de Fourier.

$$\dot{q}_{CD} = -k * \frac{T_2 - T_1}{x}$$

Dónde:

$\dot{q}_{CD}$ [w/m²]: Es el valor de la transferencia de calor por conducción por unidad de área.

k[w/(m².°C): Es la constante de conductividad térmica de cada material⁵.

T₂ y T₁: Es la temperatura superficial.

x: Es el espesor del material.

2.3.3 Transferencia de calor por Convección.

La convección es el calor transmitido por un fluido o más específicamente “cuando dos zonas de un fluido se encuentran a distintas temperaturas, la que está a mas temperatura es la menos densa y asciende siendo desplazada por la zona más fría que es más densa” (Ortega Rodríguez & Ortega Rodríguez, 200, p. 8). A estas corrientes se les llama corrientes convectivas o corrientes de convección y se dice que transmiten el calor por convección.

$$\dot{q}_{CV} = h * \nabla T$$

Dónde:

$\dot{q}_{CV}$ [w/m²]: Es el valor de la transferencia de calor por convección por unidad de área.

h: Es el coeficiente de convección.

∇T : Es el gradiente de temperatura.

⁵La constante de conductividad térmica lleva signo negativo a modo de corrección o arreglo pues la variable T1 es mayor que T2 y generaría un valor negativo como respuesta

2.3.4 Transferencia de calor por radiación.

Por último la forma de transmisión llamada radiación es aquella forma de transmisión de calor que no necesita un medio material para que dos cuerpos transmitan calor entre ellos.

“Todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas. Por tanto, en ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas.” (Incropera & De Witt, 1999, p 2)

Para su cálculo se recurre a la siguiente fórmula.

$$\dot{q}_r = \epsilon * \sigma * T_s^4$$

Dónde:

$\dot{q}_r$ [W/m²]: Flujo de energía radiante por unidad de área.

ϵ : Es la emisividad propia del material, En al caso experimental de las termografías se emplea una emisividad del 98%.

$\sigma = (5,67 \times 10^{-8}) \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$: Es conocida como la constante de Stefan Boltzmann.

T_s : Es la temperatura superficial [°K].

CAPITULO 3: ESTADO DEL ARTE.

La problemática del exceso de temperatura en el interior de las viviendas o la sensación de calor por parte de sus habitantes se ha tratado de resolver mediante el empleo de materiales aislantes en las cubiertas o con ayuda de electrodomésticos como lo son ventiladores y aires acondicionados.

Por otra parte existen propuestas que se encargan de emplear especies vegetales como método alternativo, apoyando la reducción del gasto energético y económico, contribuyendo en la mejora del medio ambiente. Estos sistemas se encargan de proveer condiciones óptimas para el desarrollo de gran variedad de especies generando jardines en las cubiertas o fachadas de edificios y viviendas. El principal conflicto se presenta al incorporar dichas soluciones en viviendas de bajos recursos debido a las limitaciones estructurales que tiene una cubierta para soportar sustratos, plantas, sistemas de riego y personas que realicen mantenimiento.

3.1 Materiales Aislantes.

Los materiales aislantes pueden ser clasificados de diferentes formas y estar inmersos dentro de subcategorías. En la investigación llevada a cabo por Edgar Castro y Jorge Rojas (1996), *aislamiento térmico y acústico en la vivienda de interés social*, clasifican los materiales aislantes en materiales fibrosos, aislantes con estructura celular y techos absorbentes. Todos estos aislante, incluidos los materiales vegetales, los cuales se ubican dentro de los materiales fibrosos, que hace mención la investigación de Castro se refieren a materiales inertes que no contribuyen a la reducción en las causas del fenómeno de isla de calor puesto que incorporan material orgánico inerte.

No obstante muchas de las soluciones que se encuentran como materiales aislantes pueden ser empleado como sustrato de cubiertas verdes, pero según el texto de Mario Ortega Rodríguez y Antonio Ortega Rodríguez, *calefacción y refrescamiento por superficies radiantes* (2001), los materiales aislantes pierden propiedades térmicas cuando son expuestos a la humedad lo cual es posible dado que el coeficiente de conductividad térmica de materiales aislantes es de $0,042 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$, como es el caso de la lana de roca tipo 1, mientras que el del agua es $1,16 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$, entre mayor valor cumple menor su función como aislante.

3.2 Extractores eólicos.

Esta solución impide la acumulación de calor generando una extracción natural trabajando con diferencia de presión la cual genera diferencias de temperaturas. Dicha propuesta reduce la temperatura en el interior de la vivienda, fotografía 1, pero la descarga al medio ambiente.

Fotografía 1. Extractor eólico tomado de la ficha técnica de extractores eólicos de Tecningeniria.



3.3 Cubiertas verdes.

La interpretación de observar la naturaleza como fuente para resolver los problemas humanos se define actualmente como biomímesis (bio=vida, mimesis=similar). Según Ludovica Rossi (2009) el objetivo de la biomímesis es estudiar el mundo natural para resolver problemas de la esfera humana y su campo de acción se extiende a diferentes áreas y entre ellas la arquitectura.

En este caso se han obtenido como ejemplo desarrollos que toman como referencia el mundo natural incorporándolo en la vivienda para obtener beneficios como economía y reducción del consumo energético.

Es de destacar que estas propuestas además de contribuir a reducir la temperatura el efecto de la isla de calor también atenúan los índices de polución del aire, provee oxígeno a la ciudad y conserva la biodiversidad.

3.4 Desarrollos internacionales.

3.4.1 Patrick Blanc

Es un botánico nacido en París en 1953 actualmente trabaja en el *Centre National de la Recherche Scientifique* y es inventor de un sistema para crear jardines verticales. Sus desarrollos se encuentran en todos los continentes, según lo hace saber en su página web.

Sus propuestas involucran diversas técnicas para simular entornos naturales tal como se presentarían en la naturaleza sin la acción del hombre; igualmente es indispensable una correcta selección de plantas dadas las configuraciones verticales que presenta y la cantidad de luz que le pueda llegar.

Fotografía 2. Jardín vertical desarrollado Sao Paulo en el 2004 por Patrick Blanc (Fotografía extraída el 31 de octubre de 2012 en www.verticalgardenpatrickblanc.com)



Fotografía 3. Jardín vertical desarrollado en les QuatreTemps, Pais en el 2006 por Patrick Blanc (Fotografía extraída el 31 de octubre de 2012 en www.verticalgardenpatrickblanc.com)



Estas cubiertas tienen fines decorativos ya que se hacen como especies de monumentos y lo que busca es representaciones naturales de crecimiento vegetativo. Por otra parte no se encuentran estudios de los beneficios que se obtiene al ser empleados y se observan como encargos a ser desarrollados por Patrick Blanc.

Desarrollos similares tienen los arquitectos y las empresas Emilio Ambasz, de Argentina, Giurgola Mitchel, de Australia, CPG Consultants, de Singapur, Renzo Piano, de Estados Unidos, Cook & Fox Office, de Estados Unidos, Art and Exhibition Hall Bonn, de Alemania, Cornelia Oberlander, de Canadá y Peter Vetsch, de Suiza entre otros.

Los desarrollos de las personas y empresas antes mencionadas se pueden resumir como el intento por incluir la naturaleza dentro de viviendas y edificios. En algunos casos se desarrollan las viviendas de tal forma que presenten facilidad para ubicar terrenos de siembra desarrollando propuestas coloridas con formas orgánicas.

3.4.2 Agencia de protección ambiental de Buenos Aires.

En la publicación de la agenda de protección ambiental del gobierno de Buenos Aires, titulada *construcción sustentable del gris al verde*, realizan un análisis del contexto urbano de la ciudad de Buenos Aires, Argentina, proponiendo ante la gran variedad de problemáticas encontradas el uso de cubiertas verdes. Definiendo las cubiertas verdes como “un sistema de ingeniería que permite el

crecimiento de vegetación en la parte superior de los edificios (ya sean techos o azoteas), manteniendo protegida su estructura...” (Agencia de protección ambiental Buenos Aires, pág. 4), proponiendo la siguiente cubierta verde, figura 5.

Figura 5. Esquema sobre los componentes que debe de tener una cubierta verde (Fuente: Agencia de protección ambiental, Buenos Aires)



3.5 Desarrollos nacionales.

Gracias a diferentes visitas a distintas viviendas, empresas y universidades, y la asistencia a conversatorios dictados por personas que actualmente desarrollan propuestas a nivel nacional se logró obtener un acercamiento directo con los diferentes tipos de soluciones que se clasificarían como cubiertas o muros verdes.

Encontrando que en la mayoría de los casos, o en su totalidad, no son contemplados como desarrollos que intervengan en un confort térmico como tal, sino que satisfacen los gustos decorativos de sus compradores.

3.5.1 Timagua.

Empresa perteneciente al ingeniero civil Luis Carlos Ríos desarrolla principalmente viviendas a partir de mortero natural y guadua. También entre sus desarrollos se encuentra las cubiertas verdes: a partir de módulos plásticos sobre los cuales siembra de forma horizontal Fotografía 4. Estos módulos según el ingeniero

pueden ser ubicados de forma vertical haciendo ciertas perforaciones en la parte inferior de las bandejas Fotografía 5.

Fotografía 4. Bandeja desarrollada por Timagua, ubicada de forma horizontal (Fotografía tomada el 7 de octubre de 2012 en la casa de Luis Carlos Ríos)



Fotografía 5. Bandeja desarrollada por Timagua, ubicada de forma vertical (Fotografía tomada el 7 de octubre de 2012 en la casa de Luis Carlos Ríos)



Estas bandejas fueron concebidas para tener una distribución de forma horizontal y no fueron concebidas para satisfacer los requerimientos de una planta en específico. Ello hace que el tratar de ubicarlas de forma vertical, el suelo o sustrato pierda agua ya que drena hacia la parte inferior del módulo por acción de la gravedad. En el caso del local de comidas rápidas Karens Pizza, ubicado en el barrio de Ciudad Jardín de la ciudad Cali y el cual adquirió varios módulos de

Timagua, necesita de un sistema de riego por aspersión para mantener en buenas condiciones las especies que están sembradas.

Según el ingeniero Ríos la función de las bandejas es principalmente permitir la siembra de especies vegetales para mejorar las condiciones ambientales y de confort térmico, pero no tienen estudios que puedan demostrar en cuanto contribuyen a cada caso.

3.5.2 Fenocol.

Esta empresa ubicada en la zona de Acopi Yumbo, desarrolla espuma fenólica para la siembra y cultivo de diversas plantas. En un principio era destinada para la reproducción de rosas por esquejes, pero actualmente y debido a las propiedades inocuas del material puede desarrollarse casi cualquier especie vegetal, siempre que haya un buen suministro de agua, nutrientes y se encuentren condiciones climáticas aptas para la planta.

La empresa realiza capacitaciones gratuitas para el manejo del material, pero en el jardín de la empresa se ven desarrollos a modo de bolsillos y cubiertas verdes, tanto verticales como horizontales. El sustrato de espuma fenólica posee muy buenas cualidades puesto que permite la aireación de raíces, drena el exceso de agua y al ser una espuma la raíces no tienen problemas de crecimiento ni de estrés mecánico por compactación. Este material, espuma fenólica, es un derivado del petróleo y luego de que la planta cumple su ciclo vegetativo o es retirada, el material sufre fracturas perdiendo varias de sus cualidades.

3.5.3 Álvaro Calonje Daly.

Actualmente desarrolla muros verdes con sistemas de riego por goteo. Emplea contenedores a modo de bolsillos con sustrato, estos al ser apilados de forma vertical y horizontal generan cubiertas de gran tamaño. En su presentación titulada *los muros verdes* muestra ciertas pautas en la preparación de sustratos y que tipos de plantas se pueden emplear según necesidades de luz e hídricas.

Los desarrollos propuestos por Calonje, a modo de bolsillo, parecen ser muy pesados ya que necesitan de una estructura con cerchas de metal, fotografía 6, y las plantas que emplea requieren de suministro de agua constante, fotografía 7.

Fotografía 6. Soporte para cubierta verde desarrollada por Alvaro Calonje (Fotografía extraída el 31 de Octubre de la presentación *Los muros verdes* de Alvaro Calonje)



Fotografía 7. Cubierta desarrollada por Alvaro Calonje (Fotografía extraída el 31 de Octubre de la presentación *Los muros verdes* de Alvaro Calonje)



3.5.4 Bio360.

Empresa dirigida por el arquitecto Carlos Ramírez, la cual desarrolla gran cantidad de cubiertas verdes para distintos clientes en la ciudad de Cali. En un principio empleaba como sustrato espuma Fenólica, fotografía 8, desarrollada por la empresa Fenocol pero debido a que es un material contaminante ahora realiza las cubiertas con un material que él llama piel verde, fotografía 9.

Fotografía 8. Módulo desarrollado por Bio360, el cual se ubica ubicada de forma vertical (Fotografía tomada el 12 de noviembre de 2012 en la oficina de Bio360)



Fotografía 9. “Piel verde” desarrollada por Bio360, el cual es ubicado de forma vertical (Fotografía tomada el 12 de noviembre de 2012 en la oficina de Bio360)



Este nuevo material permite que no haya necesidad de generar una estructura para su soporte, por el contrario permite adaptarse directamente a la pared modo de bolsillo. Además de ello la parte posterior posee un aislante que evita el paso

de humedad y su diseño posibilita el uso de materas plásticas evitando así que las raíces de las plantas sufran daños al ser trasladadas.

No obstante estos módulos necesitan de sistemas de riego que suministren agua de forma constante a cada planta aumentando los costos y el desperdicio de agua ya que no hay un cálculo en el volumen que requiere la planta.

CAPÍTULO 4: CLIMA.

El clima es un indicador que en gran medida determinará las condiciones de confort y habitabilidad de un determinado espacio, igualmente es un determinante para saber qué tipos de plantas se pueden emplear y tengan un correcto desarrollo.

4.1 Santiago de Cali.

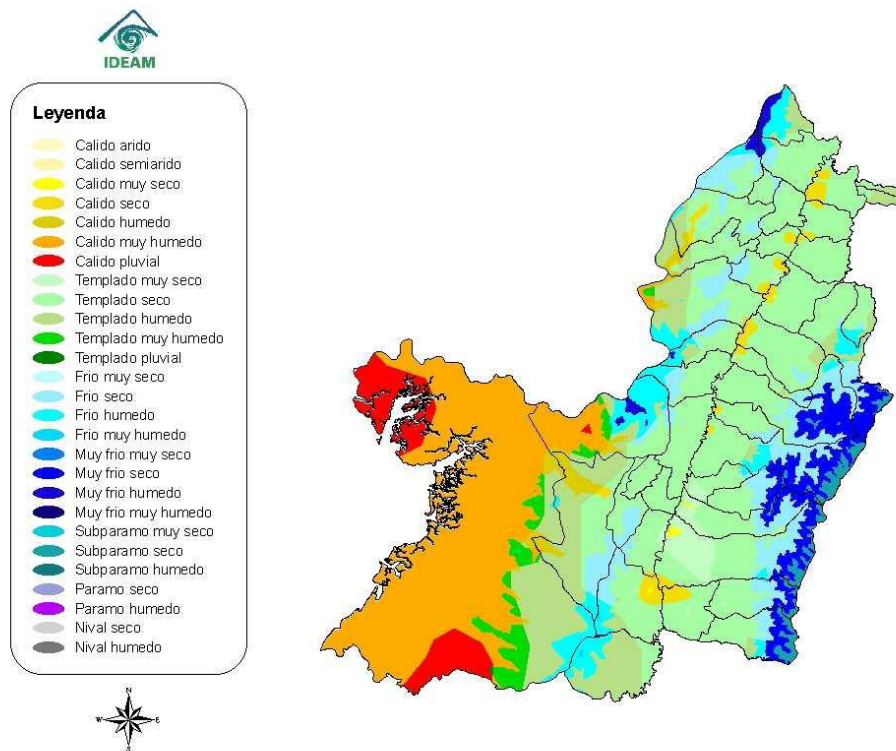
El clima se puede descomponer en dos factores, según las condiciones físicas propias de una región: Latitud, longitud, la altitud, el relieve y la distribución de tierras y aguas. El otro factor en el que también se descompone son aquellos factores particulares del clima como lo son: la temperatura, la humedad, la precipitación, la presión atmosférica y la radiación entre otros. Como se puede ver su diferencia está asociada al tiempo ya que los elementos climáticos varían con una mayor velocidad que los factores climáticos, los cuales son relativamente estáticos. (Rodríguez, 2002)

4.1.1Factores climáticos

Rodríguez (2002) afirma que “El clima caracteriza e identifica a una región por el comportamiento de sus componentes y sus variables atmosféricas; esto da lugar a un estilo de vida con características físicas y psicológicas muy particulares en el hombre, (...) Los efectos del medio ambiente inciden directamente tanto en la energía como en la salud del hombre” (p.13).

La clasificación climática en el Valle del Cauca, figura 6, realizada por el IDEAM; deduce que los climas predominantes en el departamento, se ubican en su mayoría, entre cálido seco y templado seco; climas que a su vez predominan en la Ciudad de Santiago de Cali.

Figura 6. Clasificación Climática del Valle Del Cauca. (Fuente: IDEAM, Atlas climatológico Nacional, 2005)

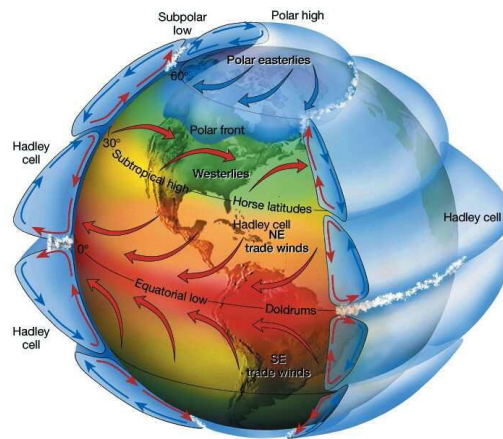


4.1.1.1 Latitud.

“La latitud es la distancia angular de un punto sobre la superficie terrestre al ecuador; se mide en grados, minutos y segundos. La importancia de este factor del clima es que determina la incidencia de los rayos solares sobre la tierra en un determinado punto” (Rodríguez, 2001, p14).

A medida que aumenta la distancia de línea ecuatorial la incidencia de los rayos del sol disminuyen hasta llegar a ser tangenciales a la circunferencia de la tierra, ilustración 2, afectando directamente la temperatura en un lugar. La ciudad de Cali se encuentra “localizada entre 3° 30' y 3° 21' de latitud norte; 76° 33' y 76° 27' de longitud oeste” (Gamboa, Herrera, Iglesias & López, 2011, p30) relativamente cerca de la línea ecuatorial.

Ilustración 2. Esquema de la circulación general de la atmósfera: en los trópicos predominan los Alisios. (Fuente: IDEAM Atlas climatológico Nacional)

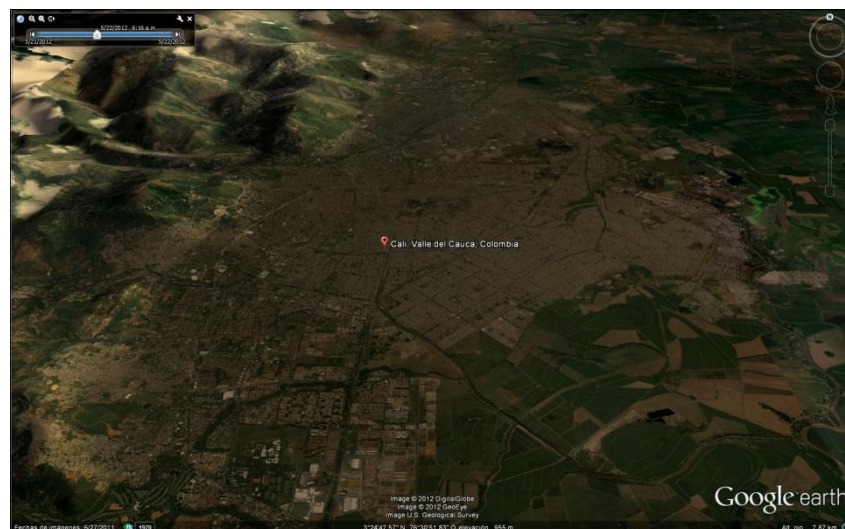


4.1.1.2 Altitud y relieve.

“El relieve es la configuración superficial de la tierra, (...) determina la insolación de un lugar, su vegetación, el contenido de humedad del aire, etcétera” (Ortega Rodríguez & Ortega Rodríguez, 2001, pág. 15)

Por su parte la ciudad de Cali se encuentra ubicada entre los 970 y 1.030m de altura sobre el nivel del mar, con una presión atmosférica de 670mmHg (Gamboa, 2011) y tanto la altura como el relieve son factores imprescindibles en relación con el clima ya que muestran la configuración de la superficie de la tierra, figura 7.

Figura 7. Mapa de relieve de Cali. (Fuente: Google Earth, 3 de abril de 2012)



4.1.1.3 Distribución de tierra y aguas.

Como lo muestra el estudio realizado por Gamboa (2011) “La ciudad está construida en el pie de monte de la cordillera occidental, zona conocida como los farallones de Cali y está atravesada por los ríos Cali, Cañaveralejo, Aguacatal, Lili, Meléndez, Pance y Cauca” (p30) Además de estos también encontramos ríos como el Chocho y Pichindé, y quebradas como Menga y Chontaduro. Que se pueden observar en el Anexo 2, donde está la Red Hídrica realizada en el POT de la Alcaldía de Santiago de Cali.

4.1.2 Elementos climáticos.

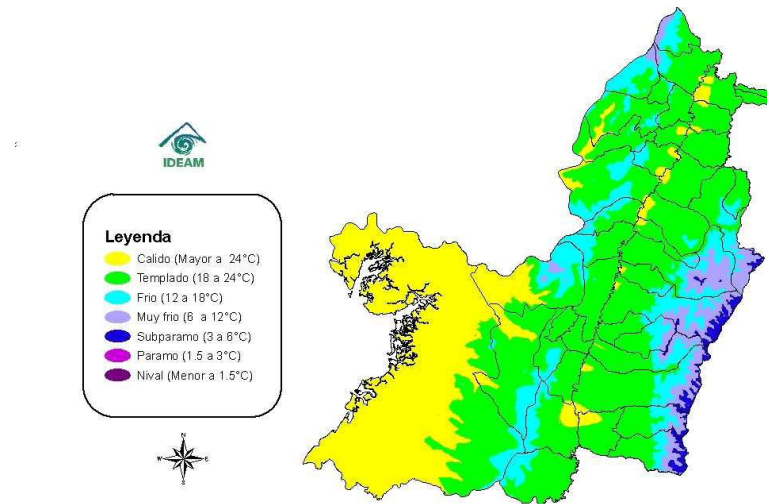
En el texto de Rodríguez (2002), se determinan como elementos climáticos todas aquellas propiedades físicas referentes a la atmósfera.

4.1.2.1 Temperatura.

“La temperatura es una magnitud que nos indica la capacidad que tiene un cuerpo para ceder o absorber calor respecto a otros de distinta temperatura” (Ortega Rodríguez & Ortega Rodríguez, 2001)

El clima, según el mapa desarrollado por el IDEAM acerca de la temperatura media anual que se evidenciada en el Atlas Climatológico Nacional, figura 8, define a la temperatura para el Valle del Cauca como templada en su mayoría, con algunos componentes cálidos al oeste y un borde frío al oriente. Con relación a los valores el clima templado va de los 18°C a los 24°C.

Figura 8. Temperatura Media Anual (°C). (Fuente: IDEAM Atlas climatológico Nacional, 2005)



El anterior mapa fue diseñado con las temperatura promedio que se muestran en la tabla de precipitación y temperatura versus los meses del año figura 11. Gamboa (2011, p33) en donde el autor menciona que la clasificación es algo contradictoria ya que en algunos casos los 24°C son superados en algunas partes de la línea promedio según la figura 9 del IDEAM. Pero en la tabla de temperaturas que se exhibe en la sección de información aeronáutica, del mismo organismo en su página web, donde se puede apreciar mucho mejor la línea de temperatura media para cada mes, observando que se encuentra probablemente por debajo o en los 24°C en promedio. A pesar de la disparidad de los datos no hay necesidad de realizar una sobre la discusión con relación a la temperatura promedio pues se trabajaran con valores máximos de temperatura obtenidos en los días más calurosos del año.

Figura 9. Registro de temperaturas y precipitaciones mensual para Cali, (Fuente: IDEAM Atlas climatológico Nacional, 2005)

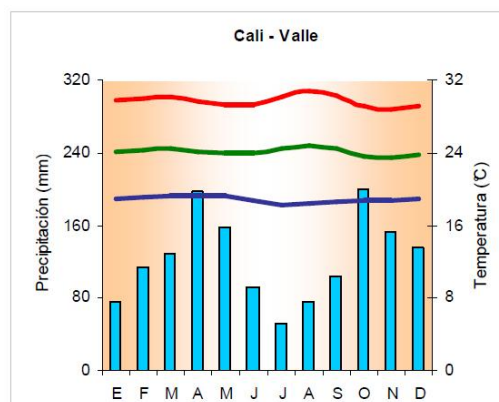
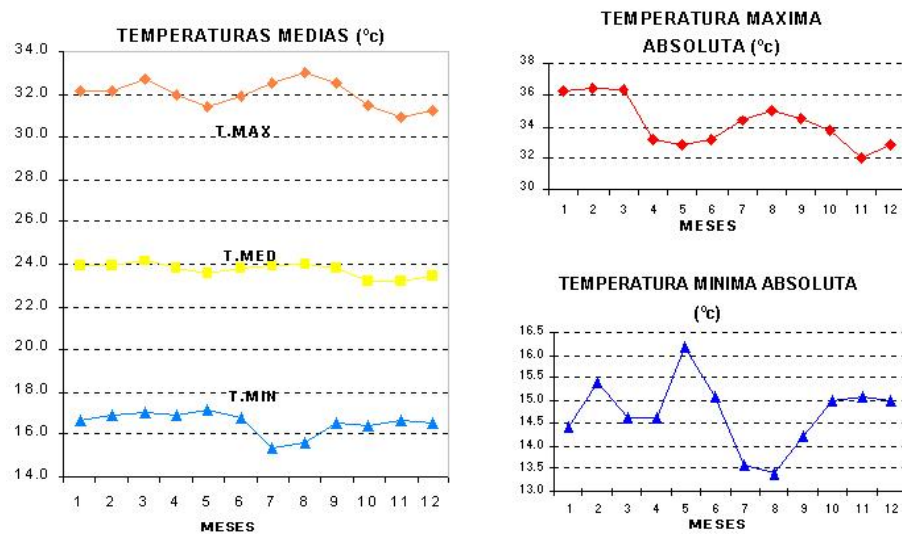


Figura 10. Cartas climatológicas, medias mensuales, aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón, Cali.
(Fuente: IDEAM Atlas climatológico Nacional, 2005)



Es importante mencionar que los términos temperatura media, máxima y mínima extrema o absoluta para que tengan validez se requiere que sean datos normalizados, es decir, promedios de un mínimo de 20 años de registro (Rodríguez, 2001) por ello la pertinencia de los datos obtenidos en las tablas desarrolladas por el IDEAM.

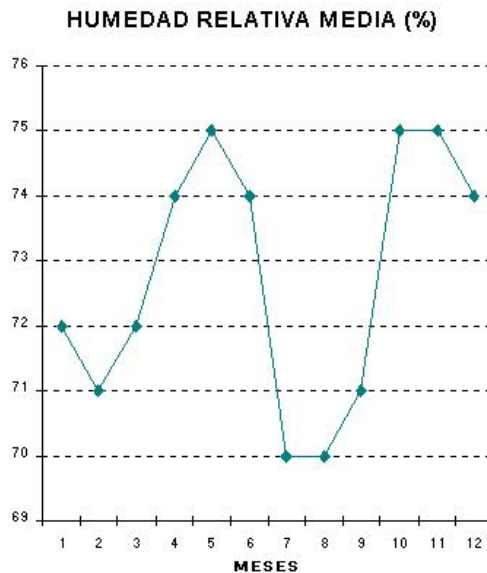
4.1.2.1 Humedad.

“La humedad es el contenido de agua en el aire. Existen diversas escalas para medirla, pudiéndose expresar como humedad relativa o humedad absoluta” (Rodríguez, 2001, p19)

El mismo autor define a la humedad relativa, como la relación de la humedad contenida en el aire que se está analizando y la humedad necesaria para saturar el mismo ambiente a través de porcentajes.

En Santiago de Cali la Humedad relativa en promedio mensual es del 72.67% según lo muestra la figura 11 presentada por el IDEAM.

Figura 11. Cartas climatológicas Humedad relativa, Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón, Cali.
(Fuente: IDEAM)



“...Por otra parte, durante el verano, el factor con mayor incidencia sobre la sensación térmica es la humedad, ya que ésta afecta directamente a la capacidad de generación de sudor de la piel. En consecuencia, a mayor humedad, mayor es la sensación térmica, ya que nuestro cuerpo no puede enfriarse de manera tan eficiente en esas circunstancias y entonces sufrimos el calor con mayor intensidad.” (Nuestro clima, ciencia y salud, extraída el 4 de julio de 2012)

De la estación Meléndez ubicada en el interior de la Universidad del Valle, se tomaron los datos de humedad relativa según la hora del día, correspondientes a una estadística anual, figura 12 y tabla 6, con el fin de tener una mayor confianza sobre los datos regionales.

Figura 12. Información de humedad relativa según hora del día, estación Meléndez, Universidad del Valle.

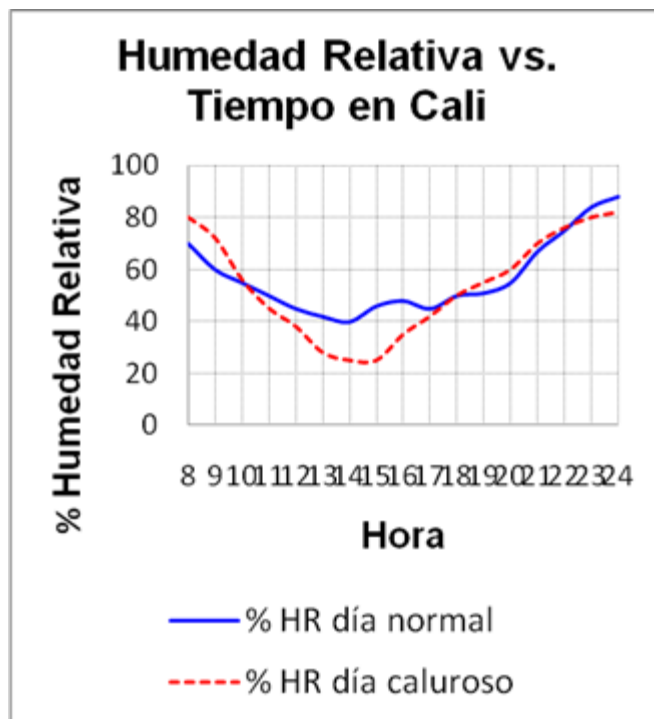


Tabla 6. Cambios de la Humedad Relativa.

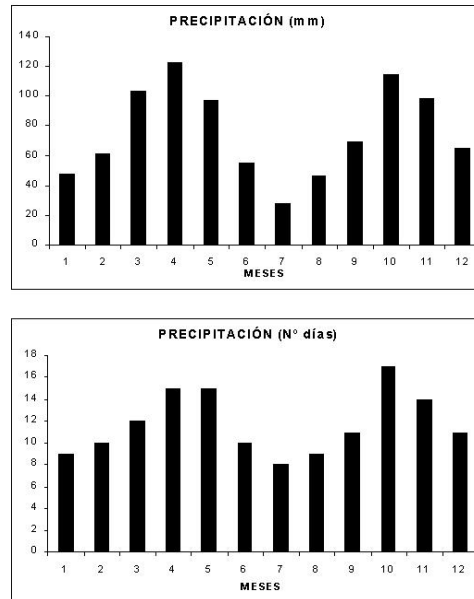
	01/octubre/2012	02/octubre/2012
Hora	HR	HR
8:00 a.m.	70%	70%
12:00 p.m.	35%	35%
5:00 p.m.	45% (llovió)	42%

4.1.2.2 Precipitación.

La precipitación es el agua en estado líquido o sólido que cae sobre la superficie de la tierra. Se mide por lo general con ayuda de pluviómetros y pluviógrafos. Los cuales deben de ser instalados en lugares que no generen interferencias en sus datos tales como árboles, edificios y cables entre otros.

La imagen que se muestra a continuación, figura 13, evidencia que el Valle del Cauca tiene un régimen de lluvias bimodal presentando dos periodos de lluvias, el primero que va de marzo a mayo, y el segundo de septiembre a noviembre.

Figura 13. Cartas climatológicas medias mensuales Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón, Cali. (Fuente IDEAM)

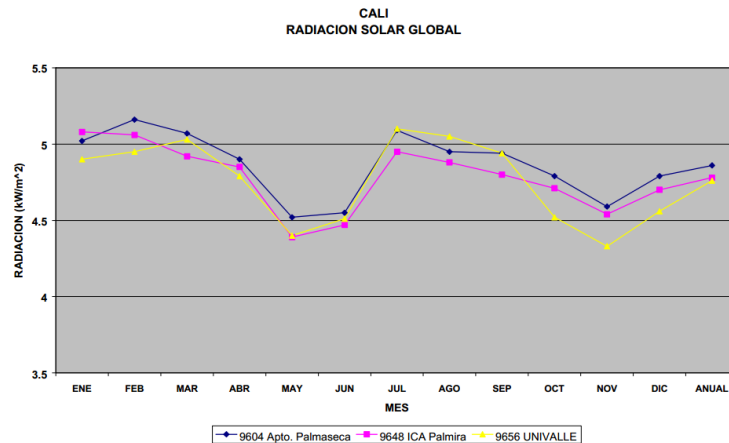


4.1.2.3 Radiación Solar.

“La radiación global es la cantidad total de energía solar que alcanza una fracción de superficie terrestre en un plano horizontal” (Rodríguez, 2001, p21). Partiendo de dicha definición podemos inferir que la radiación solar depende en gran medida de la latitud de la localidad a analizar. En este caso para la ciudad de Santiago de Cali se pueden observar en la figura 14. Para junio del 2012 se estuvo presentando un cambio climático que ha reducido la nubosidad teniendo temperaturas de hasta 36°C en un mes lluvioso como lo debería ser mayo⁶.

⁶ Ola de calor agobia a los caleños, el termómetro supera los 36 grados, Diario El País, Clima. Junio 1 de 2012.

Figura 14. Radiación solar en la principales ciudades del Colombia. Fuente: Corporación para la energía y el medio ambiente⁷.



4.1.2.3 Viento.

“El viento se forma por corrientes de aire producida en la atmosfera por causas naturales. Se mide en la horizontal. El viento contiene diversos atributos que lo caracterizan, como son la dirección, frecuencia y velocidad.” (Rodríguez, 2001, p20).

“La rosa de vientos del IDEAM muestra que en Cali el 79% del tiempo es periodo de calma” y el mayor porcentaje de viento que muestra la rosa de vientos, Figura 15, viene del oeste con velocidades de entre 1.6m/seg a 5.4m/s, y con el menor porcentaje están los vientos del noroeste con valores entre 1,6m/s y 10.7m/s.

Contradictorio a los valores de la figura 16, comparada con la del POT figura 18, Plan de Ordenamiento Territorial, donde según este organismo el viento llega del oriente y como se presenta en la sección 5.2.2 del capítulo 5 del presente documento, los documentos del POT son las bases para el desarrollo de proyectos de viviendas de interés social.

⁷Para el caso del diseño experimental de comprobación se seleccionó el mes de noviembre puesto que es una época de crecimiento en la radiación solar por las condiciones climáticas que genera una fecha cercana al solsticio de invierno (21 de diciembre).

Figura 15. Régimen Anual de viento, Cali. (Fuente IDEAM)

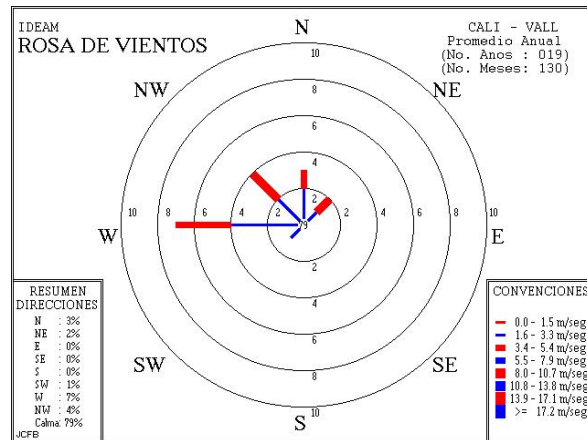
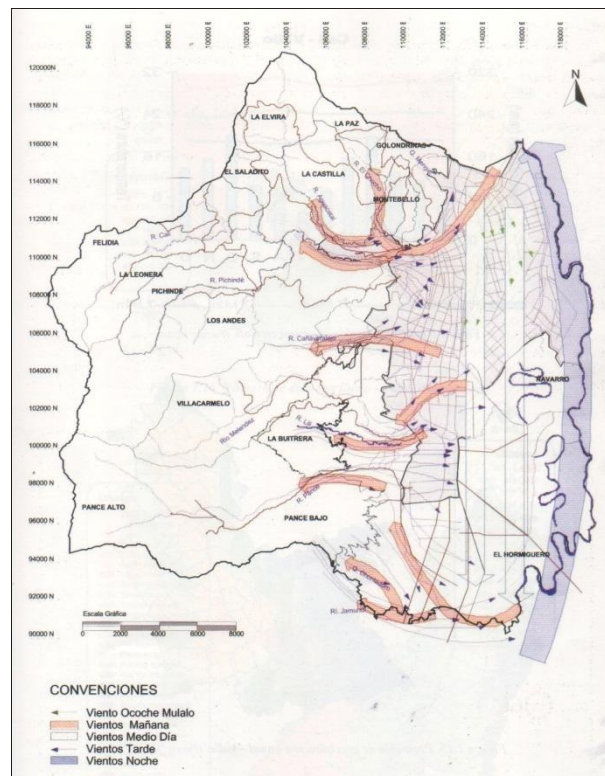


Figura 16. Dirección de los vientos en Cali, (Fuente: POT Cali)



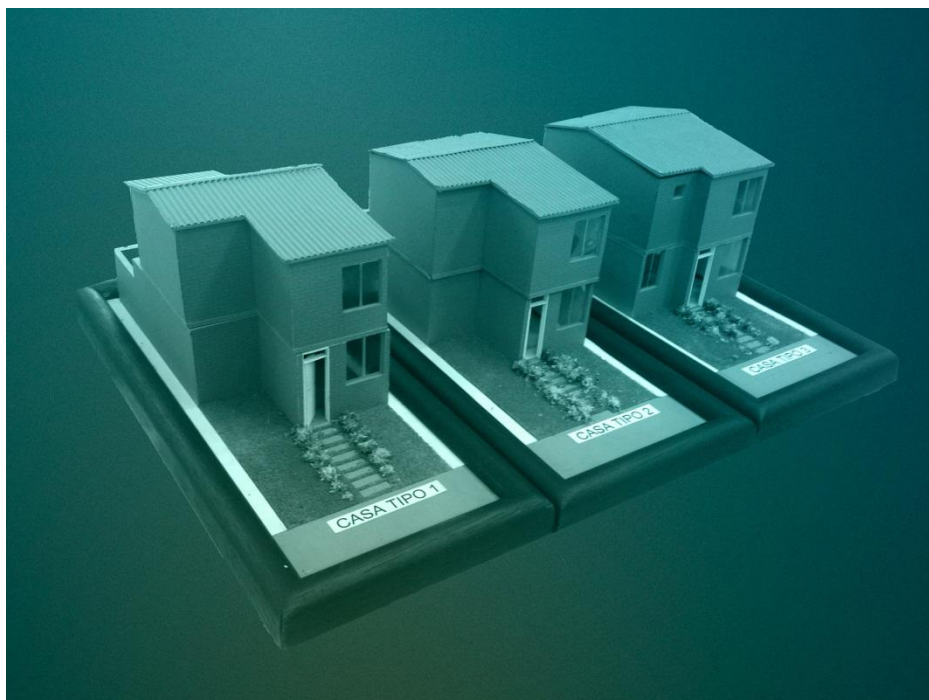
4.2 Fenómeno de isla de calor.

En la revista de la Universidad del Valle *Ingeniería y Competitividad* se encuentra un estudio realizado por Luis Santana llamado *influencia de los campos de ocupación del suelo de Cali (Colombia), entre 1984 y 2003 en la temperatura de superficie* (2011) encontrando un aumento del 29% del área construida, en detrimento de áreas en pastos, rastrojo, cultivos y zonas arboladas.

Estos cambios han generado, entre otros impactos, modificación en los procesos de transferencia de energía a la atmósfera, con la consecuente isla de calor. Encontraron además que la temperatura de superficie de la ciudad aumentó 3.76°C en promedio, incremento que se propagó a barrios de la parte central, oriental y norte y que determina el crecimiento de la isla de calor.

Dicha investigación para explicar el aumento de la temperatura de superficie lo realiza a través de las imágenes puesto que en ellas se capta no solo la actividad de los tejidos de follaje sino la reflectividad del suelo comparándola con años posteriores.

CAPÍTULO 5: ASPECTOS LEGALES Y SELECCIÓN DE LA SUPERFICIE A INTERVENIR EN LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL.



“La vivienda es el principal instrumento que nos permite satisfacer las exigencias de confort adecuadas. Modifica el entorno natural y nos aproxima a las condiciones óptimas de habitabilidad. Debe filtrar, absorber o repeler los elementos medioambientales según influyan benéfica o negativamente en el confort del ser humano.” (Olgyay, 1998, p16).

Por su parte *Planeación Nacional*, estamento encargado del estudio técnico que permite clasificar la población de una localidad a través de sus viviendas en estratos, conceptualiza el término vivienda de la siguiente forma: “Se considera vivienda toda edificación, con acceso desde la calle, destinada a la habitación de hogares” (Correa Martínez, Méndez Chávez, & Vargas Muñoz, 2005, pág. 38)

5.1 La vivienda de interés social (VIS).

Según el artículo 91, ley 388 de 1997.

“Se entiende por vivienda de interés social aquellas que se desarrollen para garantizar el derecho a la vivienda de los hogares de menores ingresos. En cada Plan Nacional de Desarrollo el Gobierno Nacional establecerá el tipo y precio máximo de las soluciones destinadas a estos hogares teniendo en cuenta, entre otros aspectos, las características del déficit habitacional, las posibilidades de acceso a crédito de los hogares, las condiciones de la oferta, el monto de los recursos de crédito disponibles por parte del sector financiero y la suma de fondos del Estado destinados a los programas de vivienda”

Gamboa (2011) muestra un panorama algo desalentadora para dicha definición ya que “actualmente el tema de la Vivienda de Interés Social se ha centrado en cómo hacer vivienda más barata, predominando el tema económico sobre los otros componentes importantes para una vivienda digna, como son lo funcional, lo estético, la calidad del aire, entre otras, sintetizando a una sola relación: área/costo” (p54).

5.2 Normas mínimas de calidad de vida de la vivienda.

A continuación se presentan algunos de los artículos que legitiman el actuar político con relación a las características que debe de tener una vivienda de interés social.

5.2.1 Artículo 40 de la Ley 3 de 1991:

“El Gobierno Nacional reglamentará las normas mínimas de calidad de la vivienda de interés social, especialmente en cuanto a espacio, servicios públicos y estabilidad de la vivienda.”

5.2.2 Artículo 99 capítulo 10 de la ley 388 de 1997:

Lo relacionado a las licencias de construcción.

“Dichas licencias se otorgarán con sujeción al Plan de Ordenamiento Territorial, planes parciales y a las normas urbanísticas que los desarrollan y complementan y de acuerdo con lo dispuesto en la Ley 99 de 1993 y en su reglamento, no se requerirá licencia o plan de manejo ambiental, cuando

el plan haya sido expedido de conformidad con lo dispuesto en esta Ley. Ver el Decreto Nacional 1052 de 1998”⁸

Pero en el Plan de Ordenamiento Territorial, POT, presenta variaciones en los resultados obtenidos respecto al aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón de la ciudad de Cali, figura 17 y 18, mostrando vientos favorables en el oriente vientos que según el aeropuerto no existen.

5.2.3 Artículo 1 del decreto 2083 de 2004:

Área mínima de lote para VIS tipo 1 y 2 Modificado por el artículo 1, Decreto Nacional 2083 de 2004.

Tabla 7. Áreas mínimas de lote para vivienda de interés social, Artículo 1 del Decreto Nacional 2083 de 2004.

Tipo de Vivienda	Lote Mínimo	Frente mínimo	Aislamiento Posterior
Vivienda unifamiliar	35m ²	3,5m ²	2.00m ²
Vivienda bifamiliar	70m ²	7m ²	2.00m ²
Vivienda multifamiliar	120m ²	-	-

Según las normas antes citadas se puede decir que “en este contexto, se hace evidente la necesidad de que los criterios que orientan la política habitacional en los ámbitos nacional y local no solo consideran aspectos como la optimización del gasto público, focalización de los subsidios, tendencia del mercado, déficit, entre otros, sino también los aspectos cualitativos que determinan la habitabilidad de la vivienda que se promueve” (Tarchópulos Sierra & Ceballos Ramos, 2003, p 31). Y además de ello la vivienda “es altamente inconfortable, que esta falencia no se debe a las limitaciones económicas propias de este tipo de vivienda sino que principalmente obedece a pobreza conceptuales en sus diseños los cuales están orientados a resolver situaciones del altiplano frío (Bogotá)” (Gamboa H, Rosillo Peña, Herrera Cáceres, López Bernal, & Iglesias García, 2011, p 20)

⁸Ibidem

5.2.4 Estatuto del uso del suelo para la ciudad de Cali.

En el año 1994 fue creado el estatuto del uso de suelo y normas urbanísticas; este documento se emplea como referente de aislamiento térmico define lo siguiente. “Contaminación térmica: Introducción excesiva de cantidades de calor en el medio ambiente, alterando la construcción física y /o causando cambios en los factores químicos, biológicos, paisajísticos y climáticos.” (Normas Urbanísticas, p 316)

En conclusión del artículo citado “... no se puede asegurar que en el país exista una normalización de las características de las viviendas a nivel constructivo, que puedan llegar a garantizar o al menos las condiciones de habitabilidad desde el punto de vista térmico y acústico de las viviendas.” (Castro C & Rojas M, 1996, p 11)

5.3 Comuna 15.

Según el documento *Agenda ambiental de Santiago de Cali*, elaborada por la alcaldía de Apolinar Salcedo (2006), la historia de la comuna se inicia a finales de 1979, con la nivación del barrio El Retiro, donde se ubicaron asentamientos procedentes de Nariño, la Costa Pacífica y el Chocó después del terremoto del 12 de diciembre de 1979.

Los políticos del gobierno departamental y municipal de aquella época, protegiendo a los grandes terratenientes, prometieron a las familias el tener una vivienda digna reubicándolos en una zona de alto riesgo debido al elevado nivel freático de la zona, 10cm por debajo del nivel del río Cauca. Además de ello “estaban colindando con el canal de aguas negras de toda la ciudad, lo que conllevó a que grandes inundaciones como la ocurrida en 1981 causaran mayores estragos, ese mismo año hubo 6 inundaciones y la más recordada fue la de diciembre en el día de las velitas” (Gómez, Sevilla, & Pardo, 2006, pág. 259).

La comuna 15 exhibe como característica principal el desarrollo de viviendas de interés social, debido a su localización en una zona de elevada demanda de vivienda especialmente en las áreas libres y en las de densificación de zonas medianamente desarrolladas. (Gómez, Sevilla, & Pardo, 2006)

5.3.1 Localización.

“La comuna 15 hace parte del distrito de Aguablanca y tiene una extensión de 411,86 hectáreas constituyéndose uno de los asentamientos más recientes y uno

de los más críticos debido a su densidad poblacional”. (Gómez, Sevilla, & Pardo, 2006, pág. 260)

5.3.2 División política.

La comuna 15 está conformada por los siguientes barrios.

Tabla 8. División política comuna 15, Agenda ambiental de Santiago de Cali (2006).

Barrio	Estrato
El retiro	1
Los Comuneros I etapa	2
Laureano Gómez	1
El Vallado	3
Ciudad Córdoba	2
Mojica	1
Bajos Ciudad Córdoba	2
Morichal de Comfandi	3

5.3.3 Planos.

Los planos de la vivienda se encuentran en el anexo 3 y fueron suministrados por la familia Bernal. De ellos se pueden extraer las diferentes dimensiones de las áreas que la conforman. Las viviendas están conformadas por distintos componentes estructurales, pero su cubierta a diferencia de los muros, está expuesta a una radiación solar más prolongada y presenta temperaturas más elevadas que el piso y los muros, figura 3 y figura 4, determinando a la cubierta cómo la superficie a intervenir.

5.3.4 Cubierta.

La cubierta empleada en estas viviendas generalmente es la teja Eternit ondulada perfil 7 y 1000. Las cubiertas de perfil 7 vienen en medidas de un ancho estándar

de 1,22cm y las cubiertas de perfil 1000 tienen un ancho estándar de 1,05m.
(Eternit, 2012)

CAPÍTULO 6: SELECCIÓN DE LA ESPECIE.



Fotografía 10. (*Tillandsia recurvata*), Tomada el 5 de noviembre de 2012.

Esta parte del trabajo pretende realizar un reconocimiento y valoración de las coberturas vegetales que crecen insistentemente en la ciudad sin ningún tipo de mantenimiento, estas especies de cobertura que crecen en la región presentan una ventaja en relación con otras especies introducidas al contar con mejores posibilidades de adaptación a las diferentes condiciones presentes en un ambiente tropical, tanto húmedo como seco.

Para seleccionar las plantas más adecuadas se recurre de la ayuda del profesor Phillip Silverstone, quien actualmente trabaja en el herbario de la Universidad del Valle, e igualmente se consultan investigaciones relacionadas con especies de plantas que están adaptadas a condiciones de estrés tales como la falta de agua, altas temperaturas y más de ocho horas de exposición directa al sol.

Las plantas propuestas por el profesor Silverstone fueron la *callisa reppens* de la familia *commelinaceae*, la planta *cryophyllum* de la familia *crassulaceae* y la *tillandsia recurvata* de la familia *Bromeliáceas*, anexo 4.

Por otra parte se acude a investigaciones como la realizada por Diana Lucia Eusse titulada *patrones de distribución espacial de epífitas angiospermas en un*

bosque seco del Valle geográfico del río Cauca, Colombia. En donde en el muestreo realizado encontraron 4211 epífitas, de las cuales las especies con mayor abundancia fueron *tillandsia recurvata* con 82% mientras que la *tillandsia juncea*, *hipsalis baccifera* y *tillandsia usneoides* lograron porcentajes inferiores al 7% (Eusse González, 2003, pág. 31)

Seleccionando la planta epífita *tillandsia recurvata* por su resistencia a las largas exposiciones solares, además de proliferar en ambientes cálidos como el del Valle del Cauca; por último y no menos importante se cuenta con la completa investigación desarrollada por la bióloga de la Universidad del Valle Eusse González titulada *patrones de distribución espacial de epifitas angiospermas en un bosque seco del Valle geográfico del río Cauca, Colombia*, la cual permite determinar las principales características que ayudan a conservar la vida de la planta.

6.1 Las plantas epífitas.

Las epífitas son aquellas plantas que crecen generalmente sobre otras especies vegetales particularmente sobre los troncos y ramas; pero únicamente establecen una relación de soporte mecánico con el hospedero, sin obtener nutrientes o agua de este. Ello se debe a que las plantas epífitas tienen sus propios sistemas de captación de nutrientes.

“Las condiciones en las que se han desarrollado las epifitas han influido en la formación de estructuras y funciones especiales que les permite soportar cambios en el clima, estabilizarse en el sustrato, captar nutrientes de diferentes fuentes en bajas concentraciones y hacer más eficiente la dispersión” (Eusse González, 2003, pág. 4)

6.2 Requerimientos.

Los requerimientos de estas plantas hacen referencia principalmente a los niveles de exposición al sol, disponibilidad de ramas y troncos que ofrezcan buen soporte, y características físicas de la corteza.

Las especies que más albergan epifitas según la investigación de Eusse Gonzales fueron *anacardium excelsum*, *ceiba pentandra* y *ficus insípida*. En el bosque seco el dosel, o copa del árbol, es mucho más abierto a comparación de un bosque húmedo exponiendo completamente a la luz solar y a la lluvia en caso de que se presente a las plantas que se hospedan en ellos. También por la altura en que se encuentran presentan bajos contenidos de nutrientes y de humedad.

A grandes rasgos y en conclusión la planta puede sobrevivir a altas exposiciones de luz solar pero necesita que la corteza del árbol donde se hospede encuentre humus y una estructura que le permita el desarrollo de un buen anclaje entre sus raíces.

6.2.1 Sustratos para jardines verticales.

El botánico Álvaro Calonje en su presentación *los muros verdes* propone un sustrato a partir de diferentes proporciones en donde un 25% carbonilla, 50% tierra y un último 25% de cascarilla de arroz, darían como resultado un abono recomendado para casi todos los tipos de plantas que se ubiquen para realizar muros verdes. En el caso de las plantas epífitas y particularmente la investigación de Eusse Gonzales menciona que “Las formaciones de humus presentan más especies epífitas que la corteza de los árboles”(Eusse González, 2003, pág. 49)

En la tesis de Diego Hurtado titulada *producción agroindustrial de abono orgánico (humus)* menciona que el humus es un abono orgánico proveniente del proceso digestivo de la lombriz y “[...] es considerado bio-orgánico, que por sus características especiales, ayuda a mejorar la retención e intercambio de nutrientes y agua” (Hurtado Garzón, 1997, p 2) y su contenido en elementos “como C, N, P, K, Ca, ácidos húmicos, humedad y flora bacteriana que constituyen nutrientes importantes para el mejoramiento de los cultivos agrícolas y plantas ornamentales”(Garcia Ortiz, Guerrero, & Henao Sanchez, 2002, pág. 15)

6.2.2 Requerimientos de Agua.

Según Andrea Penagos (2010) en su artículo titulado *el exclusivo mundo de las epífitas* las mayores dificultades que presentan este tipo de plantas es la obtención de agua ya que depende de la cantidad de agua disponible por la humedad atmosfera, humedad relativa, y de la cantidad de precipitación pluvial en la zona.

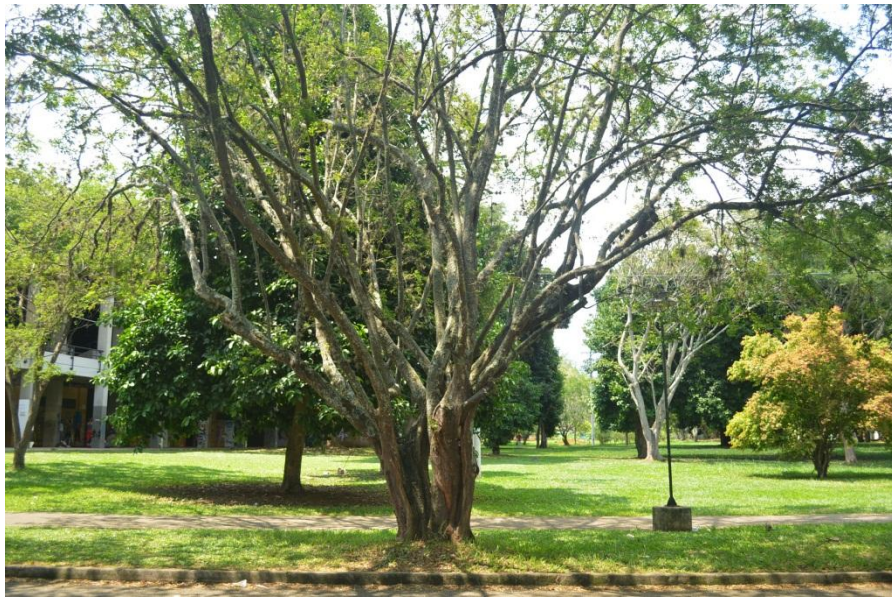
6.2.3 Nutrientes necesarios.

Las epífitas existen en condiciones pobres de nutrientes, según Andrea Penagos (2010) toman parte de los nutrientes que quedan atrapados entre sus raíces y hospederos (ramas de plantas, cables u otros objetos).

6.3 Hospederos.

Los árboles mencionados en la investigación de Gonzales, gracias a la gran cantidad de *tillandsia recurvata* encontrada fueron: La *Ceiba*, el *Caracolí* y el árbol de *Ficus*. No obstante en los recorridos realizados en la Universidad del Valle durante el mes de septiembre y octubre se encontraron que arboles como el *Chiminango* (fotografía 11), el *Samán* (fotografía 12), y el *urapán* (fotografía 13), almacenan una gran cantidad de plantas de la especie *tillandsia recurvata*.

Fotografía 11. *Chiminango* (*pithe cellobium dulce*) Tomada el 5 de Noviembre de 2012.



Fotografía 12. Samán (*samanea saman*) Tomada el 11 de Octubre de 2012.

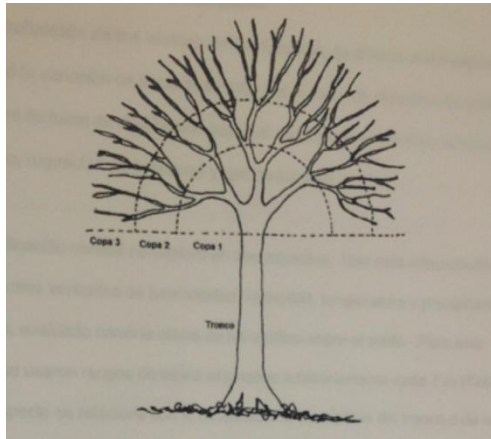


Fotografía 13. Urapan (*oleaceae*) Tomada el 5 de Noviembre de 2012.



En el caso de la investigación de Eusse, el interés particular se centraba en realizar un muestreo a partir de la división de los hospederos, figura propuesta por Dick Johansson en 1974. Esta fragmentación de los hospederos facilitaba determinar la abundancia de plantas epífitas según la parte del hospedero donde se desarrollaba, figura 17.

Figura 17. División de un hospedero para muestreo de epifitas en tronco y copa, adaptado de Johansson (1974) (Fuente: Patrones de distribución espacial de epifitas angiospermas en un bosque seco del Valle geográfico del río Cauca, Colombia)



En la presente investigación se priorizará la capa 3 y el tronco de los árboles dado que es donde son más evidentes los cambios tanto en la corteza del material como en su diámetro.

6.3.1 El tronco.

Estas especies de árboles presentan cortezas ásperas, gruesas y con salientes; posibilitando la formación de líquenes y musgos además de servir de hospedero de *tillandsia recurvata*, fotografía 14, cuyas raíces se introducen entre los espacios de la corteza y se alimentan del humus.

Fotografía 14. *Tillandsia recurvata* desarrollada entre la corteza del árbol de Chiminango, Tomada el 5 de noviembre de 2012.



Se puede decir que las salientes y la rugosidad de la corteza permiten el almacenamiento de partículas de polvo y la formación de humus. “Por otro lado, un tamaño pequeño se ve favorecido al momento de establecerse en las superficies fisuradas de los hospederos y por la poca cantidad de agua necesaria para su imbibición.” (Eusse González, 2003, pág. 8)

6.3.2 Las ramas.

Con relación a las ramas de la copa 3, según la clasificación de los árboles realizada Eusse (2003), se observó gran proliferación de plantas epífitas en árboles secos posiblemente a que la intensidad de radiación solar es mayor; además de ello el diámetro de las ramas del hospedero al ser mucho menor a comparación del tronco permite un mayor agarre por parte de las raíces de la *tillandsia recurvata*, fotografía 15.

Fotografía 15. *Tillandsia recurvata* desarrollada en las ramas del árbol de Chiminango, Tomada el 5 de noviembre de 2012.

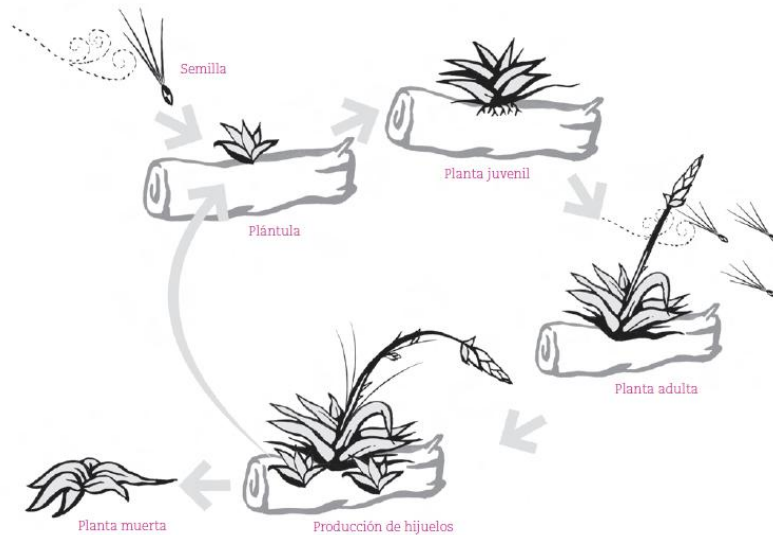


6.4 Obtención y reproducción de *tillandsia recurvata*

Hasta el momento se ha observado la forma de obtención de la *tillandsia recurvata* de una forma natural, por llamarlo de alguna manera, pero se puede reproducir de forma inducida. El grupo autónomo para la investigación ambiental A.C. elaboro una publicación dentro de la colección *manejo campesino de recursos naturales* titulado *bases para el manejo comunitario de bromelias ornamentales* (2007). En esta investigación presentan un esquema del ciclo de la vida de las brómelas

desde un nacimiento a partir de la siembra de la misma semilla o por la obtención e hijuelos de planta cuando esta muere (figura 20).

Figura 18. Esquema general del ciclo de las bromelias (Fuente: Bases para manejo comunitario de bromelias ornamentales).



Cuando la planta muere se espera que otra planta de la misma especie tome su lugar.

6.5 Otras especies de plantas que se pueden llegar a emplear.

En esta sección se encuentran plantas que al igual que la *tilandsia recurvata*, presentan características como resistencia a las altas temperaturas y a la radiación solar directa, también pueden ser estudiadas y según los resultados llegar a ser empleadas como aislantes térmico en cubiertas, otra de las características de las plantas expuestas es que se encuentran en el casco urbano de la ciudad de Cali y por ello están adaptadas a las condiciones climáticas de dicho entorno.

Los arquitectos Jorge Enrique Salazar y Héctor García desarrollaron la investigación para la maestría en paisajismo titulada *selección de algunas especies de cobertura* (2011) donde pretendían realizar un reconocimiento, inventario y clasificación de material vegetal encontrado en las ciudades de Cali y Buenaventura; estudiando también la posibilidad de aplicación en el diseño del espacio abierto de Cali.

El estudio mencionado selecciona 27 especies sobre las cuales realizaron levantamiento de información de interés botánico, fotografía e identificación, al

igual que el estudio del comportamiento de estas especies cuando se enfrentan a las condiciones del estrés urbano, lo que ellos llaman la fragilidad de la especie. Éste último factor es de gran pertinencia para este trabajo de grado puesto que deberán sobrevivir a las fuertes condiciones de radiación solar y largos periodos de lluvias y sequias.

La planta *tradescantia zebrina* o mejor conocida como *siempre viva* tiene entre sus características que es “de fácil propagación puesto que invaden con facilidad todo el terreno disponible desplazando a otras plantas” (Salazar M & Garcia Q, 2011, pág. 32). Su propagación se realiza mediante esquejes y al igual que la *tillandsia recurvata* es una planta epífita. Esta planta es conocida comúnmente como una maleza y su supervivencia depende de su adaptación al clima de la ciudad.

Fotografía 16. *Tradescantia zebrina*, Tomada el 9 de marzo del 2013.



La planta *syngonium pedatum*, de la familia *araceae* o también conocida como *care vaca* encontrada en cercanía a los ríos Lilí y Meléndez, presenta buenas condiciones en el ámbito urbano al ser trepadora de muros y como planta de cobertura.

Fotografía 17. *Syngonium pedatum*, Tomada el 10 de marzo del 2013



Las plantas *callisiarepens* y *dichondra repens* no son exigentes con relación al tipo de suelo. La primera planta fue propuesta por el profesor Philip Silverstone y la segunda fue extraída del texto *selección de algunas especies de cobertura* (2011), con relación al proceso de siembra "... es similar a los de un césped normal a partir de la eliminación de malezas, labrado y labranza" (Ibídem pág. 42). Planta que también es una superviviente gracias a sus adaptaciones al clima de la ciudad.

Fotografía 18. *Callisia repens*, imagen extraída de <http://bit.ly/175OdDJel> 11 de marzo de 2013.



Fotografía 19. *Dichondra repens*, imagen extraída de <http://bit.ly/ZoxVeG> el 11 de marzo de 2013.

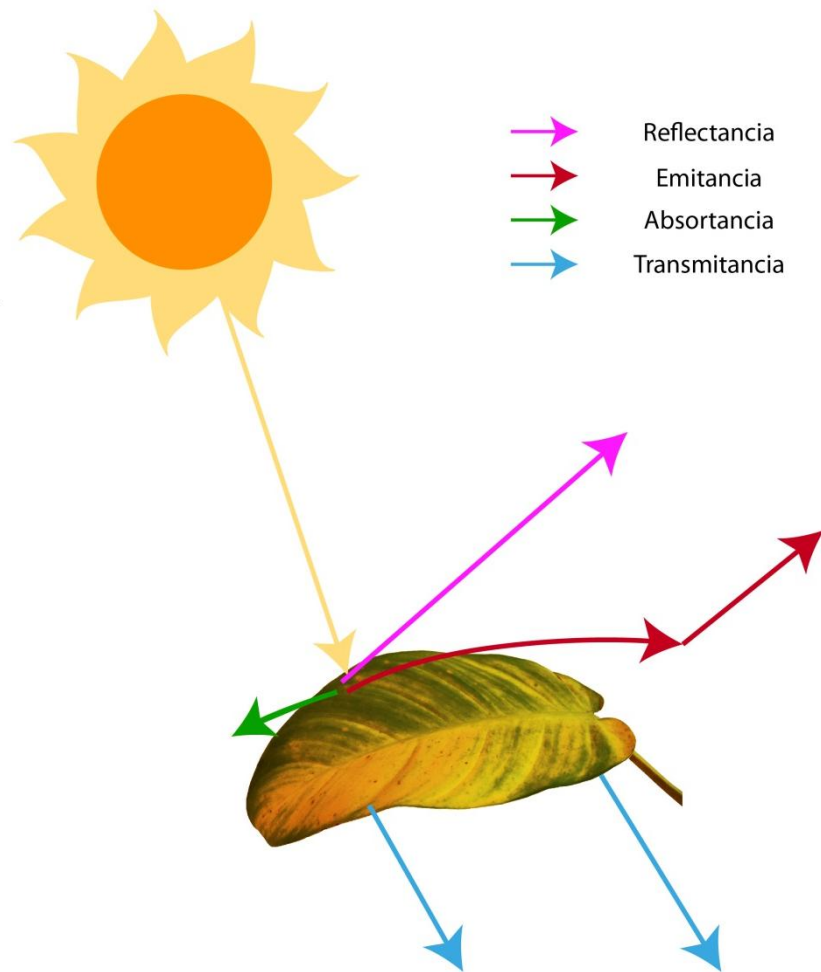


6.6 Efecto de la radiación sobre las plantas.

La radiación solar es aprovechada por las plantas para realizar fotosíntesis. En el caso de las plantas epífitas y particularmente de la *tillandsia recurvata* posee mecanismos de captación y reserva de nutrientes y agua; que le permiten sobrevivir ante ambientes muy estresantes de altas temperaturas, elevada luminosidad y muy baja humedad. Realizando un proceso fotosintético eficiente con tasas bajas de transpiración. (Eusse González, 2003)

Las características superficiales de los materiales pueden afectar de manera significativa su desempeño térmico. Esto es especialmente si dicha propuesta a desarrollar se va a ubicar en los exteriores de la vivienda, las plantas al estar expuestas a la radiación presentan absorptancia, transmitancia, reflectancia y absorptancia, figura 19.

Figura 19: Esquema del efecto de la radiación sobre las plantas.



El empleo de vegetación es un elemento importante en cuanto a su impacto sobre el flujo de energía, evapotranspiración, circulación del aire y temperatura de superficie; dentro de la ciudad tiene una repercusión igualmente benéfica a través de la absorción y reflejo de la radiación solar, y por último un embellecimiento estético (Santana, Escobar, & Capote, 2011)

El lograr una propuesta que brinde condiciones óptimas de soporte y desarrollo a la planta, generando además una buena densidad a modo de barrera, permitirá no solo una reducción en la temperatura de las superficies donde ésta se ubique sino una reducción en las causas del fenómeno isla de calor.

6.6.1 Energía absorbida.

La absorptividad es la propiedad de un material que determina la cantidad de radiación incidente que puede absorber y la absorptancia es la representación de la absorptividad en fracción que dicho material puede almacenar; el cual se expresa de forma decimal desde 0.0 a 1.0, o en porcentaje de 1 a 100.

6.6.2 Energía transmitida.

Es la proporción de radiación que es capaz de atravesar un material y la transmitancia es el porcentaje de dicha energía.

6.6.3 Energía emitida.

Es la cantidad de radiación que un material emite después de haber absorbido y la emitancia es la magnitud de esta.

Este valor se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$\dot{e}_e = \varepsilon * \sigma * T^4$$

Dónde:

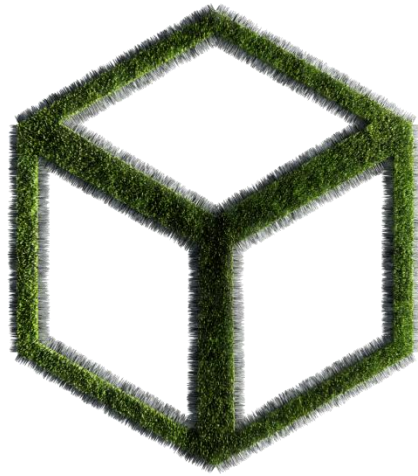
$\dot{e}_e \left[\frac{W}{m^2} \right]$: Flujo de energía emitida por unidad de área.

E: Es el valor de la emisividad del material, en este caso 0,98.

$\sigma = (5,67 \times 10^{-8}) \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ Es conocida como la constante de Stefan Boltzmann.

Ts: Es la temperatura superficial [°K].

CAPÍTULO 7: DESARROLLO DE LA PROPUESTA.



7.1 Conceptualización

En este capítulo se aborda los factores en el proceso de diseño que fueron determinantes para el desarrollo de una propuesta y la presentación de la misma.

7.2 Viabilidad.

Para el desarrollo del proyecto es necesario conocer e identificar los límites y alcances que puede llegar a tener el mismo, entendiendo por límites las condiciones o características externas del entorno que restringen el proceso de diseño y que enmarcan los rasgos de este. El alcance se refiere entonces a la capacidad de obtener los recursos e información necesaria para el desarrollo adecuado del proyecto. En este caso se enumeran de la siguiente manera.

7.2.1 Limitantes.

- Duración de la etapa investigativa y de desarrollo: Año y medio.

- El diseño propuesto no debe utilizar sistema de riego ya que en épocas de verano se multan a las personas que lo hagan⁹.
- No debe exceder las dimensiones de los espacios destinados para su función, en techos de teja de Eternit perfil 7 números 4, 6 y 10¹⁰, cuyas medidas son (1,22m x 1,1m), (1,83m x 1,1m) y (3,05m x 1,1m)¹¹ respectivamente.
- Debe reducir la temperatura que llegaría a las distintas superficies en por lo menos de un grado centígrado.
- Las plantas no deben tener tallo leñoso debido a que puede llegar a quebrarse y deben de soportar temperaturas entre 24 y 36 C.

7.1.2 Alcance.

Es posible acceder a planos y visitas de las viviendas de interés social del Morichal de Comfandi al igual que a los mapas climáticos del valle del Cauca.

Para determinar la cantidad de radiación incidente generada por la radiación solar y la que dejan pasar las plantas es necesario contar con herramientas como radiómetros, instrumento que permite medir que cantidad de radiación llega en un instante determinado. Este radiómetro se encuentra en la Universidad del Valle y es de propiedad del profesor Gerardo Cabrera.

Es necesario emplear una cámara termográfica que permite ver la temperatura que posee una determinada superficie con el fin de obtener los valores para realizar la comprobación de la cantidad de reducción de temperatura obtenida por el sistema propuesto.

Con el profesor Phillip Silverstone se espera obtener asesoría y recomendaciones acerca de especies que se puedan emplear en la ciudad de Cali para resolver la

⁹El decreto número 411.0.20.0736 de septiembre 20 de 2012 de Santiago de Cali, Dispuso del cumplimiento obligatorio de medidas transitorias dadas las condiciones de sequía e incendios forestales presentados en dicho año con el fin de salvaguardar la vida y los bienes de los habitantes en el municipio de Cali. En su primero prohíbe "El desperdicio del agua y la energía en todas las actividades de la vida cotidiana promover que otros también lo hagan, entre ellas (El lavado de vehículos y fachadas con manguera, regar jardines y zonas verdes, lavar vehículos en ríos"

¹⁰Estos perfiles y números de las cubiertas de Eternit corresponde a los documentos del proceso de licitación del instituto municipal de reforma urbana y vivienda de interés social para la ciudad de Cali y Buga (2012).

¹¹Las dimensiones de los distintos modelos de la teja de Eternit perfil 7 fueron obtenidos de la guía Eternit para tejas de fibrocemento "Teja ondulada p7 plus" (2012).

anterior problemática al igual que con ayuda de tesis desarrolladas por estudiantes de biología sobre especies que habitan bosques cálidos del Valle del Cauca.

7.3 Requerimientos y Determinantes.

Para el desarrollo del diseño es esencial tener en cuenta los requerimientos y determinantes que el proyecto define, para lograr un producto integral y funcional. Entendemos entonces como determinantes los aspectos propios del proyecto que lo identifican como tal y lo diferencian de cualquier otro. Estos a su vez, no pueden ser modificados por el diseñador una vez el proyecto esté planteado. Entre ellos se encuentran el contexto, el usuario y los diferentes elementos que puedan interactuar con el sistema; todos estos generan ciertas condiciones que se deben tener en cuenta al momento de diseñar y serán la base alrededor de la cual se plantean los requerimientos. El contexto por ejemplo nos arroja datos sobre el clima que *determina* el material que se *requiere* para que funcione de manera adecuada el sistema. Según esto los determinantes son entonces especificaciones a las que el diseño debe ceñirse. Deben ser precisos en las características que se requiere que tenga el producto sin dejarse abiertos a ambigüedades y reglamentan los rasgos que el sistema debe tener más no lo que debe ser.

Para el desarrollo del proyecto se realizó una tabla en donde se especifican los determinantes y requerimientos utilizados para el proceso de diseño en el anexo 5.

7.4 Hipótesis de diseño.

Se puede reducir la temperatura de las cubiertas Eternit, perfil 1000 y perfil 7 de un ancho estándar de 0.92m y largos 0.61m, 0.91m, 1.22m, 1.52m, 1.83m, 2.44 y 3.05m (Eternit, 2012) por medio de un sistema que brinde condiciones para el desarrollo de la especie *tillandsia recurvata* y sea adaptable al perfil de la cubierta.

7.5 Concepto de diseño.

El concepto de diseño sobre el cual se trabajará es “epifitismo” el cual corresponde a la ocupación que realizan las plantas epifitas sobre otras plantas donde únicamente establecen una relación de soporte mecánico con el hospedero, sin obtener nutrientes o agua de este.

7.6 Propuesta de diseño

7.6.1 Nombre del sistema.

PROHABITAT.

7.6.2 Descripción del sistema.

Prohabitat es un sistema adaptable a las tejas de Eternit perfil 1000 y perfil 7, utilizadas actualmente como cubiertas en las viviendas de interés social. Este sistema logra reducir la temperatura de las dichas cubiertas al estar expuestas de forma directa a la radiación solar.

Prohabitat igualmente favorece el desarrollo de la especie *tillandsia recurvata* obteniendo de forma simbiótica las propiedades que esta presenta frente a la radiación solar y de esta manera reducir la temperatura en las cubiertas y minimizar las causas del incremento del fenómeno isla de calor.

Beneficios.

- Reducción en la radiación y temperatura que produce el sol sobre la superficie a proteger.
- Al emplear plantas dentro del sistema se recupera parte del territorio que se ha desplazado de vegetación por la construcción, reduciendo las causas que generan el fenómeno de isla de calor.
- No genera desperdicio ya que no se deben de desechar las tejas para obtener los beneficios de Prohabitat evitando generar basura o daños al medio ambiente.

7.6.3 Proceso de desarrollo formal

La principal necesidad respecto a la ubicación de las plantas está determinada por la cobertura que estas puedan tener sobre la teja además de evitar conflictos entre las plantas por la cantidad de radiación solar que les pueda llegar. Por lo tanto se recurre a configuraciones donde las plantas logren una buena superposición.

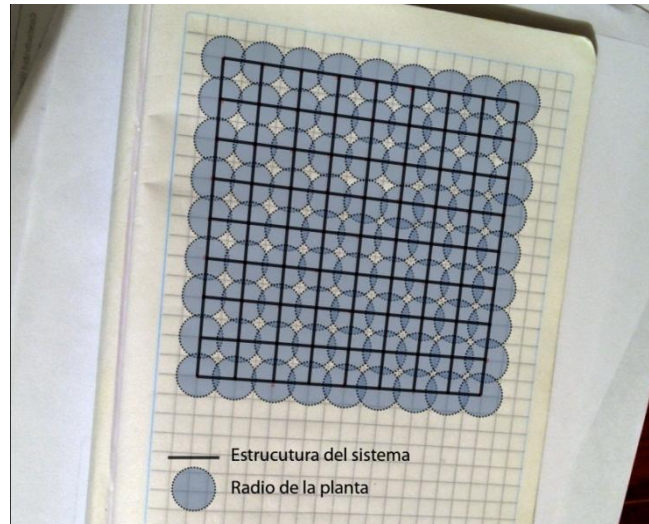
Estas plantas pueden lograr un largo máximo de 15 cm aproximadamente; durante la investigación no se encontró documentación sobre el tamaño que puedan llegar a alcanzar; durante el ejercicio en el que se determinó la cantidad de temperatura que logra reducir en una cubierta, el tamaño de la especie promedio durante dicho experimento fue de 10cm, fotografía 20, y se sabe que su crecimiento se realiza en forma radial.

Fotografía 20. Medidas de la *tillandsia recurvata*.



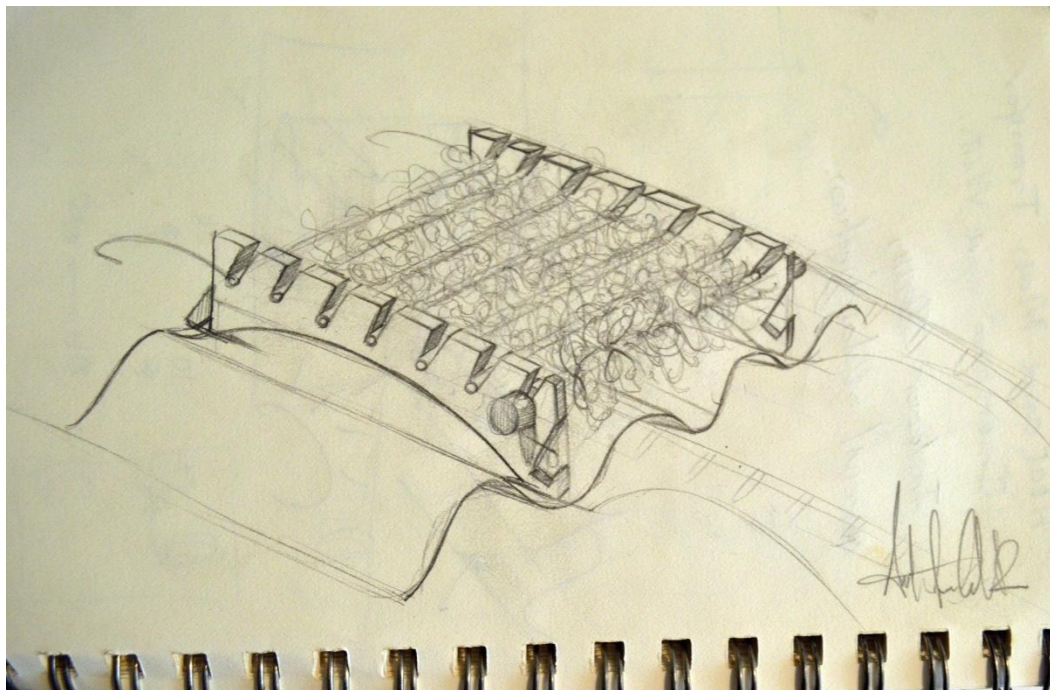
Las primeras exploraciones se desarrollaron por medio de una matriz cuadriculada donde cada punto estaba distanciado 10 unidades, concibiéndolo en un principio como un arreglo de elementos de forma cuadrada, ilustración 3, de tal manera que al ser ocupado por una *tillandsia recurvata* permitiría un traslape o superposición entre las plantas.

Ilustración 3. Exploración básica de superposición.



Estas primeras exploraciones involucraban el desarrollo de una estructura que separara la forma de la cubierta del sistema propuesto en donde los cilindros cumplen la función de permitir que las raíces se adhirieran a ellos, ilustración 4, similar a lo que sucede en las ramas más externas del árbol, capa3 de la figura 19.

Ilustración 4. Estructura para ubicar las plantas separadas de la cubierta.

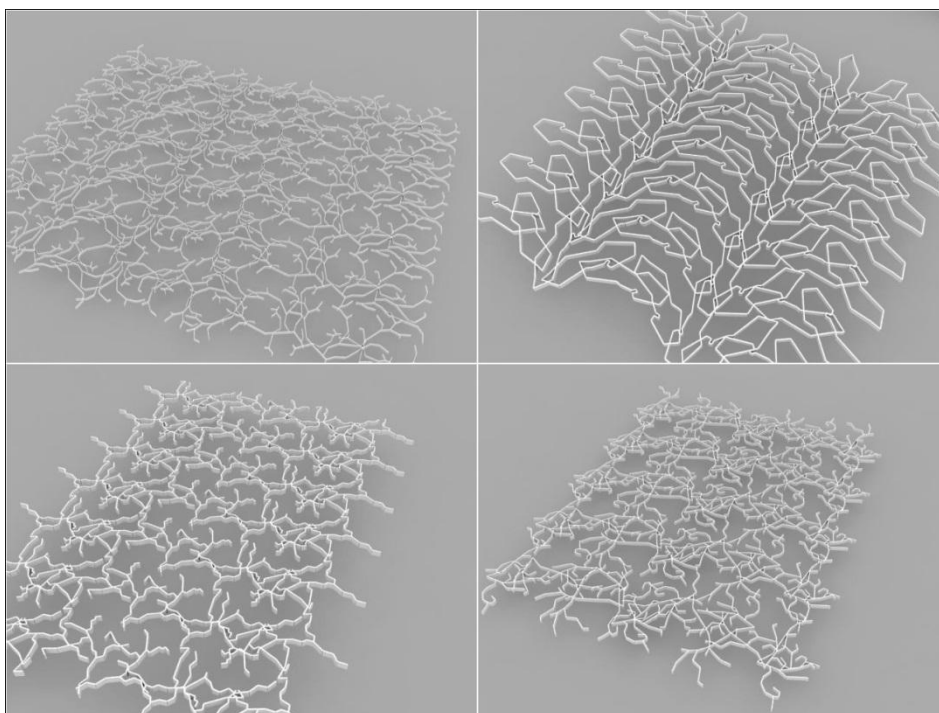


Otras exploraciones se basan en la interpretación de fotografías de la corteza del chiminango, fotografía 21, y las configuraciones que se obtenían a partir de la repetición de líneas que se extraían del árbol, ilustración 5. Estas exploraciones fueron basadas en el documento de la arquitecta Ludobica Rossi titulado *arquitectura y biomímesis* (2009) en donde se explica cómo obtener resultados formales a partir de la observación de la naturaleza definiéndolo con el término *biomimetismo*. Interpolando dicha información al ambiente donde se desarrolla la planta *tillandsia recurvata*.

Fotografía 21. Corteza del tronco del Chiminango.

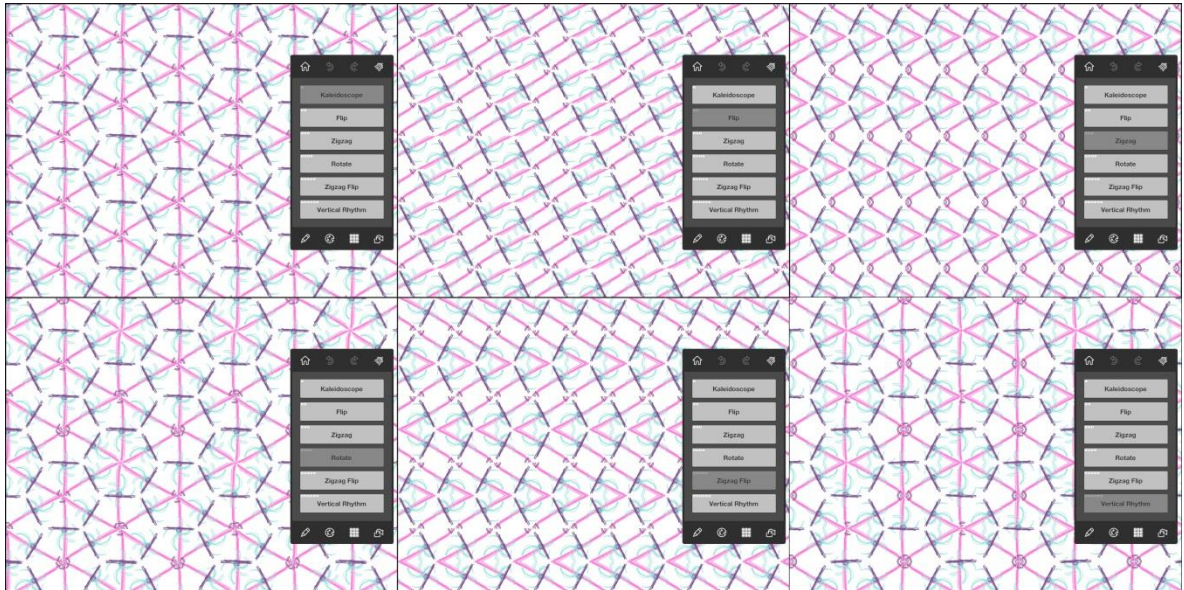


Ilustración 5. Formas desarrolladas mediante el calco de algunas cortezas extraídas de la fotografía 21.



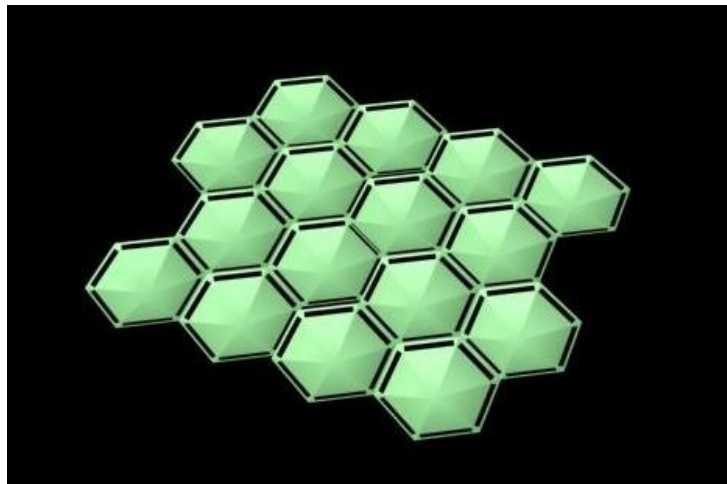
Con ayuda de la aplicación *tile deck* se desarrollaron exploraciones formales que permitían tener una determinada y constante separación entre plantas. Generando ritmo a partir de la repetición de un dibujo a través de configuraciones tales como caleidoscopio, simetría, zigzag, rotación, zigzag invertido y una última opción llamada *vertical rhythm*, ilustración 6.

Ilustración 6. Exploraciones 2D realizadas en la aplicación Tiledeck.



Las exploraciones obtenidas a partir de la configuración caleidoscopio y rotación exploraciones se llevaron a formas tridimensionales (ilustración 8).

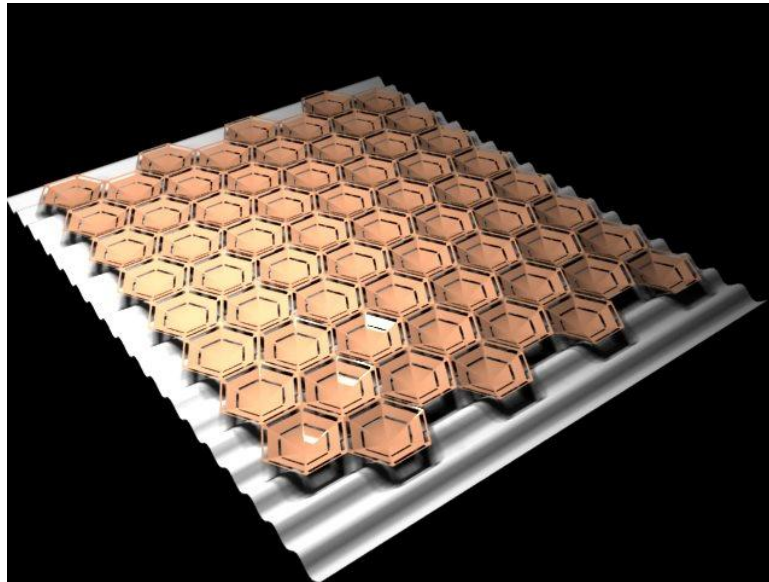
Ilustración 7. Exploración 3D de las formas obtenidas mediante tiledeck.



Como se logra observar en los bordes de los hexágonos hay unas perforaciones rectangulares, la función de estas sustracciones es permitir un agarre por parte de la planta similar a las exploraciones que se observan en las ilustraciones 5 y 6.

Esta configuración se adapta a la cubierta como se observa en la ilustración 9; además de ellos se realizaron seis perforaciones más en el interior del hexágono con el fin de permitir el drenaje del agua.

Ilustración 8. Primeras visualizaciones de la exploración sobre una teja.



A la vez que se contempla el desarrollo de la forma se ven los posibles métodos de producción y las cualidades óptimas que deben tener los materiales para el desarrollo de la especie y la disposición con respecto al techo.

Todas las anteriores propuestas corresponden a formas rígidas que se adaptan a un perfil particular sinusoidal de la teja y en algunos casos necesitan contar con una estructura que las separe de la misma. Hasta este punto se había llegado a una forma hexagonal cuyo principal interés se centraba en la superposición de plantas, con la finalidad de generar una mayor reflexión de la radiación solar, disminuyendo así la cantidad de radiación que llegaría a la cubierta.

En el trabajo de campo realizado para determinar los materiales más aptos para el desarrollo de la especie se encontró que la espuma fenólica, desarrollada por la empresa colombiana Fenocol, y la estera de bobina de policloruro de vinilo. Eran inocuos y también se pueden comportar como sustratos, pero dadas las características inflamables se descartó la espuma fenólica por su fácil ignición.

El material seleccionado además de tener las propiedades antes mencionadas, tiene la virtud de ser adaptable a casi cualquier perfil de teja y permite retomar el desarrollo de las exploraciones logradas en *Tiledock*. Dados estos desarrollos previos con relación al tamaño de la planta se logra una última configuración, ilustración 9 y finalmente la ilustración 10 muestra la distribución de la *tillandsia* en el módulo.

Ilustración 9. Imagen del módulo en donde se ubicaran la especie *tillandsia recurvata*.

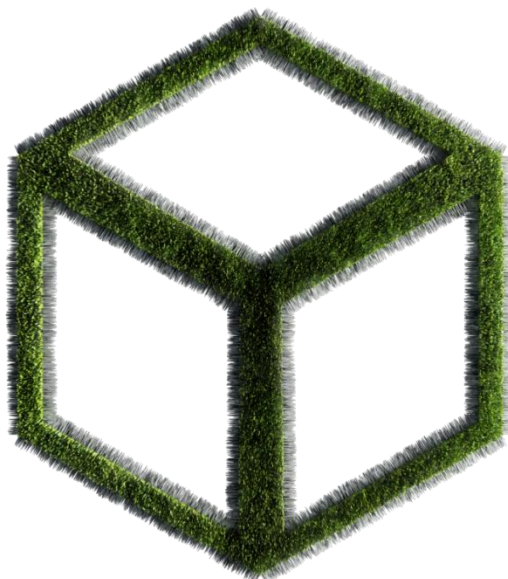
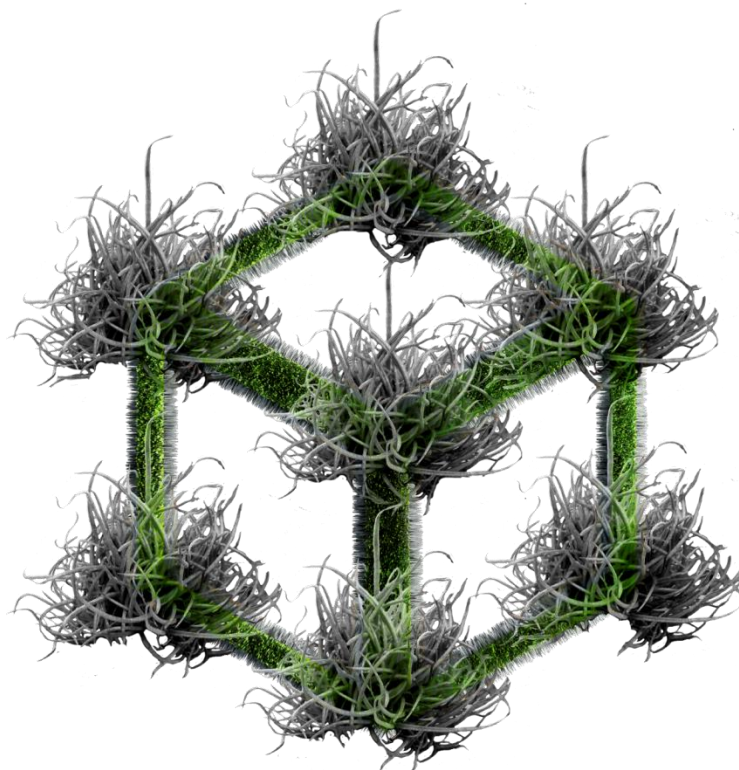


Ilustración 10. Distribución de plantas en el módulo.



La repetición de esta figura sin variación de tamaño genera una retícula, ilustración 11; la cual al ser ubicada en la cubierta se visualizaría de forma similar a como lo presenta la ilustración 12.

Ilustración 11. Retícula generada mediante la repetición del módulo hexagonal.

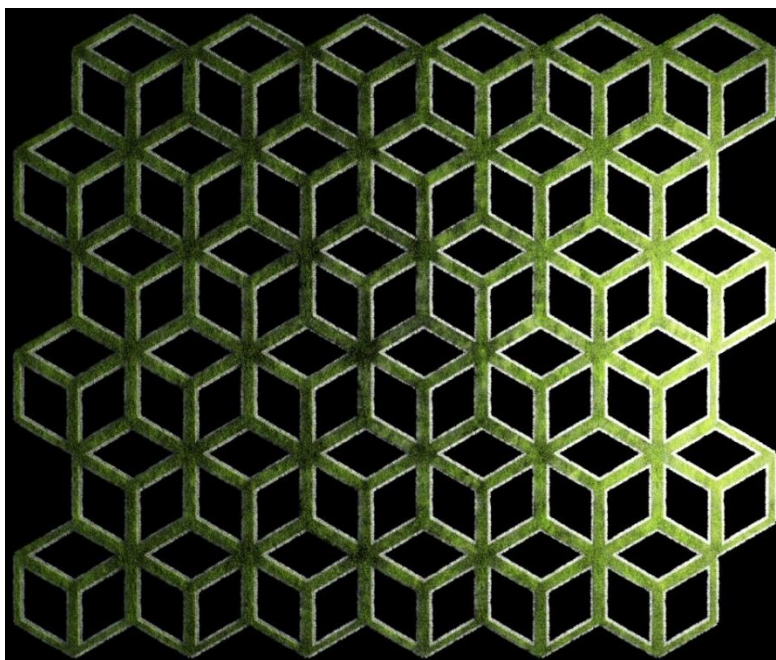
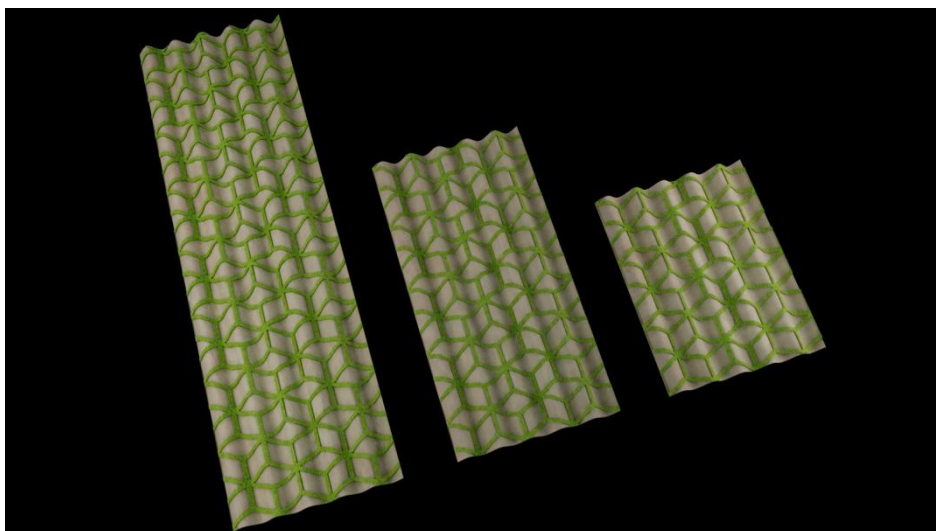


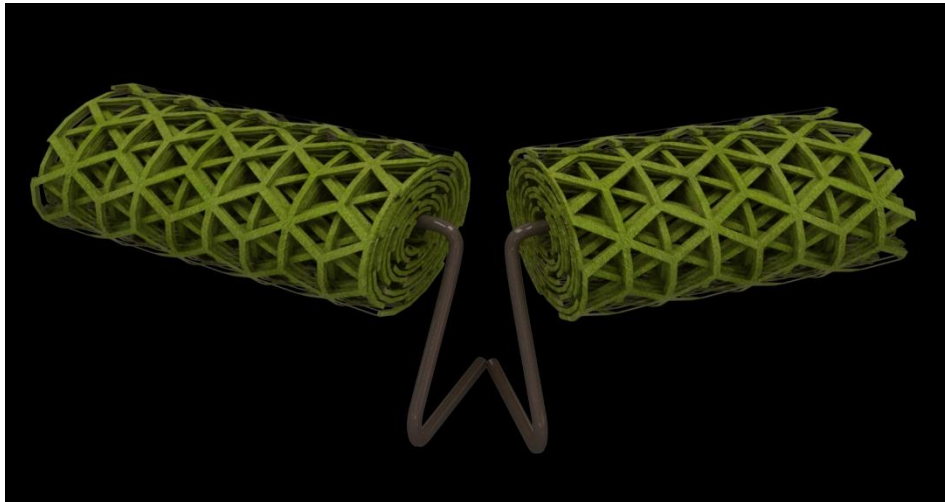
Ilustración 12. Posible apariencia que se generaría sobre la cubierta empleando el sistema Prohabitat en la teja de Eternit perfil 7, de izquierda a derecha, números 10, 6 y 4 respectivamente.



7.6.4 Componentes del sistema.

Actualmente en el desarrollo de los proyectos de vivienda de interés social, y como se había mencionado anteriormente, se emplea tejas de Eternit de perfiles 7 y 1000; cuya principal diferencia se encuentra en la longitud del ancho de la teja. Suministrada esta característica Prohábitat se comercializa como tira o bobina de dos dimensiones, 1,22m para perfil 7 y 1,05m para perfil 1000, ilustración 13.

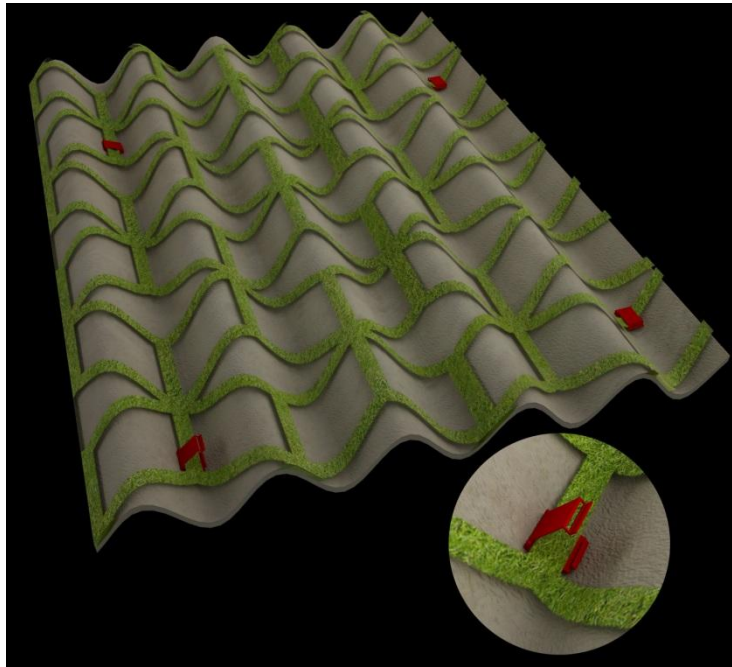
Ilustración 13. Bobina troquelada fabricada en bucles de vinilo con trama abierta.



Nota. La bobina de la izquierda corresponde al perfil 7 y la derecha al perfil 1000; la cual es 17cm más pequeña.

Por cada metro lineal adquirido para ubicar sobre la cubierta le corresponden 4 agarres de fijación al techo, ilustración 13. Estos serán ubicados en los valles de cubierta proporcionando firmeza y evitando el deslizamiento de la misma por acción del agua y el viento. Es de aclarar que no se ve la necesidad de colocar más agarres puesto que el material tiene propiedades antideslizantes.

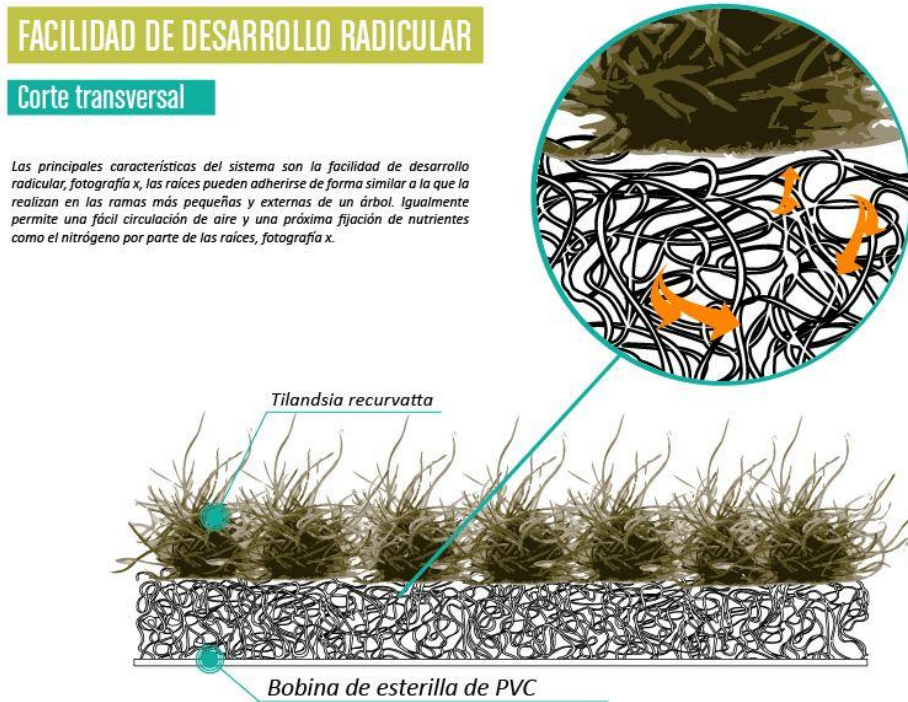
Ilustración 14. Agarres de presión que ayudan a mantener a Prohabitat en su lugar.



7.6.5 Características.

Las principales características del sistema son la facilidad de desarrollo radicular, ilustración 15, las raíces pueden adherirse de forma similar a la que la realizan en las ramas más pequeñas y externas de un árbol. Igualmente permite una fácil circulación de aire y una próxima fijación de nutrientes como el nitrógeno por parte de las mismas.

Ilustración 15. Desarrollo radicular en la bobina de esterilla de PVC.



7.6.6 Materiales.

En la mayor parte del desarrollo del sistema se utilizó un material procesado llamado alfombrilla sin soporte fabricada en bucles de vinilo con trama abierta. Este resulta de un proceso de extrusión del PVC, un plástico termoplástico químicamente inerte e inocuo lo que le da resistencia ante las condiciones ambientales, anexo 6. Además de ello la alfombrilla presenta características adecuadas para el desarrollo de la planta; en primera instancia se consideró un material que a su vez sirviera de sustrato a la planta y le permitiera obtener del aire sus nutrientes.

Las formaciones que generan los filamentos del material son adecuadas para que la planta tenga un buen agarre, además de generar cámaras de aire entre los filamentos, lo que permite la circulación de nitrógeno presente en el aire y luego la fijación de este por parte de la planta, también puede desarrollarse formaciones de humus el cual es el sustrato del que depende normalmente (Eusse González, 2003).

Además de esto, al ser un sistema diseñado para exteriores; se debe tener en cuenta que esto lo expone a gran variedad de condiciones ambientales que

pueden deteriorar el producto de manera más rápida. El PVC es resistente a la intemperie (sol, lluvia, viento y aire marino) lo que asegura una larga duración del sistema evitando recambios y mantenimiento. Este material es además flexible lo que para el diseño es vital, ya que brinda la posibilidad de adaptarse a cualquier teja de Eternit independientemente de su perfil o curvatura.

Por último y no menos importante al ser un material que estará expuesto al sol debe prevenir incendios que puedan afectar el bienestar de las personas que habitan la vivienda. “El PVC tiene la propiedad de autoextinguir las llamas formadas durante un proceso de combustión, convirtiéndose así en un material de gran utilidad para aplicaciones que exigen alta resistencia al fuego” (Asociación Argentina del PVC, 2005).

7.6.7 Desarrollo industrial.

La malla para cultivo de tillandsia es fabricada en bucles de vinilo con trama abierta, por la empresa 3M, esta debe de ser cortada para generar dos anchos estándar de 1,22m y 1,05m, y luego es troquelada con la forma de la propuesta; generando un entramado hexagonal, anexo 7.

El mecanismo de fijación de la malla es desarrollado mediante un proceso de inyección, planos anexo 8, el cual luego este es adherido a la cubierta mediante MaxTack, producto desarrollado por la empresa Sika, puesto que es un potente adhesivo ya que entre sus principales ventajas se destacan la aplicación sobre mortero, concreto, fibrocemento, ladrillo, yeso y aluminio anodizado entre otros (MaxTack®, 2012).

7.6.7.1 Ensamblaje y configuración.

Para el correcto ensamblaje de prohabitat se desarrolló un manual de uso (anexo 9), explicando desde los tamaños necesarios a conseguir

7.2.7.2 Siembra.

La siembra en el sistema se hace colocando las semillas en los nodos de la malla como lo muestra el anexo 10.

7.2.7.3 Logo.



CAPÍTULO 8: CUALIDADES DE LA TILLANDSIA RECURVATA.

8.1 Modelo experimental.

Se pretende determinar cuanta temperatura se logra reducir en la vivienda por medio de la propuesta de diseño y se cuenta con la ayuda de Ingenieros como Julian Calvache, y los profesores de la Universidad del Valle Gerardo Cabrera y Efraín de Risco puesto que su dominio en el tema permite desarrollar experimentos de comprobación muy acertados.

En primer lugar se debe determinar la radiación que incide, absorbe y refleja la planta, y las temperaturas de las superficies donde se va a ubicar con el fin de saber cuál es la función de la propuesta frente a la radiación solar y la mejora generada con relación a la temperatura.

Para ello se necesita de dos radiómetros con el fin de averiguar la radiación que produce el sol y la radiación transmitida por la planta, estos radiómetros se desarrollaron en el anexo 11.

Una vez construido el radiómetro, con ayuda de una cámara térmica y un anemómetro digital, fotografía 22. Para realizar este ensayo se construyó un módulo de 60cm de ancho por 58 cm de alto, con tubos de PVC como marco, de diámetro de 2", forrado en su parte inferior con una maya plástica para evitar que la radiación sufriera modificación y a su vez sirviera de soporte a la planta en este caso *tillandsia recurvata*, fotografía 23.

Fotografía 22. Instrumentos de medición para el experimento Fotografía tomada el 29 de noviembre de 2012 en la el laboratorio de fluidos e hidráulica de la Universidad del Valle.



Fotografía 23. Módulo experimental. Fotografía tomada el 14 de noviembre de 2012 en el laboratorio de fluidos e hidráulica de la Universidad del Valle.



Las plantas fueron ubicadas con un espaciamiento entre ellas de 5cm, obteniendo un diámetro de crecimiento de cada planta por 10cm. Esto se debe a que en promedio las plantas alcanzan un largo de 15cm aproximadamente permitiendo una superposición de plantas sin generar problemas o conflictos por obtención de nutrientes en las raíces o que las plantas se cubran entre ellas impidiendo la realización de la fotosíntesis. Esto también permite que la cantidad de radiación solar que dejan pasar las plantas sea mínima hacia la teja de Eternit.

8.2 Datos obtenidos.

El modulo experimental fue ubicado el día 29 de noviembre de 2012 a las 11:10am sobre el techo de Eternit de la granja experimental, al lado del laboratorio de fluidos e hidráulica de la Universidad del Valle, continuo a Ingeominas, instituto Colombiano de geología y minería, fotografía 24.

Fotografía 24. Módulo instalado para realizar las mediciones experimentales. Fotografía tomada el 29 de noviembre de 2012 en la el laboratorio de fluidos e hidráulica de la Universidad del Valle.



Fotografía 25. Modulo para realizar las mediciones experimentales con plantas de los alrededores y con los radiómetros registrando valores de radiación solar simultáneamente. Fotografía tomada el 29 de noviembre de 2012 en la granja experimental de la Universidad del Valle.



Y los resultados obtenidos cada cinco minutos durante veinte minutos de radiación solar y temperatura fueron los siguientes.

Tabla 9. Registro de los valores registrados en los dos voltímetros.

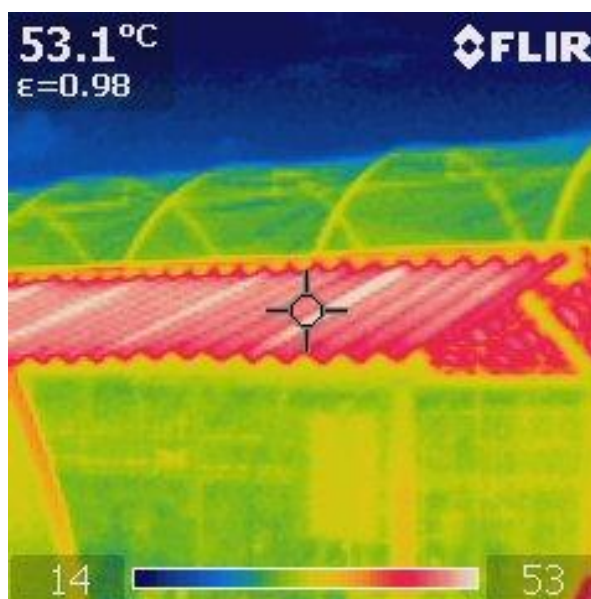
Hora	Voltimetro1* [w/m ²]	Voltimetro2* [w/m ²]	Temperatura [°C]
11:00	737,94	140,48	46,1
11:05	814,54	109,84	43
11:10	768,58	125,16	42,6
11:15	753,26	79,20	43
11:20	707,3	94,52	46

Nota. *Los valores tanto del voltimetro 1 corresponde a la radiacion incidente los cuales fueron convertidos de Voltios a w/m² (Ver anexo 11 guía de experimento)

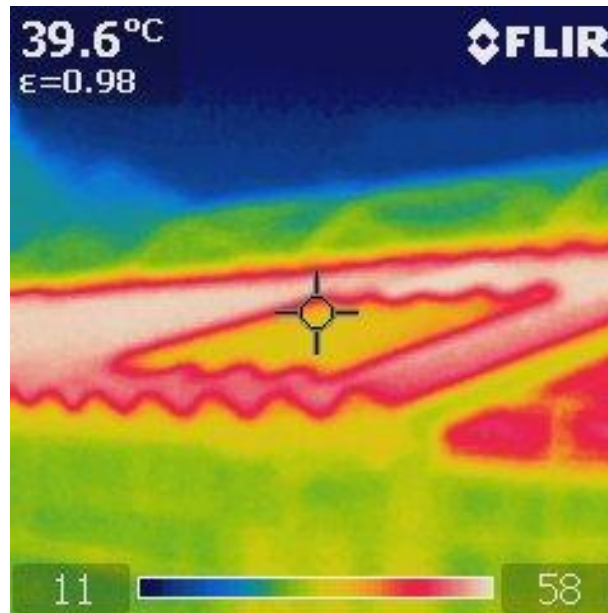
**Los valores del voltimetro 2 corresponden a la radiacion de trasmitancia producida por la planta.

Con relación a la temperatura se puede observar el cambio logrado por la planta, dado que en un principio se tiene el techo de Eternit desprotegido, fotografía 26, y el mismo techo una vez retirado el módulo con aproximadamente 45 minutos de haber sido cubierto por el modulo experimental, fotografía 27.

Fotografía 26. Termografía del techo sin protección del módulo, encontrando temperaturas de hasta de 53°C. Fotografía tomada el 29 de noviembre de 2012 en la granja experimental de la Universidad del Valle.



Fotografía 27. Termografía del techo una vez retirada la protección del módulo, encontrando una reducción de temperatura aproximada de 19,4°C. Fotografía tomada el 29 de noviembre de 2012 en la granja experimental de la Universidad del Valle.



Los datos obtenidos del viento y según su orientación fueron los siguientes:

Tabla 10. Datos obtenidos de velocidad del viento según orientación tomados con el anemómetro digital.

Dirección	Oriente-Occidente [m/s]	Sur-Norte [m/s]	Occidente-Oriente [m/s]	Norte-Sur [m/s]
Velocidad promedio	0,03	0,59	0,63	0,4
Velocidad mínima	0	0,02	0,35	0,1
Velocidad máxima	0,18	1,08*	0,84	0,54

8.3 Cálculos y resultados.

Con el fin de obtener el valor de radiación que en este caso la *tillandsia recurvata* puede arrojar parte de una igualdad, Ecuación 1. En donde la radiación incidente, producida por el sol, debe de ser igual a la radiación absorbida por la planta más la radiación reflejada por ella y por ultimo más la radiación de trasmitancia que

recordando es la radiación que la planta deja pasar por entre sus hojas, ramas o tallo.

Ecuación 1. Sumatoria de radiaciones.

$$\dot{e}_i(\lambda) = \dot{e}_R(\lambda) + \dot{e}_A(\lambda) + \dot{e}_T(\lambda)$$

Dónde:

$\dot{e}_i$: Es la radiación incidente que llega del sol a la tierra en un determinado momento.

$\dot{e}_R$: Es el flujo radiación reflectada por la planta.

$\dot{e}_A$: Es el flujo de radiación absorbida por la planta por unidad de área.

$\dot{e}_T$: Es la el flujo de radiación de transmitida por la planta por unidad de área.

Con el fin de reducir un poco la ecuación se dividirá cada variable entre la radiación incidente, obteniendo la ecuación 2.

Ecuación 2. División de la sumatoria de radiaciones entre la radiación incidente.

$$1 = \rho(\lambda) + \alpha(\lambda) + \tau(\lambda)$$

La radiación que absorbe la planta supuestamente se emplearía para tareas de fotosíntesis pero su cálculo es muy complejo y se recurre entonces a la ley de Kirchoff.

Según dicha ley, establece que la emisividad de un objeto es igual a la absorción espectral $\varepsilon(\lambda) = \alpha(\lambda)$, ello implica que buenos materiales absorbedores son iguales que buenos emisores Obteniendo la ecuación 3.

Ecuación 3. Sumatoria de radiaciones sustituyendo la radiación absorbida por la radiación emitida mediante la ley de Kirchoff.

$$1 = \rho(\lambda) + \varepsilon(\lambda) + \tau(\lambda)$$

Dónde:

ρ : Es el porcentaje de radiación reflectada por la planta o también llamada reflectancia.

ε : Es la emitancia de la planta, la cual es equivalente a la absorbida mediante la ley de Kirchoff.

τ : Es la transmitancia de la planta.

La energía emitida de la planta o de un material se calcula mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 4. Ecuación de la radiación emitida por la planta.

$$\dot{e}_e = \varepsilon \times \sigma \times T_s^4$$

Dónde:

$\dot{e}_e \left[\frac{w}{m^2} \right]$: Flujo de energía emitida por unidad de área.

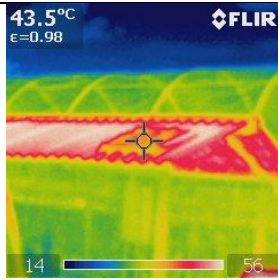
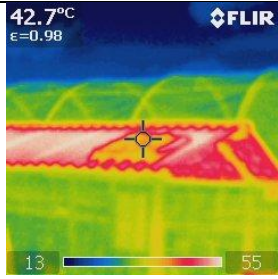
ε : Es la envidad del material; En el caso experimental de las termografías se empleó una emisividad del 98%.

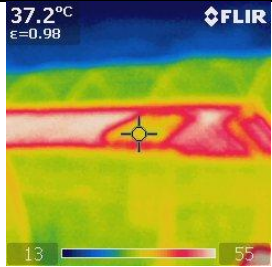
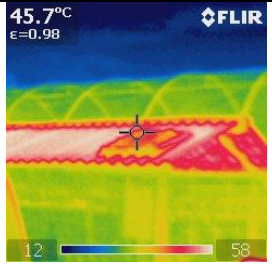
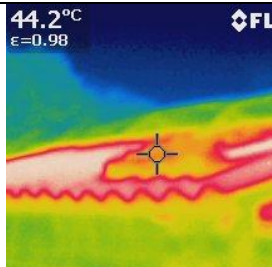
$\sigma = (5,67 \times 10^{-8}) \left[\frac{w}{m^2 \cdot K} \right]$ Es conocida como la constante de Stefan Boltzmann.

T_s : Es la temperatura superficial [$^{\circ}K$].

Esta es la última variable que hace falta calcular con el fin de obtener el valor de la radiación reflejada por la planta. Para ello debemos de emplear los valores obtenidos en las termografías de las temperaturas superficiales.

Tabla 11. Energía emitida.

Hora (a.m.)	Termografía	Energía emitida
11:00		558,6730747
11:05		553,048599

11:10		515,5214858
11:15		574,3616796
11:20		563,6295862

Empleando la ecuación 3, despejando el valor de la radiación reflejada, y reemplazando los valores obtenidos en las tablas 9 y 11, se encuentra la radiación faltante.

Ecuación 5. Despeje de la radiación reflejada en la ecuación 3.

$$\rho(\lambda) = 1 - \epsilon(\lambda) + \tau(\lambda)$$

Tabla 12. Valores de radiación reflejada.

Hora	Radiación reflejada
11:00	19,0368
11:05	13,4849
11:10	16,2846
11:15	16,6158
11:20	13,3635

En promedio la planta refleja un 15,75% de la radiación solar.

Si se compara esto con los valores obtenidos en la tesis doctoral de José Manuel Ochoa titulada *La vegetación como instrumento para el control microclimático* (1999), tabla 13, la *tillandsia recurvata* se encuentra dentro del rango, de albedo o porcentaje de radiación emitida, correspondiente al de un campo de trigo el cual presenta condiciones similares con relación a la coloración entre las espigas y el tallo.

Tabla 13. Porcentajes de radiación reflejada y emitida, La vegetación como instrumento para el control microclimático (1999)

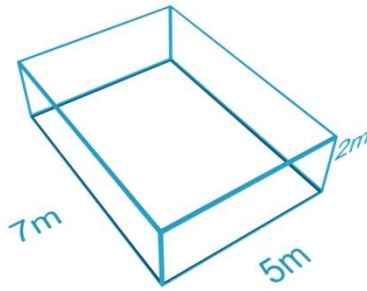
Tipo de superficie de vegetación.	Albedo % 5-30	Emisividad % 90-99
Césped	20-30	90-95
Campos Verdes	3-15	
Campos de trigo	15-25	
Pradera	10-30	
Chaparral	15-20	
Pastizal	25-30	
Bosque Mixto	5-20	
Caducifolias sin hojas	15	97
Caducifolias con hojas	20	98
Coníferas	5-16	97-98
Bosque pantanoso	12	97-99

CAPÍTULO 9: COMPROBACIÓN.

9.1 Modelo de confort térmico comparativo.

Según los resultados obtenidos del capítulo anterior se desarrolla un modelo comparativo entre dos situaciones teóricas, la principal variación reside en la temperatura media radiante (TMR) dado el cambio de temperatura registrado en la cubierta. Tomando los datos iniciales, que se encuentran en la tabla 1 del primer capítulo, y por medio de un modelo ideal, ilustración 16, se obtendrán dos índices de sobrecarga calórica (ISC).

Ilustración 16. Modelo de vivienda ideal para facilitar los cálculos de comprobación.



9.2 Temperatura Media Radiante (TMR).

Para calcular la temperatura media radiante del se emplea la siguiente fórmula:

$$\sum_1^n TMR = \sqrt[4]{(F_1 * \varepsilon_1 * T^4_1) + \dots + (F_n * \varepsilon_n * T^4_n)}$$

Dónde:

ε : Es la emisividad del material, el cual por lo general es de 0.98.

F: Es el factor de forma.

T: Es la temperatura que se registró en la superficie[°K].

9.2.1 Factor de Forma.

El factor de forma corresponde a la división de un área específica entre el total de las áreas envolventes, por ejemplo el área de una pared dividida la suma de todas las áreas (paredes, piso y cubierta). De la imagen 3 se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 14. Descripción y sumatoria de las áreas que conforman la vivienda.

Cantidad	Descripción	Área. (m ²)	Factor de forma
2	Pared larga	14	0.11
2	Pared corta	10	0.08
1	Cubierta	35*	0.93
1	Piso	35	0.93
Área total		118	

Nota. *En el capítulo correspondiente a la vivienda de interés social

9.2.2 Temperaturas.

Las temperaturas se obtuvieron con ayuda de las termografías presentadas anteriormente (Tabla 14).

Tabla 15. Temperaturas superficiales en la vivienda.

Descripción	Temperatura [°C]	Temperatura [°K]
Pared Larga	38.5*	311.5
Pared Corta	38.5	311.5
Cubierta	(53.1**-39.6***)	(326.1-312.6)
Piso	20	293

Nota.*El valor 35 °C se extrae de la figura 4, termografía de una de las viviendas de interés social de Valle Grande.

**La temperatura 53.1 °C corresponde a la fotografía 26, caso en el que la cubierta estaba expuesta directamente a la radiación solar.

***La temperatura 39.6 se obtiene con la fotografía 27, corresponde al valor encontrado al retirar el sistema de la cubierta.

9.3 Resultados (TMR).

El primer caso presentado corresponde al de la cubierta sin protección y el segundo caso pertenece al resultado obtenido con Prohabitat.

Tabla 16. Calculo de la temperatura media radiante (TMR) para la cubierta sin protección.

Factor de forma	T^4	ϵ	TMR^4	TMR [°K] [°C]
0,118644068	9415257540	0,98	1094723165	
0,118644068	9415257540	0,98	1094723165	
0,084745763	9415257540	0,98	781945118	
0,084745763	9415257540	0,98	781945118	
0,296610169	11308452944	0,98	3287118102	
0,296610169	7370050801	0,98	2142311377	
Sumatoria de TMR^4			9182766044	309,6 36,6

Tabla 17. Calculo de la temperatura media radiante (TMR) para la cubierta con el sistema Prohabitat.

Factor de forma	T^4	ε	TMR^4	TMR [°K] [°C]
0,118644068	9415257540	0,98	1094723165	
0,118644068	9415257540	0,98	1094723165	
0,084745763	9415257540	0,98	781945118	
0,084745763	9415257540	0,98	781945118	
0,296610169	9548956056	0,98	2775671125	
0,296610169	7370050801	0,98	2142311377	
Sumatoria de TMR^4			9182766044	305,2 32,2

9.4 Índice de sobrecarga calórica.

Este método como se había mencionado con anterioridad requiere de 6 variables: metabolismo [w/m^2], temperatura del aire [°C], radiación o temperatura radiante media (TMR) [°C], aislamiento por ropa [clo], velocidad del aire [m/s] y humedad relativa. Esas variables según la tabla 1 tienen los siguientes valores.

Tabla 18. Variables empleadas para obtener el índice de sobrecarga calórica.

Parámetro	Valor
Vestimenta [clo]	0,5
Temperatura del aire [°C]	32
Temperatura radiante media [°C]	36,6* 32,2**
Metabolismo [w/m^2]	100
Velocidad del aire [m/s]	0,15
Humedad relativa	35***

Nota.

*Es la temperatura calculada para la cubierta sin protección.

**Corresponde a la temperatura de la cubierta al momento de quitar la protección de la tilandsia.

***Humedad correspondiente a la registrada por la estación Meléndez sección del documento 3.1.2.1.

Los resultados obtenidos en condiciones extremas arrojaron un ISC de 162,28% y un tiempo máximo permisible en su interior de **63.59 minutos**, figura 22, mientras que con la propuesta de *tillandsia recurvata* se logra **117.48 minutos** y un ISC de 133,71%, figura 23.

Figura 20. Índice de sobrecarga calórica para la superficie sin protección.

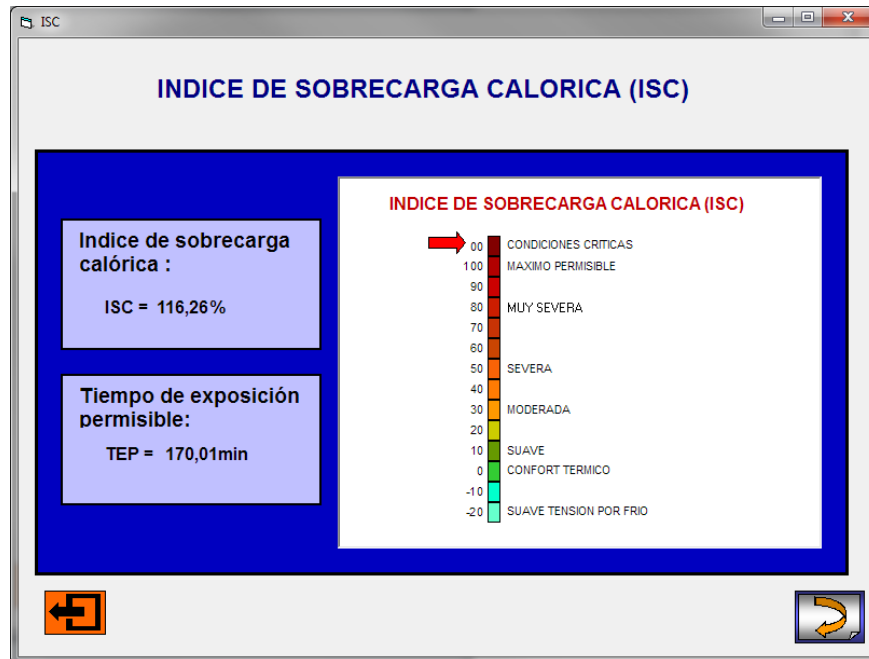
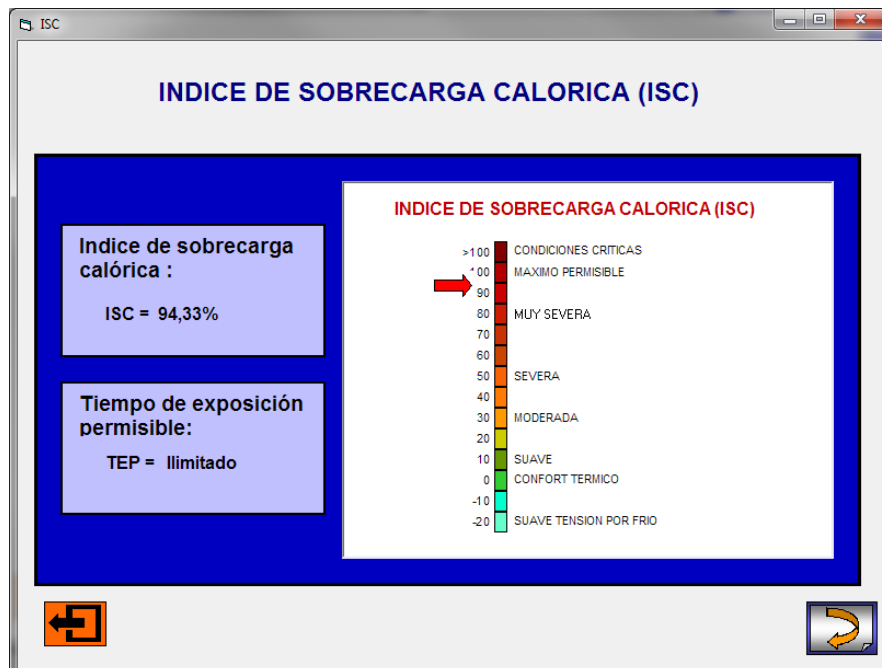


Figura 21. Índice de sobrecarga calórica para la superficie con Prohabitat.



CONCLUSIONES.

La problemática del exceso de temperatura dentro de la vivienda de interés social es una constante dentro de las ciudades ubicadas en regiones tropicales, como lo fue el presente caso desarrollado en Santiago de Cali.

El desarrollo de propuestas de vivienda debería contemplar las condiciones climáticas de cada región y no implementar modelos idénticos para todas las partes del país, se debe de determinar desde los materiales que se van a emplear hasta el diseño mismo del inmueble con el fin de promover una vivienda digna y una buena calidad de vida a las personas a quienes va dirigida.

El empleo de plantas como parte de la solución ayuda no solo al reflejo de la radiación solar sino, a reducir aquellos efectos generados por el fenómeno de la isla de calor, fenómeno producto del desplazamiento de territorios con vegetación para permitir la construcción de viviendas, calles y carreteras.

La selección de plantas epifitas y endémicas para el empleo dentro de la propuesta resultó ser muy adecuada debido a los procesos evolutivos que han llevado estas especies para adecuarse a las condiciones climáticas del lugar y resistir las fuertes condiciones de estrés a las que son sometidas

En el caso del estudio de la cantidad de radiación reflejada por parte de la especie *tillandsia recurvata* es el primero que se realiza y los hallazgos obtenidos son muy similares a los resultados de plantas como el trigo. Se espera realizar publicaciones en revistas indexadas de dichos hallazgos.

Existe una gran gratitud hacia el profesor Gerardo Cabrera y gracias a él se pudo lograr un desarrollo experimental adecuado, proporcionando los laboratorios para el desarrollo de radiómetros y su conocimiento para explicar de forma clara temas de transferencia de calor sin hacer evidente los enfoques académicos y formativos de las dos disciplinas, ingeniería mecánica y diseño industrial. Ojala perduraran más los profesores apasionados por enseñar, investigar y transmitir sus conocimientos QEPD.



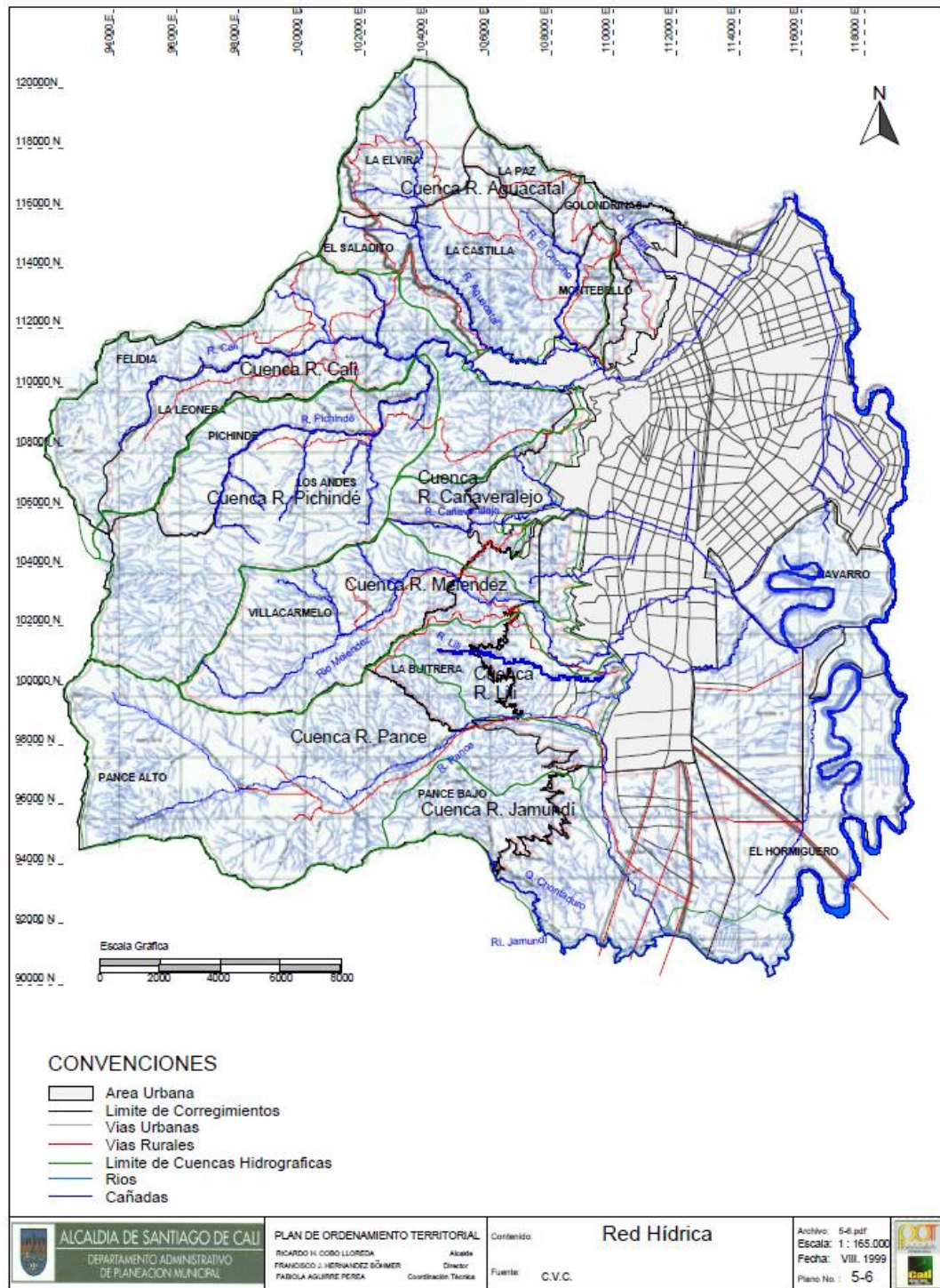
Anexo 1.

Caracterización de valores críticos de los diferentes lugares para vivienda de interés social.

Lugar	T_{rad} superficial (°C)	Velocidad del aire (m/s)	Temperatura de bulbo seco (°C)	Humedad relativa (%)
Calicanto 1	28	0,2-1,5	28-23	62-85
Calicanto 2	29	0,2-1,5	25-31	58-83
Calicanto 3	30	N.A.	27-29	50-80
Terranova 1	31	0,0-1	30-33	48-80
Terranova 2	35	0,2-1,1	28-31	50-70
Terranova 3	N.A.	N.A.	30-32	45-76
Terranova 4	35	N.A.	30-34	47-78
Vallegrande 1	33	0,15	32	60-80
Vallegrande 2	32	0,1-0,5	31	47-70

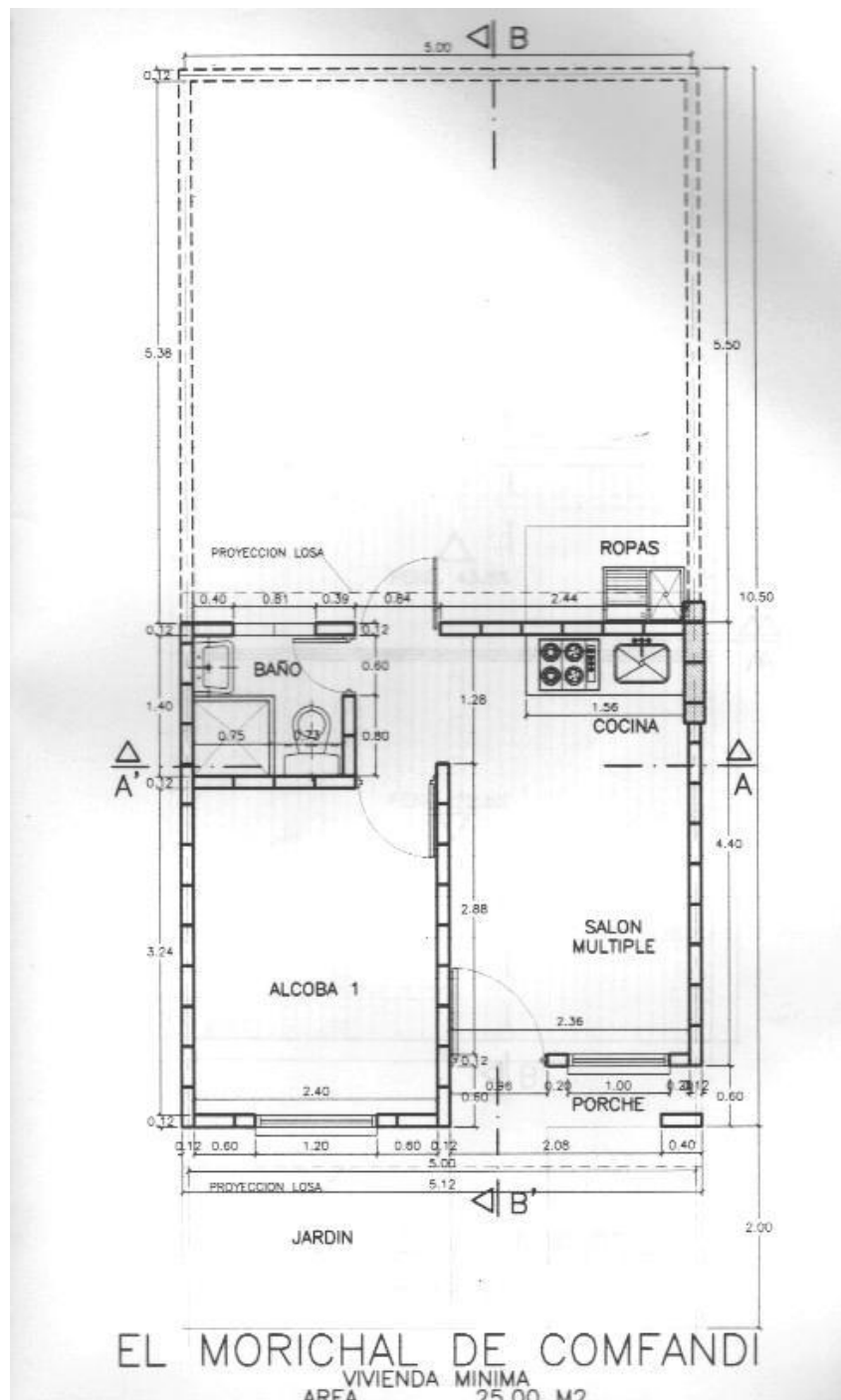
Tabla de resultados de las mediciones de campo, valores promediados (Fuente: Confort ambiental en vivienda de interés social en Cali)

Anexo 2. RED HÍDRICA DE SANTIAGO DE CALI

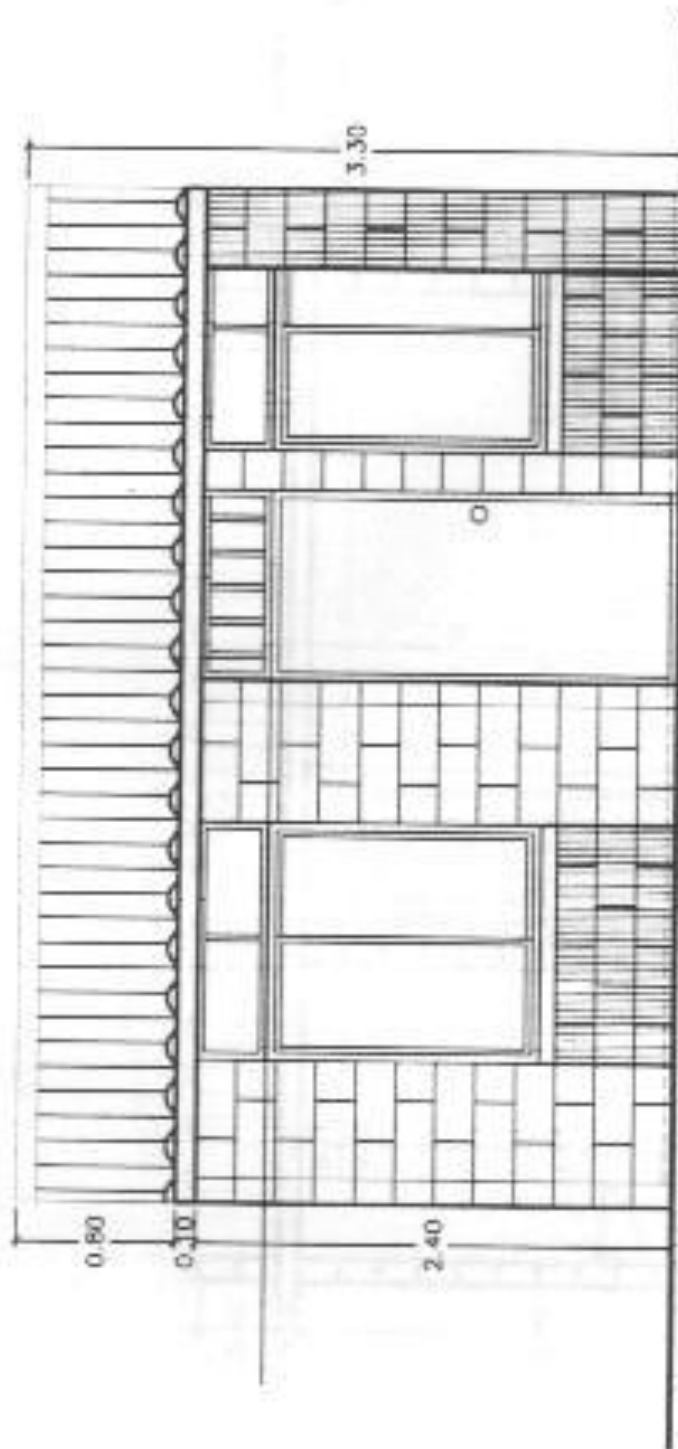


Fuente: Corporación del Valle del Cauca, (2002)

Anexo 3.
PLANOS DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL UBICADA EN EL BARRIO EL MORICAL DE COMFANDI.

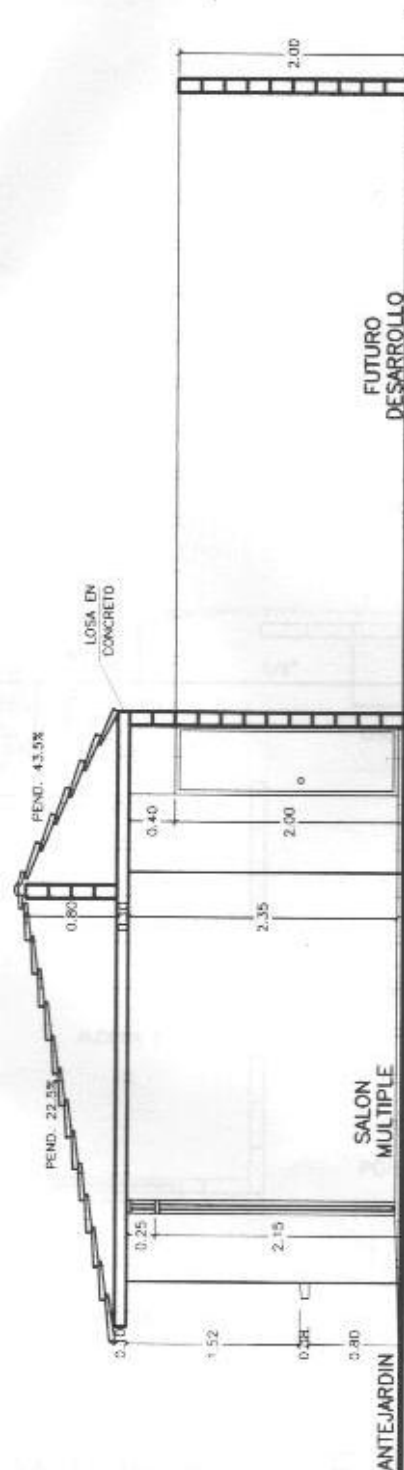


Fuente: Planos Donados por la Familia Bernal, Habitantes de una de las viviendas de interés social del barrio El Morichal de Comfandi (2012)



FACHADA PRINCIPAL VIVIENDA MINIMA

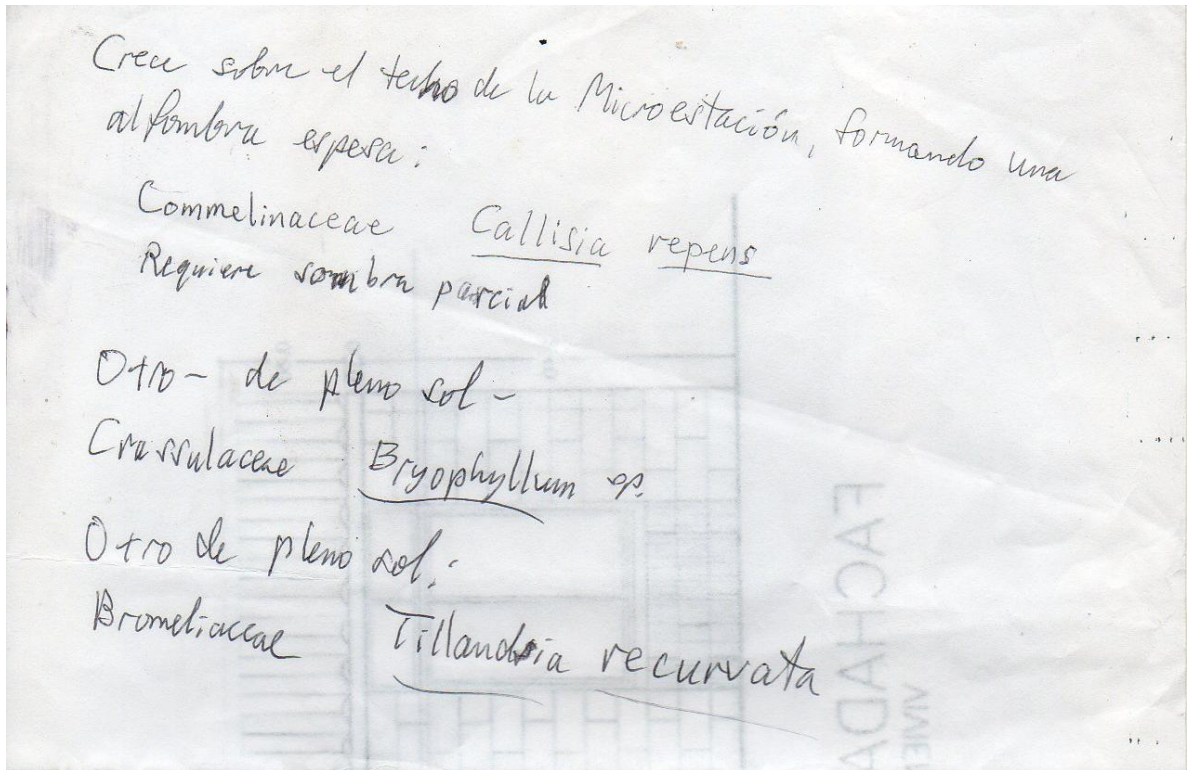
Fuente: Planos Donados por la Familia Bernal, Habitantes de una de las viviendas de interés social del barrio El Morichal de Comfandi (2012)



NOTA:
TODAS LAS MEDIDAS DE ALTURAS
SON DE PISO TERMINADO.

Fuente: Planos Donados por la Familia Bernal, Habitantes de una de las viviendas de interés social del barrio El Morichal de Comfandi (2012)

Anexo 4.
Plantas sugeridas a emplear.



Recomendaciones del profesor Phillip Silverstone sobre las especies que mejor se pueden adaptar a condiciones extremas, de temperatura y falta de agua en Cali, el 8 de octubre de 2012.

Anexo 5. Listado de requerimientos y determinantes.

		PLANTAS	VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL	HABITANTES DE LA VIVIENDA
REQUERIMIENTOS DE USO	Funcionamiento	Debe contar con ventilación para tener contacto con las partículas del aire necesarias para su crecimiento.	Debe de cubrirse por una lamina de un ancho estandar de 1,053m y ocupa un largo total de 42m2 para una vivienda de interes social con area de 35m2	No debe alterar la comodidad de los habitantes interfiriendo formal o funcionalmente en su cotidianidad
		Debe estar ubicado en lugares de mas de 32° C de temperatura	No debe utilizar métodos de agarre que impliquen ruptura de la teja	
		Debe contener soluciones químicas permitan el buen agarre de la planta al sistema una vez con instaladas	debe de ser adaptable a la teja de de eternit utilizada actualmente perfiles 7 y 1000.	
		Debe de permitir la exposicion a la luz solar directa durante mas de 4 horas diarias	Debe cubrir por completo la totalidad de la cubierta para garantizar la reducción de temperatura	
		Debe estar expuesto a la ventilacion para que la planta filtre partículas del aire		
		Debe permitir una facil propagación (establecer agarre en 1 dia)		
	Seguridad	Debe evitar la propagación de especies de plantas con tallo leñoso.	Debe de desarrollarse en un material que no sea inflamable	Debe de estar fabricado en materiales plásticos que no afecten la seguridad del usuario al calentarse con la luz solar.
		Debe tener superficies amigables con la planta de tal manera que no la lesionen	No debe generar deterioro por humedad en techos o paredes de la vivienda	Debe ser seguro en cuanto a temperaturas y superficies peligrosas al contacto
			No debe de alterar el correcto funcionamiento de redes de acueducto, alcantarillado y energía.	No debe utilizar quimicos nocivos para la salud.
				Debe estar fijado a los techos y paredes para evitar lesiones.
				No debe de tener superficies o puntas laserantes para evitar lesiones.
	Mantenimiento y reparación	El sistema no debe contar con plantas de hoja cadusifolea para minimizar el tiempo de mantenimiento.	Debe de ser desmontable en menos de 8 horas sin producir daños al material.	La limpieza debe realizarse por él o los habitantes, sin la necesidad de requerir una persona o dirigirse a un lugar especilizado
		La planata debe estar expuesta al medio ambiente para obtener agua de la humedad del aire y de las precipitaciones.	Debe ser desmontable de forma que evite que las personas se paren sobre el techo	El sistema no debe necesitar de riego por parte del habitante.
		El sistema no debe requerir fertilizantes para evitar costos de mantenimiento.	El sistema debe de ser desmontable de forma que al exigir un cambio o reparación no se dañe la teja	
REQUERIMIENTOS DE FUNCIÓN	Mecanismos	El sistema debe tener diametros menores de 1 cm para el agarre adecuado de la raíz.	Los mecanismos de agarre a la teja deben permitir el desmontaje sin dañar el sistema	Los mecanismos de agarre deben ser de fácil entendimiento para los usuarios
		Debe permitir la propagación uniforme de la planta cubriendo por completo la cubierta	El sistema debe reducir la temperatura de la vivienda en más de 2 °C	
	Versatilidad		Debe adaptarse a las tejas: que son las mayormente utilizadas actualmente	El sistema debe ser intuitivo, que pueda ser usado por diferentes usuarios
	Resistencia	Debe permitir la exposición de la luz solar constante durante un periodo aproximado de 10 horas.		
		Debe ser resistente ante cambios climaticos		
		Debe ser resistente a altas temperaturas		
REQUERIMIENTOS DE PRODUCCIÓN	Modo de producción	Debe poder fabricarse por medio de procesos de producción industriales no artesanales		
		Su producción debe poderse llevar a cabo en Colombia y no necesitar de procesos de producción de otros países		
	Materias primas	Deben ser materiales amigables con el medio ambiente, preferiblemente reciclables.		

Anexo 6. BOLETÍN TÉCNICO TD493.

Safety-Walk™ Cushion Matting 5250 y 5250 E

Boletín Técnico TD493

Sept. 2000

Autor: EK Página 1/3

Descripción :

El producto es una alfombra sin soporte, fabricada en bucles de vinilo con trama abierta. La alfombra es resistente a aceites vegetales y apta para tráfico intenso de personas, instalada en zonas con o sin humedad. La alfombra ofrece una superficie confortable tanto de pie como caminando.

Posicionamiento del Producto:

Utilizar como alfombra antifatiga en zonas donde el trabajador permanece de pie o caminando. Utilizar en áreas de ensamble y producción, u otras zonas expuestas a grasas y/o aceites. La alfombra está diseñada para reducir dolores o disconformidades provocados por la fatiga.

Rango de Temperaturas de servicio:
-23°C a +50°C

Características :

- Confortable y antideslizante.
- Resistente a aceites y grasas
- Fácil de limpiar.
- Duradero.
- Disponible con o sin bordes integrados
- Estructura abierta

Color: Negro

Tamaños: 5250 – Sin bordes

5250E- Con bordes integrados
en los 4 lados

5270 – Con soporte

Anchos: 0,9 ó 1,22 m.
Largo: de 0,6m a 9,14 m.

Envasado e Identificación :

- Una alfombra por embalaje.
- Cada embalaje está etiquetado con la marca del producto, tamaño, color y el nombre del fabricante (3M).

Desecho de residuos :

Los trozos de material desechados deben ser depositados en contenedores apropiados o incinerados.

Resistencia a productos químicos:

(Test realizados con inmersión total del producto durante 7 días a 22° C)

Solución	Valor →
Agua:	Excelente
Agua salada al 10% :	Excelente
Agua clorada:	Excelente
Fosfato trisódico:	Excelente
Solución de ácido de Cromo :	Buena
Solución litográfica (3M-K-11) :	Excelente
Solución de detergente al 1% :	Excelente
Glicerina :	Excelente
Acetate de cacahuete :	Excelente
Acido sulfúrico al 24% :	Excelente
Acido clorhídrico al 10% :	Excelente
Alcohol Etilico :	Excelente
Hidróxido Sódico :	Excelente
Persulfato Amónico :	Excelente
Sulfato de Niquel :	Excelente
Cloruro Férrico :	Excelente
Hexano :	Buena
Cloruro de Metileno (Disolvente) :	Pobre
Alcoholes minerales :	Buena
Gasolina :	Buena
Acetate de Motor :	Excelente
Gasoil :	Buena
Líquido de Transmisión :	Excelente
Acido acético al 25% :	Buena

→ Excelente: Efecto leve sobre el producto, inferior a un 1% de pérdida de peso.
Buena: Inferior al 3% de pérdida de peso o decoloración
Pobre: El producto pierde todas sus propiedades de uso.

Propiedades del Producto:

Propiedad /Test	Valor
Espesor ← :	16,0 mm
ASTM D-418-68 :	
Peso ← :	5,0 kg/m²
ASTM D-418-68	
Propiedades Microbiológicas :	Inhibe la proliferación de hongos.
• ASTM G-21-90	
Inflamabilidad:	Pasa.
• DOC-FF-1-70 (USA) :	0,76 watt/cm²
• ASTM E-648 (USA) :	
• ASTM E-662-95	470%

(densidad del humo)	
• DIN 4102-14	B1
(Futura ISO9239-1)	
• Ö Norm 3810 & 3800 (OS) :	B1 Q1
Propiedades eléctricas:	
• Resistencia eléctrica :	8,0-12,0 kV
(ASTM D 149)	
• Resistividad por Volumen (ASTM D 257)	3,2 x 10 ¹⁰ Ohms/cm
Estabilidad dimensional :	Longitud y anchura pueden variar hasta +/- 4 %
• ASTM D 418-68 (sección 8 y 9)	
Coefficiente de fricción :	
• BIA (GE) (ZH 1/571 & DIN 51130)	R11, V10
• MIL D 17951 D (sh)	
-Seco	1,40
-Con aceite	0,28
Coefficiente de reducción de ruido, NFR:	
ASTM D 423-90A	5%

← Valores medios.

↑ Test : 0.70 kg/cm² durante 24 horas.

Origen del producto :

Fabricado en USA en una Planta con la Certificación ISO 9002

Fuente de Suministro :

3M Francia

HCC European Laboratory, 92506 Rueil-Malmaison, France

nomad
matting

3M Innovation



Fuente: HCC Laboratorio europeo, Rueil Mlmaison, Francia.

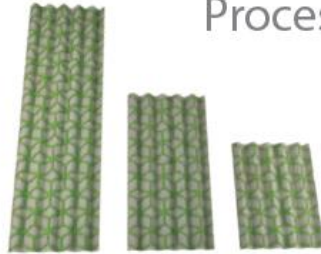
Anexo 7.
PLANOS DE LA MALLA DEL SISTEMA PROHABITAT.

Anexo 8.
PLANOS DEL MECANISMO DE AGARRE DE LA MALLA PROHABITAT CON
LA CUBIERTA DE ETERNIT.

Anexo 9. MANUAL DE INSTALACIÓN.



Proceso de instalación Prohabitat.



En primer lugar se debe de reconocer el tipo de cubierta que se emplea en la vivienda (perfil 7 o perfil 1000 y sus respectivos largos)

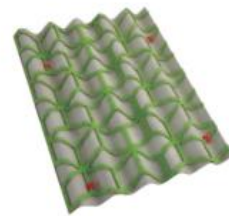
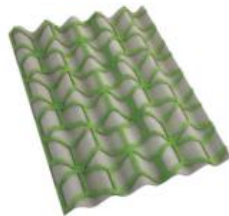
Una vez obtenido el ancho es necesario saber el largo de las cubiertas, con el fin de proporcionar las medidas exactas para adquirir el producto sin generar desperdicios.

Ubique la cubierta sobre un lugar plano y rígido, preferiblemente sobre el suelo.



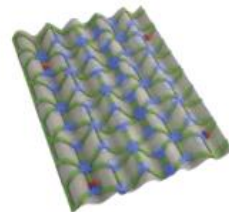
Extienda la malla prohabitat sobre la cubierta de tal forma que cubra la superficie de la teja (valles y picos)

Los sistemas de agarre a modo de zunchos deben ser ubicados en los valles de la cubierta, preferiblemente en los valles mas separados, a su vez se debe evitar sobre los nodos de la malla y se recomienda tener 1 m de separación entre los zunchos.

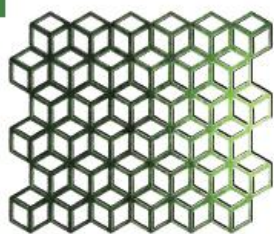


Fije el sistema de agarre mediante la aplicación de 5 puntos en la parte inferior del zuncho del adhesivo Sika MaxTack, luego presione contra la cubierta durante unos pocos segundos y finalmente cierre el zuncho.

Siembre la semilla de tillandsia sobre los nodos del material, ver guía de siembra Prohabitat.

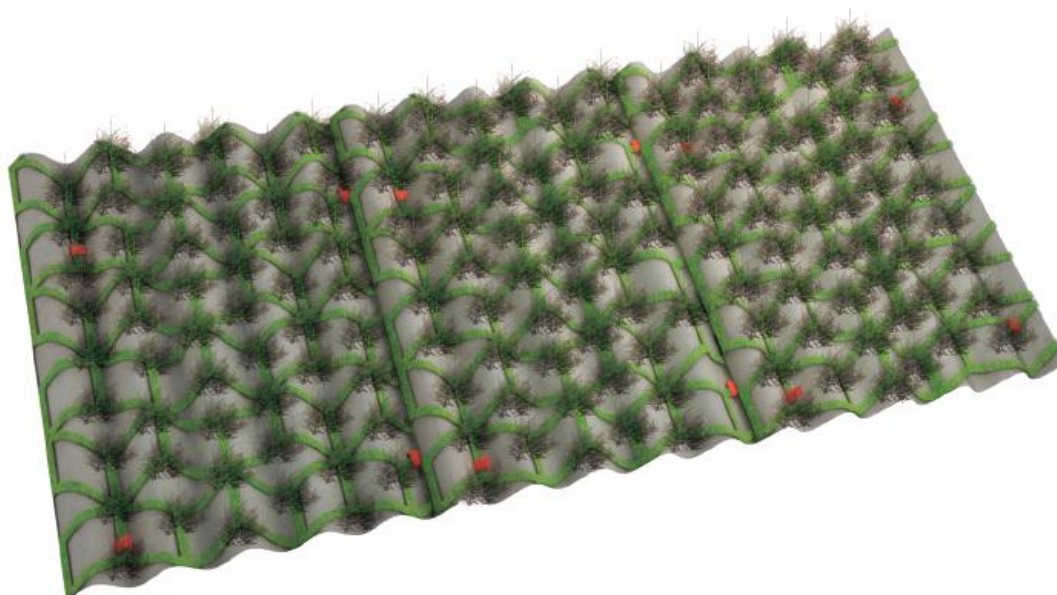


Nota: En este ejemplo se utiliza la teja de Eternit perfil 7 largo No 4.

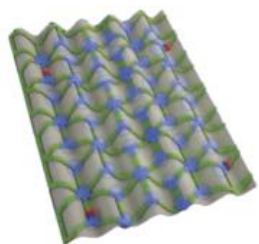


Proceso de instalación Prohabitat.

Finalmente ubique la teja sobre el soporte de la vivienda donde debería ir o estaba antes ubicada y espere de una a tres semanas al próximo crecimiento de plantas sobre la cubierta.



Anexo 10. MÉTODO DE SIEMBRA.



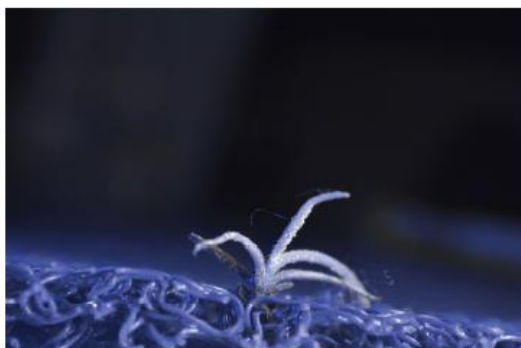
Proceso de siembra Prohabitat.



De dos a tres semillas, de la especie *tillandsia recurvata*, deben de ser ubicadas sobre los **nodos** de la malla de Prohabitat.

Deben de ser ubicadas de tal forma que generen un aparente anclaje, evitando su desprendimiento por acción del viento.

Entre una y tres semanas, según las condiciones climáticas, empezará a crecer una plántula de cada semilla y esta crecerá hasta cubrir el sistema.



En diferentes periodos la planta depositará semillas en el viento, permitiendo que nuevas plantas generen diferentes entremados y traslapes sobre Prohabitat.

Anexo 11.

EXPERIMENTO DE FABRICACIÓN DE RADIÓMETRO.

Objetivo:

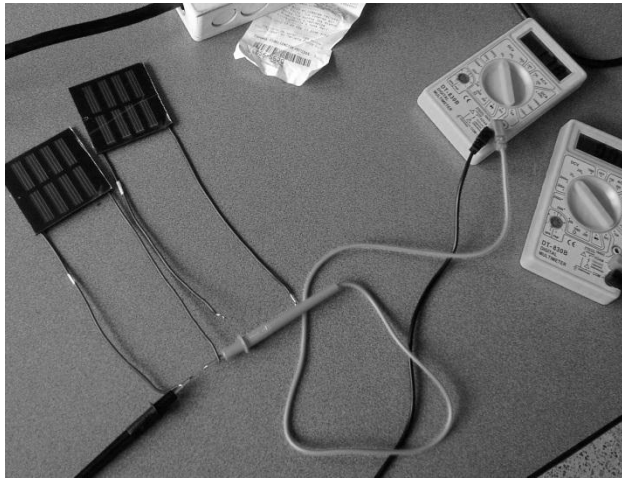
Obtener datos que permitan hacer un balance energético por radiación para la especie *TillandsiaRecurvata* en la Universidad del Valle.

Materiales:

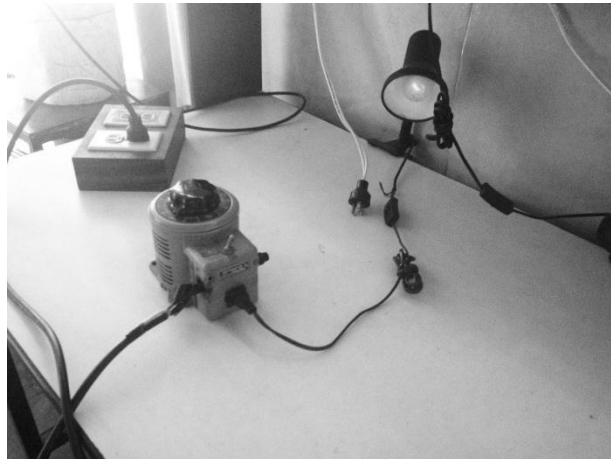
- 1 Radiómetro, fotografía 11.
- 2 celdas fotovoltaicas, fotografía 12.
- 2 Multímetro, fotografía 12.
- 1 Reóstato, fotografía 13.
- 1 Lámpara, fotografía 13.



Radiómetro propiedad del profesor Cabrera (Tomada el lunes 19 de noviembre de laboratorio de ingeniería mecánica)



Dos multímetros y dos celdas fotovoltaicas (Tomada el viernes 16 de noviembre de 2012 la oficina de Stella Herrera)



Reóstato y lámpara para calibración de las celdas (Tomada el lunes 19 de noviembre de 2012 laboratorio de ingeniería mecánica)

Metodología:

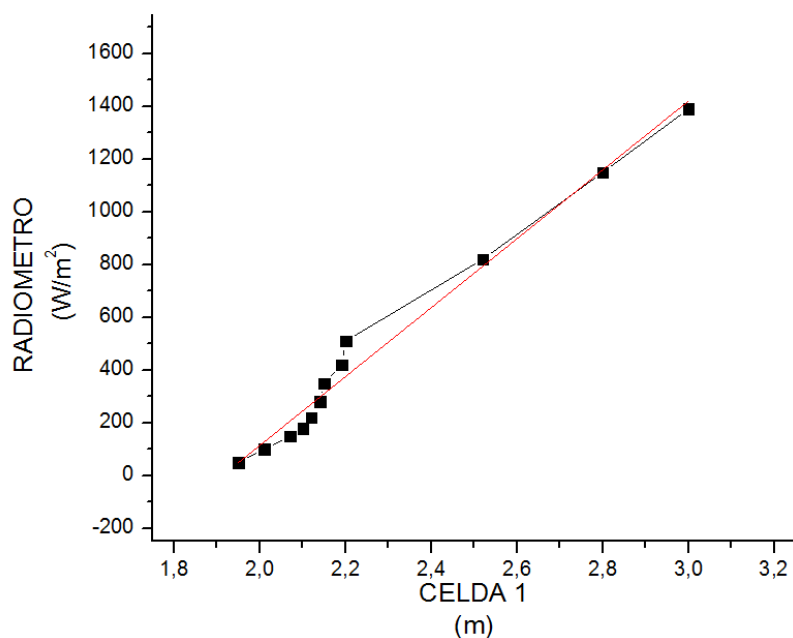
Con un radiómetro se tomarán mediciones a distintas intensidades de radiación producidas por la lámpara a través del reóstato, y a su vez captar por medio de la foto celda en ese mismo instante el voltaje generado a esa intensidad. Con 10 datos se genera la curva de calibración donde un voltaje tomado de la foto celda será homologado a la radiación medida con el radiómetro y con ayuda del programa Origin se linealizaron los valores obtenidos.

Datos, cálculos y resultados.

REOSTATO (K Ω)	RADIOMETRO (W/m ²)	CELDA 1 (V)	CELDA 2 (V)
63	50	1,95	1,94
70	100	2,01	2,00
77	150	2,07	2,05
84	180	2,10	2,08
91	220	2,12	2,09
98	280	2,14	2,11
105	350	2,15	2,11
112	420	2,19	2,14
119	510	2,20	2,15
126	600	2,22	2,17
133	700	2,23	2,18

Datos obtenidos a través de la variación emitida por la lámpara al ser manejada mediante el reóstato.

Curva de calibración celda 1



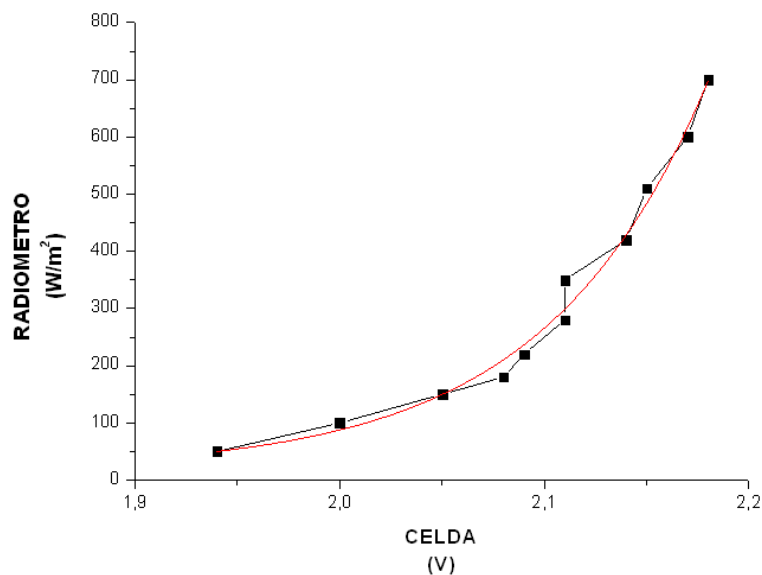
Curva de calibración entre el radiómetro y la celda fotovoltaica con multímetro.

	y0		A1		t1		Statistics	
	Value	Error	Value	Error	Value	Error	Reduced Chi-Sqr	Adj. R-Square
B	-1,40986E8	--	1,40983E8	--	-107969,95817	--	3961,87981	0,97872

$$RADIACION (W/m^2) = A_1 e^{\left(\frac{-V}{t_1}\right)} + y_0 = 1.40983 \times 10^8 e^{(-V/-107969,95817)} - 1,40986 \times 10^8$$

Ecuación 6. Ecuación para convertir la celda 1 en un radiómetro.

CURVA DE CALIBRACION CELDA 2



	y0		A1		t1		Statistics	
	Value	Error	Value	Error	Value	Error	Reduced Chi-Sqr	Adj. R-Square
RADIOMETRO	16,66503	30,89278	8,48041E-10	2,68886E-9	-0,07953	0,00913	670,68445	0,98513

Ecuación de calibración:

$$RADIACION (W/m^2) = A_1 e^{(-V/t_1)} + y_0 = 8.48041 \times 10^{-10} e^{(-V/-0,07953)} + 16.66503$$

Bibliografía

Constitucion política de la Republica de Colombia. (2000). Mejoras.

Agencia de protección ambiental Buenos Aires. (s.f.). Construcción sustentable, del gris al verde, promoción de cubiertas verdes en la ciudad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

Alcaldía de santiago de Cali. (2006). *Agenda Ambiental*. Cali: Interacción Ltda.

Alonso C, J. C., Arcos, M. A., Solano, J. A., Vera Llano, R., & Gallego, A. I. (2007). *Una mirada descriptiva a las comunas de Cali*. Cali: Feriva S.A.

Asociación Argentina del PVC. (2005). *Asociación Argentina del PVC*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2012, de <http://www.aapvc.org.ar/admin/archivosNoticias/63triptico-n%C2%B04.pdf>

Caldas De Borrero, L. (1979). *La flora ornamental tropical y espacio urbano*. Cali: Banco Popular.

Castro C, E. A., & Rojas M, J. E. (1996). *Aislamiento térmico y acústico en vivienda de interés social*. Cali: Universidad del Valle.

Cengel, Y. A. (2004). *Transferencia de calor, segunda edición*. McGraw-Hill Book Company.

Correa Martinez, J. E., Mendez Chavez, J. H., & Vargas Muñoz, A. F. (2005). *Actitudes prevalentes frente a la alimentacion en los estratos 1 y 2 de la ciudad de Cali*. Cali: Universidad del Valle.

Cuesta, S. A. (s.f.). *Ergonautas*. Recuperado el 23 de 01 de 2013, de Ergonautas: 2metodos/fanger/fanger-ayuda.php

Eternit. (26 de 03 de 2012). *Solo Tejas*. Recuperado el 11 de 10 de 2012, de http://www.solotejas.com/files/Tejas/Tejas_en_Fibro cemento/

Eusse González, D. L. (2003). *Patrones de distribución espacial de epífitas angiospermas en un bosque seco del valle geográfico del Rio Cauca*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.

Gamboa H, J. D., Rosillo Peña, M. E., Herrera Caceres, C. A., López Bernal, O., & Iglesias García, V. (2011). *Confort ambiental en vivienda de interés social en Cali*. Cali: Universidad del Valle.

- Garcia Ortiz, I., Guerrero, C. E., & Henao Sanchez, P. A. (2002). *Plan de negocios explotador para la comercialización de humus*. Cali: Universidad del Valle.
- Gómez, M., Sevilla, F., & Pardo, L. C. (2006). *Agenda ambiental Santiago de Cali*. Cali: Interacción Ltda.
- Herrera Hurtado, S. (2009). *Árboles de la Universidad del Valle*. Cali: Universidad del Valle.
- Hurtado Garzón, D. T. (1997). *Producción agroindustrial de abono orgánico*. Cali: Universidad del Valle.
- Incropera, F. P., & De Witt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de Calor*. Naucalpan de Juarez: Prentice Hall.
- Instituto municipal de reforma urbana y vivienda de interés social. (2012). *Proceso de Contratación LICITACION PUBLICA LP-IMVIBUGA-001-2012*. Buga.
- Kingsley, R. (1998). *Plantas de interior*. Madrid: EDIMAT.
- Lacomba, R. (2004). *Las casas vivas: proyectos de arquitectura sustentable*. México: Trillas.
- MaxTack®. (2012). *Adhesivos de montaje de alta resistencia y de agarre instantaneo*. Calle impresores.
- McQuiston, F. C., Parker, J. D., & Spitler, J. D. (2003). *Calefacción, ventilación y aire acondicionado: análisis y diseño*. México: Limusa / Wiley.
- Miranda Jiménez, M. E., Arrellano Mijangos, J. J., Salazar Acevedo, B. Z., Hernández Martínez, F., Cruz, R. Q., & Pérez Santiago, L. (9 de 12 de 2008). *Estudios rurales y asesoría*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2012, de www.era-mx.org/biblio/bromelias_ornamentales.pdf
- Mondelo, P. R., Gregori Torada, E., Blasco, J., & Barrau Bombardó, P. (2001). *Confort y estrés termico (v2)*. México: Alfaomega.
- Ochoa de la Torre, J. M. (1999). *La vegetación como instrumento para el control microclimático*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Construccions Arquitectòniques I.
- Olgyay, V. (1998). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. España: Gustavo Gili.
- Ortega Rodríguez, M., & Ortega Rodríguez, A. (2001). *Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes*. España: Paraninfo.

- Paya, M. (1980). *Aislamiento termico y acustico*. España: Ceac.
- Penagos, A. (14 de Octubre de 2010). *www.colombiaaprende.com*. Recuperado el 26 de 02 de 2013, de <http://bit.ly/19ibxlg>
- Rodríguez Viqueira, M., Figueroa Castrejón, A., & Fuentes Freixanet, V. (2002). *Introducción a la arquitectura bioclimática*. México: Limusa.
- Rossi, L. (2009). *Arquitectura y biomímesis*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Salazar M, J. E., & Garcia Q, H. M. (2011). *Selección de algunas especies de cobertura presentes en el perímetro urbano de Cali y Buenaventura con posibilidades de uso paisajístico en el diseño del espacio urbano*. Cali: Universidad del Valle.
- Santana, L. M., Escobar, L. A., & Capote, P. A. (2011). Influencia de los cambios de ocupación del suelo de Cali (colombia), entre 1984 y 2003, en la temperatura de superficie. *Ingeniería y competitividad*, 41-59.
- Tarchópulos Sierra, D., & Ceballos Ramos, O. L. (2003). *Calidad de la vivienda dirigida a los sectores de bajos ingresos en Bogotá*. Bogota: Centro Editorial Javeriano.
- Yamina, S. (23 de Abril de 2007). *Centro de Predicción Numérica del Tiempo y Clima. Instituto Geofísico del Perú*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2012, de <http://www.met.igp.gob.pe/users/yamina/meteorologia/temperatura%20del%20suelo.pdf>