



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA**  
**Maestría en Arquitectura**

**Techo verde en vivienda económica en Mérida, Yucatán como estrategia  
para condiciones de confort térmico**

Tesis presentada por:

**Verónica Jiménez López**

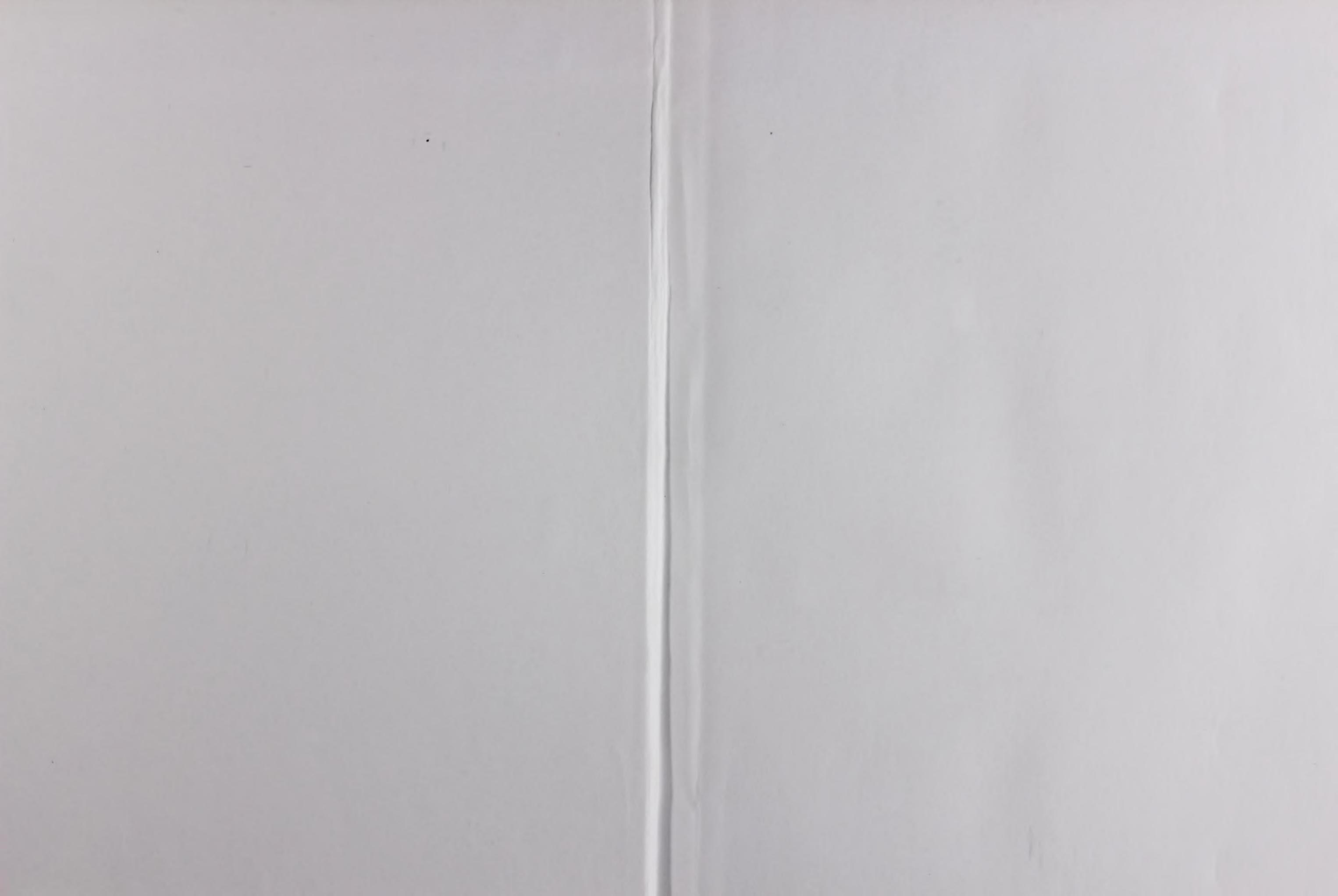
Becario CONACYT No. 259589

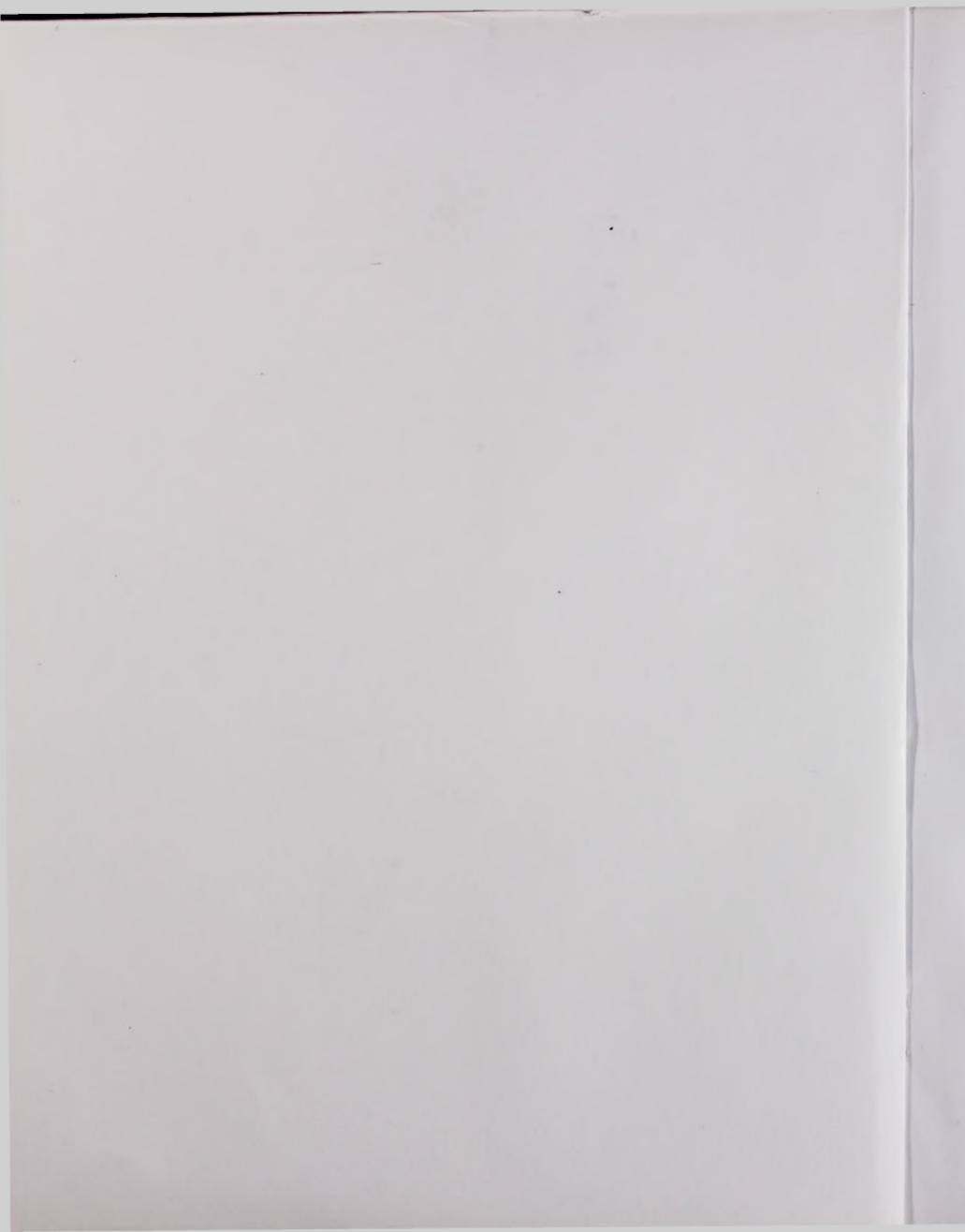
**En opción al grado de Maestro en Arquitectura**



AR0T0001866

2013







**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA**  
Maestría en Arquitectura

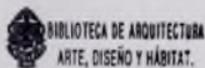
**Techo verde en vivienda económica en Mérida, Yucatán como estrategia para condiciones de confort térmico**

Tesis presentada por:

Verónica Jiménez López

Becario CONACYT No. 259589

En opción al grado de Maestro en Arquitectura



Mérida, Yucatán, México

2013

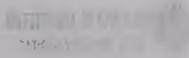
T 0001655

ARQT0001866



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID  
FACULTAD DE CIENCIAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

El presente documento es propiedad de la Universidad Autónoma de Madrid y no puede ser reproducido ni distribuido sin el consentimiento expreso de la misma.



**Tutora:**

Dra. en Arq. Carmen García Gómez

**Asesores:**

Dra. en Ing. María Milagrosa Pérez Sánchez

Dr. en Arq. Gonzalo Bojórquez Morales

1910

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ASTOR LENOX TILDEN FOUNDATION

500 FIFTH AVENUE, NEW YORK, N. Y.

1910

## Dedicatoria

*"Siempre se llega a alguna parte, si se camina lo bastante" Lewis Carroll*

### **A mi madre:**

Por ser mi ejemplo de superación y constancia todos los días, por ser la mejor mamá del mundo, que con cariño y sabiduría siempre me dio su apoyo y opinión sincera.

### **A mi padre:**

Por ser mi amigo, por apoyarme siempre en todas mis decisiones y confiar siempre en mí.

### **A mis hermanos:**

Marco Antonio y Tomás, por su apoyo y cariño.

### **A mis sobrinas:**

Las quiero Abril, Karime y Tania, son parte de la alegría de mi vida.

### **A mi familia:**

Son mi base y soporte, sin ustedes no habría podido concluir esta etapa de mi vida.

## Experiments

Experiments were conducted in a laboratory setting.

### Experiment 1

The first experiment was designed to test the effect of

the independent variable on the dependent variable.

The results of the experiment are shown in

### Experiment 2

The second experiment was designed to test the effect of

the independent variable on the dependent variable.

### Experiment 3

The third experiment was designed to test the effect of

### Experiment 4

The fourth experiment was designed to test the effect of

### Experiment 5

The fifth experiment was designed to test the effect of

### Experiment 6

## Agradecimientos

**A Dios**, por guiarme y acompañarme siempre en cada paso de mi vida, por ser mi fuerza cuando pensaba que no podía terminar algo y por mostrarme el camino correcto cuando sentía que las opciones eran muchas y confusas.

**A mi tutora, Dra. Carmen García Gómez**, Profesora e Investigadora de la Universidad Autónoma de Yucatán, gracias infinitas por su apoyo incondicional para la realización de este trabajo y su disponibilidad para guiarme en esta etapa de mi vida.

**A mi asesor externo, Dr. Gonzalo Bojórquez Morales**, Profesor e Investigador de la Universidad Autónoma de Baja California, gracias por compartir sus conocimientos conmigo, por su opinión sincera, apoyo incondicional y disponibilidad.

**A mi asesora interna, Dra. María Milagrosa Pérez Sánchez**, Profesora e Investigadora de la Universidad Autónoma de Yucatán, muchas gracias por el apoyo y tiempo dedicado a este trabajo de investigación.

**A la Dra. Ramona Alicia Romero, al Dr. Anibal Luna León y al Dr. Ricardo Gallegos Ortega**, Por su asesoría y disponibilidad, gracias.

**Al Dr. Raúl Canto**, por su contribución con el préstamo de instrumentos para el monitoreo térmico realizado, gracias.

**A mis amigas del alma**, Ana Karen, Estela y Alejandra "Mendo", porque es fácil olvidar muchas cosas pero es difícil no recordar nuestras aventuras, locuras y momentos compartidos, porque cuando sentía que estaba muy lejos, ustedes me hacían sentir muy cerca.

**A mis amigos**, los de siempre, los de la carrera de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Guadalajara, Campus Tabasco y a quienes conocí en los salones de la Maestría y con quienes compartí los mejores momentos de esta etapa, Clara, David y César, gracias.

**A la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Yucatán**, Por el apoyo y las facilidades otorgadas para el desarrollo del presente trabajo de investigación, por ser mi casa de estudios de Maestría.

**A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán**, Por el apoyo y las facilidades otorgadas para llevar a cabo el trabajo de campo del presente trabajo de investigación.

**A la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California campus Mexicali**, Por aceptarme como alumna de movilidad, permitirme utilizar sus instalaciones y prestarme los instrumentos necesarios para realizar el trabajo de campo, gracias.

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**, Por el apoyo económico otorgado durante mis estudios de Maestría.

CONFIDENTIAL

[The text in this section is extremely faint and illegible. It appears to be a multi-paragraph document, possibly a report or a letter, but the specific content cannot be discerned.]

## ÍNDICE

RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>I. PRELIMINARES.....</b>	<b>3</b>
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
2. JUSTIFICACIÓN.....	6
3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	8
4. HIPÓTESIS.....	8
5. OBJETIVOS.....	9
6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	9
7. METAS.....	10
8. ANTECEDENTES.....	11
8.1 ESTADO DEL ARTE.....	14
8.2 CASOS ANÁLOGOS.....	23
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>28</b>
1. CLIMA.....	28
1.1 VARIABLES METEOROLÓGICAS.....	32
1.2 BIOCLIMA.....	34
1.3 CAMBIO CLIMÁTICO.....	38
2. VIVIENDA.....	42
2.1 MÉRIDA, YUCATÁN.....	46
2.2 VIVIENDA ECONÓMICA.....	47
3. TECHOS VERDES.....	50
3.2 TIPOLOGÍA.....	51
3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	56
3.4 METODOS DE EVALUACIÓN.....	57
4. CONFORT TÉRMICO.....	60
4.1 ENFOQUES Y MODELOS DE ESTUDIO.....	68
5. NORMATIVIDAD.....	76
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>81</b>
1. CARACTERÍSTICAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	82
1.1 ENFOQUE Y TIPO DE ESTUDIO.....	82
1.2 DIAGNÓSTICO BIOCLIMÁTICO.....	84
1.3 PERIODOS DE ESTUDIO.....	91
2. BIOCLIMA DE MÉRIDA, YUCATÁN.....	93

INDEX

1	INDEX	1
2	INDEX	2
3	INDEX	3
4	INDEX	4
5	INDEX	5
6	INDEX	6
7	INDEX	7
8	INDEX	8
9	INDEX	9
10	INDEX	10
11	INDEX	11
12	INDEX	12
13	INDEX	13
14	INDEX	14
15	INDEX	15
16	INDEX	16
17	INDEX	17
18	INDEX	18
19	INDEX	19
20	INDEX	20
21	INDEX	21
22	INDEX	22
23	INDEX	23
24	INDEX	24
25	INDEX	25
26	INDEX	26
27	INDEX	27
28	INDEX	28
29	INDEX	29
30	INDEX	30
31	INDEX	31
32	INDEX	32
33	INDEX	33
34	INDEX	34
35	INDEX	35
36	INDEX	36
37	INDEX	37
38	INDEX	38
39	INDEX	39
40	INDEX	40
41	INDEX	41
42	INDEX	42
43	INDEX	43
44	INDEX	44
45	INDEX	45
46	INDEX	46
47	INDEX	47
48	INDEX	48
49	INDEX	49
50	INDEX	50
51	INDEX	51
52	INDEX	52
53	INDEX	53
54	INDEX	54
55	INDEX	55
56	INDEX	56
57	INDEX	57
58	INDEX	58
59	INDEX	59
60	INDEX	60
61	INDEX	61
62	INDEX	62
63	INDEX	63
64	INDEX	64
65	INDEX	65
66	INDEX	66
67	INDEX	67
68	INDEX	68
69	INDEX	69
70	INDEX	70
71	INDEX	71
72	INDEX	72
73	INDEX	73
74	INDEX	74
75	INDEX	75
76	INDEX	76
77	INDEX	77
78	INDEX	78
79	INDEX	79
80	INDEX	80
81	INDEX	81
82	INDEX	82
83	INDEX	83
84	INDEX	84
85	INDEX	85
86	INDEX	86
87	INDEX	87
88	INDEX	88
89	INDEX	89
90	INDEX	90
91	INDEX	91
92	INDEX	92
93	INDEX	93
94	INDEX	94
95	INDEX	95
96	INDEX	96
97	INDEX	97
98	INDEX	98
99	INDEX	99
100	INDEX	100

3. CUASI-EXPERIMENTO.....	94
3.1 DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE MÓDULOS DE PRUEBA.....	94
3.2 CALCULO TÉRMICO DE MÓDULOS DE PRUEBA.....	97
3.3 SELECCIÓN DE SISTEMA DE TECHO VERDE.....	99
3.4 CRITERIOS Y SELECCIÓN DE VEGETACIÓN.....	103
3.5 ESTRATEGIA DE MONITOREO TÉRMICO.....	107
4. ANÁLISIS DE DATOS.....	115
4.1 CORRELACIÓN Y REGRESIÓN.....	116
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>117</b>
1. PERIODO TEMPLADO.....	119
1.1 TEMPERATURAS INTERIORES.....	119
1.2 TECHO VERDE.....	130
1.3 CONFORT TÉRMICO.....	135
1.4 CORRELACIÓN.....	142
2. PERIODO DE TRANSICIÓN.....	146
2.1 TEMPERATURAS INTERIORES.....	146
2.2 TECHO VERDE.....	157
2.3 CONFORT TÉRMICO.....	162
2.4 CORRELACIÓN.....	169
3. PERIODO CÁLIDO.....	173
3.1 TEMPERATURAS INTERIORES.....	173
3.2 TECHO VERDE.....	185
3.3 CONFORT TÉRMICO.....	191
3.4 CORRELACIÓN.....	198
3.5 PRUEBA CON VENTANAS ABIERTAS.....	202
3.6 PRUEBA CON VENTANAS Y PUERTAS ABIERTAS.....	214
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>229</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>234</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>252</b>

203	APÉNDICES
204	BIBLIOGRAFÍA
208	CONCLUSIONES
214	3. PRUEBA CON VENTANAS Y PUERTAS ABIERTAS
202	3.4 CORRELACIÓN
199	3.3 CONFORT TÉRMICO
197	3.2 TECHO VERDE
194	3.1 TEMPERATURAS INTERIORES
193	3 PERIODO CALDO
192	3.4 CORRELACIÓN
190	3.3 CONFORT TÉRMICO
187	3.2 TECHO VERDE
185	3.1 TEMPERATURAS INTERIORES
184	2 PERIODO DE TRANSICIÓN
183	2.4 CORRELACIÓN
182	2.3 CONFORT TÉRMICO
180	2.2 TECHO VERDE
177	2.1 TEMPERATURAS INTERIORES
176	1 PERIODO TEMPALDO
175	M. RESULTADOS
174	4.1 CORRELACIÓN Y REGRESIÓN
173	4 ANÁLISIS DE DATOS
167	3.2 ESTRATEGIA DE MONITOREO TÉRMICO
165	3.1 CRITERIOS Y SELECCIÓN DE VEGETACIÓN
162	3.0 SELECCIÓN DE SISTEMA DE TECHO VERDE
160	2.2 CALCULO TÉRMICO DE MÓDULO DE PUERTA
157	2.1 DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE MÓDULO DE PUERTA
154	2.0 CUASI-EXPERIMENTO

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Techo con vegetación de pastos y hierbas silvestres. Urbanización ecológica en Kassel, Alemania.....	12
<b>Figura 2.</b> Vista exterior de la <i>Sky garden house</i> .....	23
<b>Figura 3.</b> Vista exterior del diseño y función de cubiertas verdes en la <i>Sky garden house</i> .....	24
<b>Figura 4.</b> Izquierda: ubicación de la vivienda de interés social. Derecha: vista de la fachada norte.....	24
<b>Figura 5.</b> Distribución de las especies de plantas.....	25
<b>Figura 6.</b> Sistema de techo Domotej, antes y después de aplicar el techo verde, construido en terrenos de la Facultad de Arquitectura de la UNACH.....	26
<b>Figura 7.</b> Vista 3-D de los componentes estructurales de las plataformas experimentales de techo verde. Los círculos representan la localización de los termopares.....	27
<b>Figura 8.</b> Mapas bioclimáticos de México.....	37
<b>Figura 9.</b> Cambio climático.....	40
<b>Figura 10.</b> Los primeros refugios.....	42
<b>Figura 11.</b> Conceptos de vivienda, hogar, casa.....	45
<b>Figura 12.</b> Fachada de mayor exposición al sol en la vivienda económica en Mérida, Yucatán.....	48
<b>Figura 13.</b> Percepción de la vivienda en temporada de calor en Mérida, Yucatán.....	49
<b>Figura 14.</b> Izquierda: Aislamiento en muros. Derecha: Aislamiento en techos en la vivienda económica en Mérida, Yucatán.....	49
<b>Figura 15.</b> Casa "He he" en Tanzania.....	50
<b>Figura 16.</b> Sistema modular de techo verde.....	51
<b>Figura 17.</b> Sistema modular de techo verde. Tipo tapete.....	52
<b>Figura 18.</b> Sistema modular de techo verde. Tipo bandeja.....	52
<b>Figura 19.</b> Sistema modular de techo verde. Tipo saco.....	53
<b>Figura 20.</b> Capas de un techo verde tradicional.....	53
<b>Figura 21.</b> Sistema tradicional de techo verde. Tipo intensivo.....	54
<b>Figura 22.</b> Sistema tradicional de techo verde. Tipo Extensivo.....	54
<b>Figura 23.</b> Sistema tradicional de techo verde. Tipo semi-intensivo.....	55
<b>Figura 24.</b> Parámetros de confort.....	61
<b>Figura 25.</b> Zona de confort en diagrama bioclimático de Olgyay.....	63
<b>Figura 26.</b> Carta psicrométrica de Givoni.....	65
<b>Figura 27.</b> Confort térmico en la década de 1970.....	66
<b>Figura 28.</b> Confort térmico en la década de 1980.....	67
<b>Figura 29.</b> Confort térmico en la década de 1990.....	68

TABLE OF CONTENTS

Chapter I. Introduction to the study of the history of the world ..... 1

Chapter II. The world in the beginning ..... 15

Chapter III. The world in the middle ages ..... 35

Chapter IV. The world in the modern times ..... 55

Chapter V. The world in the future ..... 75

Chapter VI. The world in the past ..... 95

Chapter VII. The world in the present ..... 115

Chapter VIII. The world in the future ..... 135

Chapter IX. The world in the past ..... 155

Chapter X. The world in the present ..... 175

Chapter XI. The world in the future ..... 195

Chapter XII. The world in the past ..... 215

Chapter XIII. The world in the present ..... 235

Chapter XIV. The world in the future ..... 255

Chapter XV. The world in the past ..... 275

Chapter XVI. The world in the present ..... 295

Chapter XVII. The world in the future ..... 315

Chapter XVIII. The world in the past ..... 335

Chapter XIX. The world in the present ..... 355

Chapter XX. The world in the future ..... 375

Chapter XXI. The world in the past ..... 395

Chapter XXII. The world in the present ..... 415

Chapter XXIII. The world in the future ..... 435

Chapter XXIV. The world in the past ..... 455

Chapter XXV. The world in the present ..... 475

Chapter XXVI. The world in the future ..... 495

Chapter XXVII. The world in the past ..... 515

Chapter XXVIII. The world in the present ..... 535

Chapter XXIX. The world in the future ..... 555

Chapter XXX. The world in the past ..... 575

Chapter XXXI. The world in the present ..... 595

Chapter XXXII. The world in the future ..... 615

Chapter XXXIII. The world in the past ..... 635

Chapter XXXIV. The world in the present ..... 655

Chapter XXXV. The world in the future ..... 675

Chapter XXXVI. The world in the past ..... 695

Chapter XXXVII. The world in the present ..... 715

Chapter XXXVIII. The world in the future ..... 735

Chapter XXXIX. The world in the past ..... 755

Chapter XL. The world in the present ..... 775

Chapter XLI. The world in the future ..... 795

Chapter XLII. The world in the past ..... 815

Chapter XLIII. The world in the present ..... 835

Chapter XLIV. The world in the future ..... 855

Chapter XLV. The world in the past ..... 875

Chapter XLVI. The world in the present ..... 895

Chapter XLVII. The world in the future ..... 915

Chapter XLVIII. The world in the past ..... 935

Chapter XLIX. The world in the present ..... 955

Chapter L. The world in the future ..... 975

<b>Figura 30.</b> Estudio del confort térmico.....	69
<b>Figura 31.</b> Enfoques de estudio del confort térmico.....	70
<b>Figura 32.</b> Normas para monitoreo térmico y techos verdes.....	76
<b>Figura 33.</b> Esquema metodológico general de la investigación.....	81
<b>Figura 34.</b> Esquema del proceso de desarrollo del diagnóstico bioclimático. ....	84
<b>Figura 35.</b> Estrategias bioclimáticas para edificios en carta psicrométrica ASHRAE (2009) para Mérida, Yucatán.....	87
<b>Figura 36.</b> Resultados por meses del uso de estrategias de diseño bioclimático en la edificación.....	89
<b>Figura 37.</b> Periodos de estudio en base al termopreferendum de los habitantes de Mérida, Yucatán.....	92
<b>Figura 38.</b> Mapa de México que muestra la localización geográfica de Mérida, Yucatán.....	93
<b>Figura 39.</b> Localización de los módulos de prueba.....	95
<b>Figura 40.</b> Vista 3-D de los módulos de prueba.....	95
<b>Figura 41.</b> Vista 3-D de los módulos de prueba modificados.....	96
<b>Figura 42.</b> Composición de las capas del techo verde.....	101
<b>Figura 43.</b> Vegetación utilizada en el techo verde.....	106
<b>Figura 44.</b> Sensores de temperatura de bulbo seco utilizados en el monitoreo térmico.....	109
<b>Figura 45.</b> Sensor para mediciones de temperatura de globo negro y arena.....	111
<b>Figura 46.</b> Distribución de sensores en módulos de prueba.....	113
<b>Figura 47.</b> Escudo de radiación solar para mediciones de temperatura de bulbo seco en el exterior.....	114
<b>Figura 48.</b> Sellado de módulos de prueba.....	114
<b>Figura 49.</b> Temperatura de bulbo seco (TBS) interior de módulos de prueba y temperatura exterior. Segmentos de estudio en un día representativo (09/03/2013).....	120
<b>Figura 50.</b> TBS interior de módulos de prueba y temperatura exterior. Día representativo (09/03/2013).....	123
<b>Figura 51.</b> TBS interior de los tres módulos de prueba y TBS exterior.....	125
<b>Figura 52.</b> Comparación de la TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural de los módulos de prueba con la TBS del exterior.....	127
<b>Figura 53.</b> Comparación de la TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural de los módulos de prueba y TBS del exterior. Día representativo (09/03/2013).....	128
<b>Figura 54.</b> Temperatura de globo negro de los módulos de prueba y el exterior.....	129
<b>Figura 55.</b> Comparación de TBS con TGN del interior de los módulos de prueba y con la TBS exterior. Día representativo (09/03/2013).....	130
<b>Figura 56.</b> Desempeño térmico del módulo con techo verde.....	134



<b>Figura 57.</b> Temperatura de bulbo seco interior de MVB y zona de confort térmico.....	135
<b>Figura 58.</b> Temperatura de bulbo seco interior de MTV y zona de confort térmico. .....	136
<b>Figura 59.</b> Temperatura de bulbo seco interior de MTV y zona de confort térmico. .....	137
<b>Figura 60.</b> TGN y rangos de confort térmico. MVB en un día representativo (09/03/2013). .....	139
<b>Figura 61.</b> TGN y rangos de confort térmico. MTV en un día representativo (09 de marzo). .....	140
<b>Figura 62.</b> TGN y rangos de confort térmico. MTP en un día representativo (09 de marzo). .....	142
<b>Figura 63.</b> Líneas de tendencia y correlación de módulos de prueba. ....	144
<b>Figura 64.</b> TBS interior de módulos de prueba y temperatura exterior. Día representativo (08/04/2013). .....	147
<b>Figura 65.</b> TBS interior de los tres módulos de prueba y TBS exterior. ....	150
<b>Figura 66.</b> Comparación de la TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural de los módulos de prueba con la TBS del exterior. ....	152
<b>Figura 67.</b> Comparación de la TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural de los módulos de prueba y TBS del exterior. Día representativo (08/04/2013). .....	154
<b>Figura 68.</b> Comparación de TBS con TGN del interior de los módulos de prueba y con la TBS exterior. Día representativo (08/04/2013). .....	155
<b>Figura 69.</b> Desempeño térmico del módulo con techo verde. ....	156
<b>Figura 70.</b> Temperatura de globo negro de los módulos de prueba y el exterior. .....	157
<b>Figura 71.</b> Temperatura de bulbo seco interior de MVB y zona de confort térmico.....	161
<b>Figura 72</b> Temperatura de bulbo seco interior de MTV y zona de confort térmico. .....	162
<b>Figura 73.</b> Temperatura de bulbo seco interior de MTP y zona de confort térmico. .....	163
<b>Figura 74.</b> TGN y rangos de confort térmico. MVB en un día representativo (08 de abril). .....	164
<b>Figura 75.</b> TGN y rangos de confort térmico. MTV en un día representativo (08 de abril). .....	166
<b>Figura 76.</b> TGN y rangos de confort térmico. MTP en un día representativo (08 de abril). .....	167
<b>Figura 77.</b> Líneas de tendencia y correlación de módulos de prueba. ....	168



<b>Figura 78.</b> Temperatura de bulbo seco (TBS) interior de módulos de prueba y temperatura de bulbo seco exterior. Segmentos de estudio en un día representativo (27/05/2013).	170
<b>Figura 79.</b> TBS interior de módulos de prueba y temperatura exterior. Día representativo (27/05/2013).	174
<b>Figura 80.</b> TBS interior de los tres módulos de prueba y TBS exterior.	177
<b>Figura 81.</b> Comparación de la TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural de los módulos de prueba con la TBS del exterior.	179
<b>Figura 82.</b> Comparación de la TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural de los módulos de prueba y TBS del exterior. Día representativo (27/05/2013).	181
<b>Figura 83.</b> Temperatura de globo negro de los módulos de prueba y el exterior.	182
<b>Figura 84.</b> Comparación de TBS con TGN del interior de los módulos de prueba y con la TBS exterior. Día representativo (27/05/2013).	183
<b>Figura 85.</b> Desempeño térmico del módulo con techo verde.	184
<b>Figura 86.</b> Temperatura de bulbo seco interior de MVB y zona de confort térmico.	190
<b>Figura 87.</b> Temperatura de bulbo seco interior de MTV y zona de confort térmico.	191
<b>Figura 88.</b> Temperatura de bulbo seco interior de MTP y zona de confort térmico.	192
<b>Figura 89.</b> TGN y rangos de confort térmico. MVB en un día representativo (27/05/2013).	193
<b>Figura 90.</b> TGN y rangos de confort térmico. MTV en un día representativo (27/05/2013).	195
<b>Figura 91.</b> TGN y rangos de confort térmico. MTP en un día representativo (27/05/2013).	196
<b>Figura 92.</b> Líneas de tendencia y correlación de módulos de prueba.	197
<b>Figura 93.</b> Prueba 1: Módulos con ventanas abiertas.	199
<b>Figura 94.</b> Desempeño térmico del módulo de vigueta y bovedilla. Prueba con ventanas abiertas.	202
<b>Figura 95.</b> Temperatura de bulbo seco y temperatura de globo negro en comparación con el exterior y zona de confort térmico (Día representativo). Prueba con ventanas abiertas.	205
<b>Figura 96.</b> Desempeño térmico del módulo con techo verde. Prueba con ventanas abiertas.	206
<b>Figura 97.</b> Temperatura de bulbo seco y temperatura de globo negro en comparación con el exterior y zona de confort térmico (Día representativo). Prueba con ventanas abiertas.	208



<b>Figura 98.</b> Desempeño térmico del módulo de techo con poliestireno. Prueba con ventanas abiertas. ....	209
<b>Figura 99.</b> Temperatura de bulbo seco y temperatura de globo negro en comparación con el exterior y zona de confort térmico (Día representativo). Prueba con ventanas abiertas. ....	212
<b>Figura 100.</b> Prueba 2: Módulos con ventanas y puertas abiertas. ....	213
<b>Figura 101.</b> Desempeño térmico del módulo de vigueta y bovedilla. Prueba con puertas y ventanas abiertas. ....	214
<b>Figura 102.</b> Temperatura de bulbo seco y temperatura de globo negro en comparación con el exterior y zona de confort térmico (Día representativo). Prueba con ventanas y puertas abiertas. ....	217
<b>Figura 103.</b> Desempeño térmico del módulo de vigueta y bovedilla (Día representativo). Prueba con ventanas y puertas abiertas. ....	218
<b>Figura 104.</b> Desempeño térmico del módulo con techo verde. Prueba con ventanas y puertas abiertas. ....	220
<b>Figura 105.</b> Temperatura de bulbo seco y temperatura de globo negro en comparación con el exterior y zona de confort térmico (Día representativo). Prueba con ventanas y puertas abiertas. ....	221
<b>Figura 106.</b> Desempeño térmico del módulo de techo con poliestireno. Prueba con ventanas y puertas abiertas. ....	223
<b>Figura 107.</b> Temperatura de bulbo seco y temperatura de globo negro en comparación con el exterior y zona de confort térmico (Día representativo). Prueba con puertas y ventanas abiertas. ....	224

1870  
1871  
1872  
1873  
1874  
1875  
1876  
1877  
1878  
1879  
1880  
1881  
1882  
1883  
1884  
1885  
1886  
1887  
1888  
1889  
1890  
1891  
1892  
1893  
1894  
1895  
1896  
1897  
1898  
1899  
1900

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Desempeño y confort térmico.....	14
<b>Tabla 2.</b> Medio-ambiente.....	19
<b>Tabla 3.</b> Componentes del techo verde.....	21
<b>Tabla 4.</b> Clasificación climática, de acuerdo con Köppen-García.....	29
<b>Tabla 5.</b> Variantes de humedad.....	33
<b>Tabla 6.</b> Crecimiento histórico de la vivienda en Mérida, Yucatán.....	47
<b>Tabla 7.</b> Peso de la naturación en azoteas.....	55
<b>Tabla 8.</b> Ventajas y desventajas generales de los techos verdes.....	56
<b>Tabla 9.</b> Estudios de simulación. Techos verdes.....	58
<b>Tabla 10.</b> Estudios de Experimentales. Techos verdes.....	59
<b>Tabla 11.</b> Escala de sensación del ambiente térmico.....	64
<b>Tabla 12.</b> Modelos del confort térmico. Enfoque de predicción.....	71
<b>Tabla 13.</b> Modelos del confort térmico. Enfoque de Adaptación.....	74
<b>Tabla 14.</b> Normatividad.....	78
<b>Tabla 15.</b> Rangos de Confort térmico.....	86
<b>Tabla 16.</b> Resultados por meses del uso de estrategias de diseño bioclimático en una edificación.....	88
<b>Tabla 17.</b> Comparación de los valores obtenidos de "Q" con el programa CATEDI, en cuatro tipos de techos.....	98
<b>Tabla 18.</b> Costo de los materiales utilizados en el techo verde.....	102
<b>Tabla 19.</b> Plantas para techo verde de tipo extensivo en clima cálido-húmedo.....	103
<b>Tabla 20.</b> Especificaciones técnicas del dispositivo registrador de datos ( <i>data logger</i> ).....	108
<b>Tabla 21.</b> Periodo templado. Temperaturas máximas, promedio y mínimas....	119
<b>Tabla 22.</b> Diferencia de temperaturas, de las 24:00 a las 8:00 horas.....	121
<b>Tabla 23.</b> Diferencia de temperaturas, de las 8:00 a las 18:00 horas.....	121
<b>Tabla 24.</b> Diferencia de temperaturas, de las 18:00 a las 24:00 horas.....	122
<b>Tabla 25.</b> Amortiguamiento de las curvas de temperatura interior en módulos de prueba (Día representativo).....	124
<b>Tabla 26.</b> Periodo templado. Coeficiente de correlación de Pearson, $R^2$ y regresión de la temperatura de bulbo seco exterior e interior.....	145
<b>Tabla 27.</b> Periodo de transición. Temperaturas máximas, promedio y mínimas.....	146
<b>Tabla 28.</b> Diferencia de temperaturas, de las 24:00 a las 8:00 horas. Periodo de transición.....	148
<b>Tabla 29.</b> Diferencia de temperaturas, de las 8:00 a las 19:00 horas. Periodo de transición.....	148

BLIGHT BE STONE

1. The first thing I noticed when I stepped  
 2. out of the car was a sharp, cold  
 3. breeze that seemed to pierce my skin.  
 4. I shivered involuntarily, my teeth  
 5. chattering. The air smelled of  
 6. damp earth and distant rain. I  
 7. looked up at the overcast sky, where  
 8. heavy clouds loomed like giant  
 9. fists. The ground beneath my feet  
 10. was uneven, a mix of dirt and  
 11. sparse, dead grass. In the distance,  
 12. the faint outline of a building  
 13. could be seen through the haze.  
 14. I took a few more steps, my  
 15. boots crunching on the ground.  
 16. The silence was oppressive, broken  
 17. only by the occasional rustle of  
 18. leaves or the distant hum of a  
 19. car. I felt a sense of unease,  
 20. as if I had entered a place  
 21. where something was hidden.  
 22. The light was dim, a sickly  
 23. grey that made it difficult to  
 24. see more than a few feet ahead.  
 25. I stopped for a moment, my  
 26. hand on the door handle of the  
 27. car. The engine was still, the  
 28. interior dark and cold. I  
 29. hesitated, my mind racing with  
 30. questions. What was I doing  
 31. here? Why had I come to this  
 32. place? The answer, I realized,  
 33. was in the name of the street.  
 34. Blight Be Stone. It sounded  
 35. like a curse, a warning. I  
 36. turned back towards the building,  
 37. my heart pounding. The door  
 38. was slightly ajar, a sliver of  
 39. light spilling out. I took a  
 40. deep breath, my hand on the  
 41. handle. The door swung open  
 42. with a creak, revealing a dark  
 43. interior. I stepped inside,  
 44. the door closing behind me.  
 45. The air was thick, heavy with  
 46. shadows. I looked around, my  
 47. eyes catching on a small, glowing  
 48. object on the floor. It was  
 49. a stone, smooth and polished,  
 50. with a faint, golden light  
 51. emanating from it. I picked  
 52. it up, my fingers brushing  
 53. against its surface. The light  
 54. grew brighter, filling the room  
 55. with a warm, golden glow. I  
 56. looked at the stone, my  
 57. mind reeling. This was no  
 58. ordinary stone. It was a  
 59. relic, a piece of magic. I  
 60. had found it. I had found  
 61. the key to the secret of  
 62. Blight Be Stone.

<b>Tabla 30.</b> Diferencia de temperaturas, de las 19:00 a las 24:00 horas. Periodo de transición.....	149
<b>Tabla 31.</b> Amortiguamiento de las curvas de temperatura interior en módulos de prueba (Día representativo).....	150
<b>Tabla 32.</b> Periodo de transición. Coeficiente de correlación de Pearson, $R^2$ y regresión entre la temperatura de bulbo seco interior y el exterior.....	171
<b>Tabla 33.</b> Periodo cálido. Temperaturas máximas, promedio y mínimas.....	173
<b>Tabla 34.</b> Diferencia de temperaturas, de las 24:00 a las 8:00 horas. Periodo cálido.....	175
<b>Tabla 35.</b> Diferencia de temperaturas, de las 8:00 a las 18:00 horas. Periodo cálido.....	175
<b>Tabla 36.</b> Diferencia de temperaturas, de las 18:00 a las 24:00 horas. Periodo de transición.....	176
<b>Tabla 37.</b> Amortiguamiento de las curvas de temperatura interior en módulos de prueba (Día representativo).....	178
<b>Tabla 38.</b> Periodo templado. Coeficiente de correlación de Pearson, $R^2$ y regresión entre la temperatura de bulbo seco interior y el exterior.....	200
<b>Tabla 39.</b> Periodo cálido con ventanas abiertas. Temperaturas máximas, promedio y mínimas.....	203
<b>Tabla 40.</b> Periodo cálido con ventanas abiertas. TBS y TGN en relación con la zona de confort térmico (Día representativo).....	206
<b>Tabla 41.</b> Periodo cálido con ventanas abiertas. TBS y TGN en relación con la zona de confort térmico (Día representativo).....	210
<b>Tabla 42.</b> Periodo cálido con ventanas abiertas. TBS y TGN en relación con la zona de confort térmico (Día representativo).....	213
<b>Tabla 43.</b> Periodo cálido con puertas y ventanas abiertas. Temperaturas máximas, promedio y mínimas.....	215
<b>Tabla 44.</b> Periodo cálido con ventanas y puertas abiertas. TBS y TGN en relación con la zona de confort térmico (Día representativo).....	218
<b>Tabla 45.</b> Periodo cálido con ventanas abiertas. TBS y TGN en relación con la zona de confort térmico (Día representativo).....	222
<b>Tabla 46.</b> Periodo cálido con ventanas abiertas. TBS y TGN en relación con la zona de confort térmico (Día representativo).....	224
<b>Tabla 47.</b> Comparación de resultados en tres pruebas de monitoreo térmico de los módulos de prueba en el periodo cálido.....	225



## RESUMEN

La vivienda económica que se construye actualmente en regiones de clima cálido-húmedo presenta incrementos de temperatura en interiores, lo que afecta los periodos de confort térmico de quienes la habitan y requiere del uso de sistemas electromecánicos de enfriamiento. Mediante el uso de módulos de prueba para el monitoreo de temperaturas se demostraron las ventajas de la aplicación de techos verdes como estrategia de adecuación pasiva, para lograr condiciones interiores de confort térmico. Los resultados obtenidos se analizaron con un método de comparación de temperaturas y de correlación. Se concluye que un techo verde aporta condiciones de confort térmico en interiores y tiene un mejor desempeño térmico en comparación con los sistemas de techumbre comúnmente utilizados en la región sureste de México: Vigueta y bovedilla simple y con placas de poliestireno.

## RESUMEN

La vivienda económica que se construye actualmente en regiones de clima húmedo presenta incrementos de temperatura en interiores, lo que afecta los períodos de confort térmico de quienes la habitan y reduce el uso de sistemas electromecánicos de enfriamiento. Mediante el uso de métodos de prueba para el monitoreo de temperaturas se demostraron las ventajas de la aplicación de técnicas como estrategia de adecuación pasiva para lograr condiciones interiores de confort térmico. Los resultados obtenidos se analizaron con un método de comparación de temperaturas y de comodidad. Se concluye que un techo verde mejora condiciones de confort térmico en interiores y tiene un mejor desempeño térmico en comparación con los sistemas de techos más comúnmente utilizados en la región surste de México. Vigente y disponible en español y con piezas de polisterano.

## **ABSTRACT**

Low-cost dwellings currently under construction in regions of hot humid climate, presents indoor temperature increases, affecting thermal comfort periods of its occupants and requires the use of electromechanical cooling systems. By using test modules for thermal monitoring proved the advantages of implementing green roofs as passive adaptation strategy to achieve indoor thermal comfort conditions. The results were analyzed using a method of comparison and correlation of temperatures. The major findings is that a green roof counteracts indoor thermal discomfort and has a better thermal performance compared to commonly used roofing systems in the southeast of Mexico: Beam and vault simple and masonry polystyrene plates.

## ABSTRACT

Low-cost dwellings currently under construction in regions of hot humid climate presents indoor temperature increases, affecting thermal comfort periods of its occupants and reduces the use of electromechanical cooling systems by using less modules for thermal monitoring proved the advantages of implementing green roofs as passive adaptation strategy to achieve indoor thermal comfort conditions. The results were analyzed using a method of comparison and correlation of variables. The major findings is that a green roof counteracts indoor thermal discomfort and has a better thermal performance compared to commonly used roofing materials in the southeast of Mexico: Beam and vault simple and masonry polystyrene plates.

## INTRODUCCIÓN

La concentración de la población en ciudades de expansión y urbanización constante provoca la pérdida de territorios agrícolas y la conversión de suelos rurales productivos en urbanos improductivos de alta ocupación. Este fenómeno se presenta en las últimas décadas del siglo XX a un ritmo mucho mayor que en años anteriores. Algunas de esas transformaciones en los asentamientos humanos, se presentan como sinónimos de progreso pero sus repercusiones inciden de manera directa en el medio ambiente, lo que ocasiona el deterioro gradual del planeta y afecta la vida cotidiana de las personas.

La vivienda masiva es el sector que mayores repercusiones tiene en las ciudades, por lo general, se localizan donde el terreno es barato, accesible y extenso para la construcción de grandes desarrollos urbanos: las periferias. Esto ocasiona el crecimiento constante de la mancha urbana, la demanda de servicios públicos, equipamiento e infraestructura y genera daños en el ambiente por el incremento de pavimentos, la movilidad motorizada que requiere de vías y el uso del concreto para las edificaciones, esta falta de áreas verdes y la sustitución de suelos agrícolas favorecen el efecto isla de calor en las ciudades.

En contraste con los avances en diversas normas, reglamentos y leyes que analizan y regulan el diseño de los edificios, actualmente se ha optado por dotar a las construcciones de instalaciones especiales para el uso de sistemas mecánicos de acondicionamiento térmico artificial, como los sistemas electromecánicos de enfriamiento, por lo que el arquitecto ha perdido la sensibilidad y capacidad de ofrecer soluciones pasivas de acondicionamiento térmico aplicadas a los edificios.

Las enfermedades que se generan en espacios interiores de trabajo o habitación no ventilados naturalmente y los efectos que el cambio drástico de temperaturas de un ambiente acondicionado diferente al exterior genera sobre el cuerpo humano, son consecuencia de la falta de estrategias bioclimáticas en los edificios. El ser humano



necesita desarrollar sus actividades diarias en condiciones térmicas aceptables o de confort térmico, ya que los espacios fuera de este rango de temperaturas pueden ocasionar problemas de salud que tienen como límite extremo el congelamiento o la insolación.

El estudio y análisis del confort térmico humano, es esencial en la proyección de los edificios, pues denota preocupación por quienes habitan los espacios interiores, la ciudad, los consumos elevados de energías no renovables y los problemas del medio ambiente. Entonces es evidente la aplicación necesaria de métodos y estrategias que proporcionen ya no solo soluciones de forma, función y estética sino también de confort térmico, este es definido por la norma ISO 7730:2005 como “la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico” (ISO 7730, 2005).

Los techos verdes se han utilizado por muchos años como estrategia de acondicionamiento térmico, el primer dato que se tiene de la aplicación de vegetación a manera de terraza son los jardines colgantes de babilonia en el siglo VI A.C. (Ochoa, 1999), sin embargo su uso en las construcciones actuales ha demostrado beneficios a diferentes escalas y en proporciones diversas de acuerdo al contexto en el que se construyen.

La aplicación de los techos verdes a la vivienda económica actual para determinar los rangos de confort térmico de los habitantes en espacios interiores, es un tema poco estudiado para la ciudad de Mérida, Yucatán, lo cual motiva la realización de esta investigación que pretende se pueda extrapolar a otros ámbitos geográficos con características similares a las del caso de estudio.

El presente trabajo de investigación se divide en cuatro capítulos: 1) Aspectos preliminares de la investigación, 2) Marco teórico, 3) Metodología y 4) Resultados, así como los apartados de conclusiones de la investigación realizada y la bibliografía que contiene la lista de referencias utilizadas en el presente documento.

necesita desarrollar sus actividades diarias en condiciones térmicas aceptables o de confort térmico, ya que los espacios fuera de este rango de temperaturas pueden ocasionar problemas de salud que tienen como límite extremo el congelamiento o la insolación.

El estudio y análisis del ambiente térmico humano, se asienta en la proyección de los edificios, pues dentro de esta proyección por donde habitan los espacios interiores, la ciudad, los consumos elevados de energía no renovables y los problemas del medio ambiente. Entonces es evidente la aplicación necesaria de métodos y estrategias que proporcionen ya no solo soluciones de forma, función y estética sino también de confort térmico, este es definido por la norma ISO 7730:2005 como "la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico" (ISO 7730:2005).

Los factores verticales se han utilizado por muchos años como estrategia de acondicionamiento térmico, el primer dato que se tiene de la aplicación de vegetación a manera de fachada son los jardines colgantes de Babilonia en el siglo VI A.C. (Ochoa, 1999), sin embargo su uso en las construcciones actuales ha demostrado beneficios a diferentes escalas y en proporciones diversas de acuerdo al contexto en el que se construyen.

La aplicación de los techos verdes a la vivienda económica actual para determinar los rangos de confort térmico de los habitantes en espacios interiores, es un tema poco estudiado para la ciudad de Mérida, Yucatán, lo cual motiva la realización de esta investigación que pretende ser una contribución a otros ámbitos geográficos con características similares a las del caso de estudio.

El presente trabajo de investigación se divide en cuatro partes: 1) Aspectos preliminares de la investigación, 2) Marco teórico, 3) Metodología y 4) Resultados, así como los apartados de conclusiones de la investigación realizada y la bibliografía que contiene la lista de referencias utilizadas en el presente documento.

## I. PRELIMINARES

En este capítulo se presenta el planteamiento general de la investigación, donde se define la problemática de estudio así como las referencias que lo justifican. La hipótesis se formula con base en las preguntas de investigación, se redactan el objetivo general y los objetivos particulares, se mencionan también, las metas así como los alcances y limitaciones de este trabajo.

### **1. Planteamiento del problema**

La oferta y la demanda de construcción de viviendas económicas, en México, ha incrementado desde el año 2002, cuando el Gobierno Federal a través del Programa Nacional de Vivienda Económica, implementó este modelo para las familias con bajo poder adquisitivo donde uno de sus integrantes tuviera empleo fijo y salario de hasta 2.9 VSMM (Veces el Salario Mínimo Mensual). La necesidad de este tipo de vivienda en el país, así como el impulso de instituciones y organismos del Gobierno Federal, Estatal y Municipal, denota que su construcción seguirá en aumento en los próximos años.

En Mérida, Yucatán uno de los problemas de este tipo de vivienda es que se construye con características similares a las de otras regiones del país, por lo cual, presenta poca adecuación con el entorno climático y esto genera el aumento de la temperatura ambiente en espacios interiores, que afecta el confort térmico de quienes la habitan.

Las condiciones climáticas de la región ocasionan la utilización de sistemas electromecánicos de enfriamiento dentro de las viviendas, para mejorar las condiciones del clima cálido-húmedo del exterior, sin embargo, su uso incrementa el consumo de energía eléctrica y por lo tanto afecta la economía familiar. En México, el consumo de energía del sector residencial representa el 16% del total final



consumido en el país, del cual el 23% corresponde al uso de energía eléctrica (Secretaría de Energía, 2010).

Con base en los datos del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) en México el 30% del total del consumo de energía corresponde a los sectores residencial, comercial y de servicios; se estima que en regiones de clima cálido, cerca del 35% de esta energía se emplea para el acondicionamiento térmico de las edificaciones (FIDE, 2009).

En Yucatán, la energía eléctrica de uso doméstico es subsidiada por el Estado y el precio por kilowatts-hora (kWh) en la época de verano es de \$0.687 con un límite de 300 kWh/mes. Cuando se rebasa éste consumo básico, el precio por kWh se incrementa hasta \$2.745, es decir 3.99 veces más (Comisión Federal de Electricidad, 2013).

Los tres aspectos mencionados anteriormente, 1) vivienda, 2) contexto climático y 3) el aumento de temperaturas en espacios interiores afectan el rango de sensación térmica percibida y generan disconfort térmico en los habitantes de las viviendas económicas de la ciudad de Mérida, por lo cual, es pertinente el estudio de estrategias pasivas de acondicionamiento ambiental que mitiguen esta problemática.

La estrategia pasiva de techos verdes aplicada en los edificios, puede permitir regresarle a las ciudades el suelo que se ha perdido con la construcción masiva de viviendas (Cuevas, Ochoa & Fuentes, 2010). Las propiedades termo-fisiológicas de las plantas así como la densidad del sustrato, funcionan en conjunto como estrategia pasiva de masa térmica y pueden generar condiciones de confort térmico en interiores (García, 2010; Susca, Gaffin & Dell'Osso, 2011), lo cual puede contribuir también al mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios.

consumido en el país, del cual el 23% corresponde al uso de energía eléctrica (Secretaría de Energía, 2010)

Con base en los datos del Fideicomiso para el Desarrollo de Energía Eléctrica (FIDE) en México el 30% del total de consumo de energía corresponde a los sectores residencial, comercial y de servicios; se estima que en regiones de clima cálido, cerca del 38% de esta energía se emplea para el acondicionamiento térmico de las edificaciones (FIDE, 2008).

En Yucatán, la energía eléctrica de uso doméstico es subsidiada por el Estado y el precio por kilowatt-hora (kWh) en la época de verano es de \$0.887 con un límite de 300 kWh/mes. Cuando se rebasa este consumo básico, el precio por kWh se incrementa hasta \$1.50, es decir 3.88 veces más (Comisión Federal de Electricidad, 2013).

Los tres aspectos mencionados anteriormente: 1) vivienda, 2) contexto climático y 3) el aumento de temperaturas en épocas inhóspitas afectan el rango de sensación térmica percibida y generan desconfort térmico en los habitantes de las viviendas económicas de la ciudad de Mérida, por lo cual, es pertinente el estudio de estrategias pasivas de acondicionamiento ambiental que mitigen esta problemática.

La estrategia pasiva de techos verdes aplicada en los edificios, puede permitir regresar a las ciudades el suelo que se ha perdido con la construcción masiva de viviendas (Cuevas, Ochoa & Fuentes, 2010). Las propiedades termo-fisiológicas de las plantas así como la densidad del sustrato, funcionan en conjunto como estrategia pasiva de masa térmica y pueden generar condiciones de confort térmico en interiores (García, 2010; Suarez, Gaffin & Del-Osao, 2011), lo cual puede contribuir también al mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios.

Un techo verde puede proporcionar condiciones de confort térmico a la vivienda económica de Mérida, lo que puede indicar percepción de comodidad en los espacios interiores debido al mejoramiento de las condiciones térmicas y generar sensación de apego al lugar que se habita, aspectos que están condicionados al clima cálido-húmedo de la ciudad, las características constructivas de la vivienda y la capacidad de adaptación de las personas.

Un texto vende puede proporcionar condiciones de confort similares a la vivienda económica de México, lo que puede indicar percepción de cambios en los espacios interiores debido al mejoramiento de las condiciones térmicas y generar sensación de espacio al igual que en hábitos, aspectos que están condicionados al clima cálido-húmedo de la ciudad, las características constructivas de la vivienda y la capacidad de adaptación de las personas.

## **2. Justificación**

La vivienda económica en México alberga a las familias que reciben de uno a tres salarios mínimos, este tipo de vivienda como su nombre lo indica, se define en función de parámetros económicos, por lo cual, su construcción y producción se ha convertido en una preocupación de cantidad más no de calidad. En el año 2010, en Mérida, Yucatán se construyeron 10 416 viviendas de este tipo y esta cifra va en aumento (Ayuntamiento de Mérida, 2011).

Uno de los problemas de la vivienda en México es que presenta hacinamiento, lo cual disminuye los aspectos fundamentales de habitabilidad (tamaño, flexibilidad, ventilación e iluminación adecuada); en Mérida, 33.6% de las viviendas presentan esta problemática, de ahí que, como menciona el Estado actual de la vivienda en México (EAVM) "...la visión de quienes hacen las políticas, producen o analizan la situación de la vivienda, difiere en mucho de la opinión de quienes ahí viven" (Gobierno Federal et al., 2010, p. 26).

Además, la vivienda económica producida actualmente, no cuenta con las estrategias ambientales necesarias para adaptarse al lugar en el cual se desplanta, lo cual dificulta su interacción con el entorno climático y esto trasciende a problemas de incomodidad térmica en los espacios interiores. Esta poca o nula relación vivienda-entorno climático obliga a sus habitantes a utilizar sistemas alternos de acondicionamiento térmico, lo cual se liga a otro problema de la actualidad, el consumo elevado de energía eléctrica, que a su vez tiene efectos negativos en el medio ambiente.

Por lo tanto, es preocupante que al hacinamiento se sumen otros problemas de habitabilidad, relacionados con la poca adecuación de los espacios interiores de la vivienda económica a las condiciones ambientales de Mérida, que no permitan el desarrollo integral de las familias que en ella habitan.

La vivienda económica en México alberga a las familias que residen de uno a tres salarios mínimos, este tipo de vivienda como su nombre lo indica, se define en función de parámetros económicos, por lo cual, su construcción y producción se ha convertido en una preocupación de carácter más no de calidad. En el año 2010, en Mérida, Yucatán se construyeron 10 418 viviendas de este tipo y esta cifra va en aumento (Ayuntamiento de Mérida, 2011).

Uno de los problemas de la vivienda en México es que presenta trastorno lo cual disminuye los aspectos fundamentales de habitabilidad (tamaño, ventilación e iluminación adecuada), en Mérida, 33.8% de las viviendas presentan esta problemática, de ahí que como menciona el Estado actual de la vivienda México (EAVM) la visión de quienes hacen las políticas, producen o analizan la situación de la vivienda, difiere en mucho de la opinión de quienes ahí viven. (Gobierno Federal et al., 2010, p. 28).

Además, la vivienda económica produce actualmente no cuenta con las estrategias ambientales necesarias para adaptarse al lugar en el cual se desarrolla, lo cual dificulta su interacción con el entorno climático y esto transfiere a problemas de incomodidad térmica en los espacios interiores. Esta poca o nula relación vivienda-entorno climático obliga a sus habitantes a utilizar sistemas externos de acondicionamiento térmico, lo cual se liga a otro problema de la ciudad, el consumo elevado de energía eléctrica, que a su vez tiene efectos negativos en el medio ambiente.

Por lo tanto, es preocupante que el crecimiento que el nacimiento se sumen otros problemas de habitabilidad, relacionadas con la poca adecuación de los espacios interiores de la vivienda económica a las condiciones ambientales de Mérida, que no permitan el desarrollo integral de las familias que en ella habitan.

El clima cálido-húmedo de Mérida, aunado a los efectos del cambio climático del planeta, influye en el confort térmico y en periodos prolongados puede afectar no solo el rendimiento físico, sino también la salud de los habitantes de la ciudad. Según Luber y McGeehin (2008) la exposición prolongada a altas temperaturas puede causar enfermedades relacionadas con el calor, como calambres, agotamiento, golpe de calor e inclusive la muerte.

Santamouris (2012), menciona que son dos las tecnologías más importantes aplicadas a las azoteas para lograr condiciones de confort térmico en las ciudades:

- 1) Las destinadas a aumentar el albedo de los techos, conocidos como techos reflejantes y
- 2) Las que proponen los techos parcial o completamente cubiertos con vegetación, conocidos como techos verdes o techos vivos.

El presente trabajo de investigación pretende estudiar y analizar la aplicación de techos verdes en la vivienda económica, para proporcionar condiciones de confort térmico en espacios interiores, mismo que se ha producido en otros ámbitos geográficos pero del cual se desconocen los beneficios específicos para Mérida.

Los techos verdes pueden proporcionar beneficios medio-ambientales, socio-económicos, energéticos y estéticos, ya que al aplicarlos se puede aprovechar el potencial solar de nuestro país, se puede contribuir a la recuperación de las áreas verdes en los espacios urbanos, se pueden mitigar los efectos del cambio climático y generar condiciones de confort térmico, lo que puede reducir costos de energía por enfriamiento electromecánico en periodos con altas temperaturas (Niachou, Papakonstantinou, Santamouris, Tsangrassoulis & Mihalakakou, 2001; Tovar, Figueroa, Gordon & Valiente, 2010).

Los techos verdes aumentan la masa térmica del edificio y funcionan como retardantes de la transferencia del calor. Lo anterior, puede ampliar los rangos de confort térmico en los habitantes de las viviendas económicas actuales, que se caracterizan por tener espacios reducidos con condiciones térmicamente inadecuadas tanto en verano como en invierno (Romero et al., 2010). Esta

introducidas tanto en verano como en invierno (Romero et al., 2010). Estas características por tanto espacios reducidos con condiciones térmicas de confort térmico en las viviendas económicas actuales, que se tanto de la transferencia del calor. Lo anterior, puede explicar los largos Los techos verdes aumentan la masa térmica del edificio y funcionan como

Figura 4. Gordon & Valente, 2010).

Pakistanistán, Santarun, Tanagerun & Hikalakun, 2007; Tover, entranamiento electrostático en periodos con altas temperaturas (Nador, Generar condiciones de confort térmico, lo que puede reducir costos de energía por verdes en los espacios urbanos se pueden mitigar los efectos del cambio climático y potencial solar de nuestro país, se puede contribuir a la recuperación de las áreas económicas, energéticas y estéticas, ya que el agua se puede aprovechar el socio- Los techos verdes pueden proporcionar beneficios medio-ambientales, socio-

geográficos pero del cual se desconocen los beneficios específicos para México. El presente trabajo de investigación pretende estudiar y analizar la aplicación de techos verdes en la vivienda económica, para proporcionar condiciones de confort térmico en espacios interiores, tanto que se ha producido en otras áreas

vegetación, conocidos como techos verdes o techos vivos. 1) Las destinadas a aumentar el estado de los techos, conocidos como techos reflectantes y 2) Las que proponen los techos porcelán o completamente cubiertos son aplicadas a las zonas para lograr condiciones de confort térmico en las ciudades. Santarun (2012), menciona que son dos las tecnologías más importantes

de calor e incluso la muerte. Causar enfermedades relacionadas con el calor, como cambios, agotamiento, golpe de calor e incluso la muerte. Luber y McGeehin (2008) la exposición prolongada a altas temperaturas puede solo el rendimiento físico, sino también la salud de los habitantes de la ciudad. Según planeta. Influye en el confort térmico y en periodos prolongados puede afectar el clima cálido-húmedo de México, cuando a los efectos del cambio climático del

característica de las viviendas económicas actuales de ser “pequeñas y poco confortables” limita el desarrollo integral de sus habitantes en los espacios interiores.

El techo verde es una estrategia de diseño que permite al arquitecto demostrar su preocupación por los problemas sociales, económicos y ambientales actuales, ya que el diseño bioclimático de la vivienda se deja de lado debido al creciente número de sistemas electromecánicos de enfriamiento disponibles en el mercado, capaces de brindar condiciones térmicas “ideales” pero cuyo uso operativo representa gastos por consumo de energía eléctrica.

### **3. Preguntas de investigación**

Las preguntas de investigación orientan y delimitan la investigación y se consideran como uno de los puntos de inicio del proceso metodológico. Las preguntas de investigación son las siguientes:

- 1) ¿Cuál es el efecto del flujo de calor de los techos verdes sobre el confort térmico de los habitantes de clima cálido-húmedo?
- 2) ¿Qué tipo de techo verde es el adecuado para regiones con clima cálido-húmedo?
- 3) ¿Cuál es el beneficio térmico de los techos verdes en contraste con otro material de aislamiento térmico?

### **4. Hipótesis**

El empleo de un sistema de techo verde en la vivienda económica de clima cálido húmedo aumenta los periodos de confort térmico en sus habitantes, en comparación con dos de los sistemas constructivos de techo más utilizados en la región.



## **5. Objetivos**

El objetivo general de la investigación es:

Determinar las ventajas térmicas de la aplicación del techo verde en la vivienda económica de Mérida, Yucatán para el aumento de los periodos de confort térmico, por medio de módulos de prueba.

Los objetivos específicos del trabajo de investigación son:

- 1) Determinar las estrategias de diseño ambiental para los edificios en clima cálido húmedo, por medio de un diagnóstico bioclimático.
- 2) Caracterizar el techo verde que se adecua a las condiciones climáticas de Mérida, Yucatán.
- 3) Analizar el desempeño térmico de los techos verdes en comparación con el poliestireno como aislante térmico.

## **6. Alcances y limitaciones**

Los alcances de la presente investigación incluirán el reconocimiento del contexto climático del caso de estudio, el diagnóstico bioclimático de la ciudad, el monitoreo de módulos de prueba para determinar si se logran condiciones de confort térmico con el uso de techos verdes y un análisis estadístico de resultados que permitirá la contrastación con otra estrategia de aislamiento térmico.

Tangencialmente se mencionarán aspectos como la disminución del consumo energético, las ventajas y desventajas del uso de techos verdes a escala urbana y del edificio; también se retomarán de manera superficial aspectos que ya han sido desarrollados, como la tipología de los techos verdes y la técnica aplicada para su construcción.

Los aspectos que no serán abordados en el estudio de los techos verdes son los análisis de costo-beneficio, las propiedades termo-fisiológicas de las plantas, las



propiedades químicas, biológicas y termo-fisiológicas de los componentes del sustrato (*Growing medium layer*), su capacidad para retener las aguas pluviales (*Stormwater runoff*) y las aportaciones estéticas que los techos verdes puedan generar en la ciudad.

Las limitaciones del este trabajo de investigación están relacionadas con el tiempo destinado a su realización y la capacidad económica para la construcción de módulos de prueba suficientes para lograr los objetivos planteados. Los instrumentos, el material y personal de apoyo representan también una restricción para realizar el presente estudio.

## **7. Metas**

El presente trabajo de investigación tiene las metas siguientes:

- 1) Realizar un diagnóstico bioclimático para las condiciones climáticas de la ciudad de Mérida, Yucatán.
- 2) El análisis térmico de la aplicación de un techo verde como estrategia de adecuación pasiva.
- 3) El estudio de tipo cuasi-experimental por medio del monitoreo de módulos de prueba.
- 4) El análisis estadístico comparativo de los resultados obtenidos con los módulos de prueba.
- 5) El desarrollo de un modelo estadístico para cálculo anual de temperaturas de bulbo seco en interiores.

Lo anterior permitirá analizar la aplicación de los techos verdes como estrategia de adecuación térmica en las viviendas económicas de la ciudad de Mérida, estudio que pueda incluso extrapolarse a otras regiones de clima cálido-húmedo donde la problemática sea similar.



## **8. Antecedentes**

La Arquitectura bioclimática de acuerdo con Fuentes (2009), es una rama de la climatología que se encarga del estudio de las relaciones entre los elementos climáticos y los seres vivos, así como del proceso de búsqueda del confort térmico del ser humano por medio del uso de los materiales de su entorno.

Olgay fue uno de los primeros arquitectos en reconocer y publicar en 1963 la relación de diversas disciplinas como la ecología, biología, química, entre otras, como partes importantes del estudio y práctica de la Arquitectura por lo que es considerado pionero de la Arquitectura bioclimática; Givoni identificó como el uso de diversas estrategias pasivas de ventilación y acondicionamiento térmico impactaban en el diseño de los edificios y en el confort térmico de sus usuarios.

Los sistemas pasivos son parte de la Arquitectura bioclimática, al darle a los edificios la capacidad de reducir o aumentar el flujo del calor sin utilizar energías convencionales (combustibles fósiles y electricidad), con el fin de crear ambientes interiores diferentes a los del exterior (Haro, 2009). El estudio y análisis de estrategias pasivas congruentes con el clima a través de dispositivos arquitectónicos que son parte de la envolvente (techos, pisos, muros) deben permitir el sombreado o el paso del sol, lo que sea necesario de acuerdo al lugar, la hora o las condiciones del contexto.

Varini (2011) menciona que la envolvente constituye el componente principal de los edificios para controlar los efectos del clima y por consecuencia los consumos energéticos. Al agregar e integrar sistemas pasivos a las envolventes, se puede también generar condiciones de confort al utilizar elementos que capten la luz natural, que aprovechen el viento y que retarden o aumenten el flujo del calor.

Uno de los sistemas de acondicionamiento ambiental que se aplica directamente sobre el edificio es el techo verde, utilizado tanto en regiones de clima frío como Islandia, Escandinavia, Alemania, Estados Unidos y Canadá así como en regiones

La Arquitectura bioclimática de acuerdo con Fuentes (2008) es una rama de la climatología que se encarga del estudio de las relaciones entre los elementos climáticos y los seres vivos así como del proceso de búsqueda del confort térmico del ser humano por medio del uso de los materiales de su entorno.

Giguy fue uno de los primeros arquitectos en reconocer y publicar en 1963 la relación de diversas disciplinas como la ecología, biología, química, entre otras, como partes importantes del estudio y práctica de la Arquitectura por lo que es considerado pionero de la Arquitectura bioclimática. Givoni desarrolló como el uso de diversas estrategias pasivas de ventilación y acondicionamiento térmico respecto en el diseño de los edificios y en el confort térmico de sus usuarios.

Los sistemas pasivos son parte de la Arquitectura bioclimática, al igual que los edificios, la capacidad de reducir o aumentar el flujo del calor sin utilizar energías convencionales (combustibles fósiles y eléctricos), con el fin de crear ambientes interiores diferentes a los del exterior (Hart, 2008). El estudio y análisis de estrategias pasivas congruentes con el clima a través de dispositivos arquitectónicos que son parte de la envolvente (techo, pared, muro) deben permitir el sombreado o el paso del sol, lo que sea necesario de acuerdo al lugar, la hora o las condiciones del contexto.

Vehri (2011) menciona que la envolvente constituye el componente principal de los edificios para controlar los efectos del clima y por consecuencia los consumos energéticos. Al integrar sistemas pasivos a las envolventes, se puede también generar condiciones de confort al utilizar elementos que captan la luz natural, que aprovechan el viento y que retienen o aumentan el flujo del calor.

Uno de los sistemas de acondicionamiento ambiental que se aplica directamente sobre el edificio es el techo verde, utilizado tanto en regiones de clima frío como Islandia, Escandinavia, Alemania, Estados Unidos y Canadá así como en regiones

de clima cálido como Tanzania (Figura 1) por sus beneficios que consistían en mantener en condiciones interiores cálidas en los periodos de frío y reducir las temperaturas en los periodos de calor (Minke, 2004).



Fuente: Minke (2004).

**Figura 1.** Techo con vegetación de pastos y hierbas silvestres. Urbanización ecológica en Kassel, Alemania.

A nivel internacional existen antecedentes de estudios de prototipos de techos verdes que mejoran el desempeño térmico del edificio y reducen el impacto ambiental. En países como China, el estudio del efecto de tres tipos de vegetación aplicadas en techos verdes demostró que una cubierta vegetal densa y continua tiene mayor efecto que el tipo de plantas utilizadas para la reducción de la ganancia de calor en los edificios (Jim, 2012).

En Bogotá, Colombia, Varini (2010) ha estudiado sistemas de “ecoenvolventes” arquitectónicas para clima tropical húmedo que contribuyen al equilibrio ambiental del planeta, al utilizar materiales como la madera, las plantas y la cerámica. Por otro lado, Ibáñez (s.f.) define los sistemas de cubiertas verdes extensivas así como sus ventajas a nivel económico, técnico, social y ambiental, lo anterior para incentivar su uso en la Arquitectura colombiana y su difusión como mecanismo utilizado a nivel global para dar solución a diversos problemas de la urbanización.



En la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se realizaron estudios sobre aplicaciones paisajísticas del *sedum* para el aligeramiento de sustratos sobre azoteas verdes, se menciona que la cubierta naturada es un espacio absolutamente artificial, cuyos elementos, todos son diseñados por el hombre, donde el principal objetivo es el desarrollo óptimo de la vegetación (Palomino & López, 2010).

Un modelo paramétrico para evaluar el desempeño térmico de una cubierta verde se diseñó en un estudio de vivienda de interés social en la zona sur de la ciudad de México, al respecto Ortega et al. (2010) mencionan que este modelo paramétrico será utilizado para validar un modelo matemático de predicción del desempeño térmico de una cubierta con vegetación, en busca de alternativas para mejorar el desempeño y confort térmico en las edificaciones.

En la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), la investigación sobre un sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez (techo domotej), demuestra por medio de la experimentación como un techo de concreto armado contribuye de manera significativa al calentamiento interior de la vivienda, pero cuando a este se la aplica como alternativa el denominado techo verde-domotej se contribuye considerablemente a las condiciones de confort térmico dentro del edificio.

En la UNACH, se ha estudiado también a la vegetación como estrategia proyectual bioclimática para la vivienda en clima cálido subhúmedo donde el caso de estudio es una vivienda experimental desarrollada en los terrenos de la universidad. Se diseñó un panel verde que demostró contribuir al desempeño térmico de la vivienda, por lo que puede ser considerado para su uso como una estrategia de diseño bioclimático, Solís y Castañeda (2010) concluyen en que el uso de la vegetación en la vivienda puede propiciar la creación de un hábitat natural y favorecer el contacto del hombre con la naturaleza, entre otros beneficios.

En la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), se han estudiado diferentes alternativas para mitigar el paso de calor radiante de las envolventes de los edificios; estudios de sombras como herramienta complementaria para encontrar áreas aptas



de aprovechamiento solar (Cruz & Ley, 2010) así como un estudio de la aplicación de los techos verdes en clima cálido seco extremoso (Sahagun, 2012).

### 8.1. Estado del Arte.

Los trabajos consultados para la realización del Estado del Arte son diversos, sin embargo, se mencionan aquellos que presentan características similares a las del caso de estudio o que aportan información relevante para lograr los objetivos de esta investigación.

Se recopilaron diversos trabajos relacionados específicamente con el tema de techos verdes. Se identificó el año, el autor o autores, la metodología y las aportaciones de cada trabajo de investigación. Para ordenarlos se estructuró la información consultada en tres apartados: 1) Desempeño y confort térmico, 2) Medio-ambiente y 3) Materiales de construcción.

El apartado de desempeño y confort térmico es esencial en la estructura del Estado del Arte, ya que permitirá reconocer los trabajos recientes de diversos autores sobre estrategias de adecuación térmica y además forma parte de la teoría que sustentará el presente trabajo de investigación (Tabla 1).

Tabla 1				
Desempeño y confort térmico.				
Trabajo de Investigación	País	Metodología	Aportaciones	Referencia
Reacción ante el calor de cuatro sistemas de cubiertas.	Brasil	Cuasi-experimental con Módulos de prueba	Se muestra el estudio de cuatro sistemas de cubierta tradicionalmente utilizados en Brasil: tejas cerámicas de arcilla, tejas de cemento-asbesto y dos opciones de acero galvanizado (con y sin aislamiento térmico de poliestireno de 0.15 m). Se comprobó que solo la utilización de la teja no es suficiente para garantizar el adecuado desempeño térmico de las edificaciones.	Vecchia, F. y Castañeda, G. (2006). <i>Ingeniería</i> , 17-23.
Evaluación del confort térmico del	México	Experimental	Se evaluó el confort térmico en la vivienda económica de Yucatán,	Pérez, M.M, Cruz, E. y



**Tabla 1**

*Desempeño y confort térmico.*

Trabajo de investigación	País	Metodología	Aportaciones	Referencia
usuario de vivienda económica en clima cálido húmedo.			por medio del monitoreo termico de parámetros climáticos y encuestas de percepción de sensación térmica a los usuarios. Se concluye que el diseño actual de la vivienda económica es inadecuado para el contexto climático en el que se edifica.	García, C. (2008). <i>Memorias de la 32 Semana nacional de energía solar</i> , Mérida, Yucatán.
Disminución de la temperatura en un cañón urbano debido a los muros y techos verdes en diversos climas.	Grecia, Arabia Saudita y Rusia	Simulación térmica	Se muestra el estudio de los techos verdes y los muros vivos en tres ciudades diferentes: Atenas, Moscú y Riyadh. Se concluyó que las dos estrategias disminuyen las temperaturas a escala urbana y funcionan mejor en climas cálidos.	Alexandri, E. y Jones, P. (2008). <i>Building and Environment</i> , 43, 480-493.
Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.	México	Cuasi-experimental	Se demostró que el "Domotej" es una propuesta de techo alternativo que mejora el desempeño térmico del techo de concreto armado utilizado convencionalmente en las viviendas construidas en Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas. Además al incluir la vegetación en este tipo de cubierta se comprueban los beneficios ambientales y térmicos de los techos verdes.	Castañeda-Nolasco, G. y Vecchia, F. (2007).
Los techos verdes no son iguales: El desempeño hidrológico y térmico de seis diferentes techos verdes de tipo extensivo, techos reflectantes y no reflectantes en un clima sub-tropical.	Estados Unidos	Experimental	Se construyeron 24 plataformas de diferentes tipos de techos: reflejantes, no reflejantes y 6 tipos de techos verdes extensivos (3 veces cada uno). Los techos verdes mostraron reducir la temperatura en espacios interiores especialmente en días cálidos.	Simmons, M., Gardiner, B., Windhager, S. y Tinsley, J. (2008). <i>Urban Ecosystems</i> , 11. 339-348.
Comportamiento de dos tipos de cubiertas vegetales, como dispositivo de climatización, para clima cálido subhúmedo.	México	Módulos de prueba	Como resultado del monitoreo y análisis de los datos obtenidos se concluye que con el uso de una cubierta vegetativa de <i>hierba de la Raya</i> o <i>Gaudenia</i> se puede reducir la temperatura entre 5 y 10 °C.	Haro, E.B. (2009). <i>Tesis no publicada para obtener el grado de Maestría en Arquitectura</i> , Universidad de Colima.
Modelado del proceso de difusión de calor en las capas	China	Experimental, con módulos	Se muestra el proceso de difusión del calor de cada una de las capas del techo verde. Se concluyó que	Jim, C.Y. y Tsang, S.W. (2011). <i>Energy</i>

Efectos de la temperatura en el crecimiento de las plantas

Temperatura (°C)	Alteza (cm)	Diámetro (cm)	Observaciones
10	15	1.5	Planta pequeña, crecimiento lento.
15	20	2.0	Crecimiento moderado.
20	25	2.5	Crecimiento normal.
25	30	3.0	Crecimiento rápido.
30	35	3.5	Crecimiento muy rápido.
35	40	4.0	Crecimiento excesivo, hojas amarillentas.
40	45	4.5	Crecimiento excesivo, hojas quemadas.
45	50	5.0	Crecimiento excesivo, planta marchita.

**Tabla 1****Desempeño y confort térmico.**

Trabajo de investigación	País	Metodología	Aportaciones	Referencia
abióticas de los techos verdes.			cada uno de los componentes abióticos del techo verde contribuye al desempeño térmico y la refrigeración de los edificios.	<i>and Buildings</i> , 43, 1341-1350.
La investigación del desempeño térmico de un techo verde en clima templado: Un estudio de caso en un edificio experimental en la ciudad de Florianópolis, Sur de Brasil.	Brasil	Cuasi-experimental, monitoreo térmico.	Se comprueba la factibilidad del uso del techo verde en un clima con altos niveles de humedad relativa. Durante el periodo cálido el techo verde reduce la ganancia de calor del 92% al 97% en comparación con techos metálicos o cerámicos.	Parizotto, S. y Lamberts, R. (2011). <i>Energy and Buildings</i> , 43, 1712-1722.
Acoplamiento dinámico de flujo de calor con las condiciones meteorológicas de un ecosistema techo verde.	China	Cuasi-experimental	Se utilizaron cuatro parcelas de 8 x 8 m, una de control y las otras tres con un tipo de vegetación diferente: arbustos, árboles perennes y pasto. Los resultados muestran que los componentes del flujo de calor de los ecosistemas de techos verdes expresan características peculiares de ciclo de vida.	Jim, C.Y. y Hongming H. (2010). <i>Ecological Engineering</i> , 36, 1052-1063.
Cuantificación experimental del calor y del proceso de transferencia de masa a través de muestras de techo con vegetación en una nueva configuración de laboratorio.	Estados Unidos	Experimental	El artículo presenta un aparato nuevo llamado "Cold Plate", diseñado para cuantificar la transferencia de calor. Se utilizó una muestra de techo verde dentro de una cámara climática. Se concluyó en que la evapotranspiración depende de la densidad de la hoja de las plantas o del índice de área de hoja (LAI, siglas en inglés), la radiación de onda corta y el contenido de agua del sustrato.	Tabares-Velasco, P.C. y Srebric, J. (2011). <i>International Journal of Heat and Mass Transfer</i> , 54, 5149-5162
Evaluación teórica del desempeño térmico y energético de los techos verdes tropicales.	China	Modelo teórico	El modelo teórico se comparó con el experimental, se demostró que el calor sensible en un techo sin vegetación es mayor. Un techo convencional almacena mayor cantidad de calor que un techo verde.	Tsang, S.W. y C.Y. Jim (2011). <i>Energy</i> , 36, 3590-3598.
Caracterización de los componentes de techos verdes: Las mediciones de las propiedades térmicas e hidrológicas.	Francia	Cuasi-experimental	La investigación abarca tres de las propiedades físicas de los techos verdes, su conductividad térmica, el almacenamiento de la humedad y las propiedades del sustrato. Este análisis es importante para entender el	Ouldboukhitine, S.E., Belarbi, R. y Djedjig, R. (2012). <i>Building and environment</i> , 56, 78-85.



**Tabla 1**

*Desempeño y confort térmico.*

Trabajo de investigación	País	Metodología	Aportaciones	Referencia
			comportamiento de los componentes del techo verde.	
Validación del modelo predictivo de transferencia de calor y de masa con datos de un techo verde extensivo.	Estados Unidos	Experimental	Se describe un modelo basado en datos de campo obtenidos de un techo verde instalado en un edificio en Chicago, Illinois. Se comparó la temperatura superficial del sustrato, el flujo de calor a través del techo y la radiación neta.	Tabares-Velasco, P. C., Zhao, M., Peterson, N., Srebric, J. y Berghage R. (2012). <i>Ecological Engineering</i> , 47, 165-173.
Enfriamiento de las ciudades - Una revisión de las tecnologías de mitigación de techos reflejantes y techos verdes para combatir la isla de calor y mejorar el confort en ambientes urbanos.	Grecia	---	Este artículo de investigación presenta el estado del arte de dos estrategias de mitigación del efecto isla de calor urbana, la primera destinada a aumentar el albedo de las ciudades y la segunda destinada a los techos verdes.	Santamouris, M. (2012). Artículo en prensa en <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003">http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003</a> .
Evaluación del desempeño de techos verdes para protección térmica de edificios en Reunion Island.	Francia	Experimental	El estudio tiene por objetivo evaluar el desempeño térmico y energético de un techo verde extensivo en un área del Océano Índico con clima tropical húmedo. Se concluye que el techo verde presenta una disminución significativa en las fluctuaciones de temperatura.	Morau D., Libelle y Garde (2012). <i>Energy Procedia</i> , 14, 1008-1016.
Techo verde como elemento reductor de transferencia de calor en clima cálido seco.	México	Cuasi experimental: Módulos de prueba	En este trabajo de investigación se demuestra que el techo verde es significativamente superior al techo con poliestireno en cuanto a la reducción de temperaturas, por lo cual es viable utilizar las cubiertas con vegetación en clima cálido seco extremo.	Sahagún, M.I. (2012). <i>Tesis no publicada para obtener el grado de Maestría en Arquitectura</i> , Universidad Autónoma de Baja California.
Probable costo-beneficio social para el análisis de los techos verdes: un enfoque de ciclo de vida.	Canadá	Análisis probabilístico cuasi-experimental y	Se analizó el valor neto actual (NPV, siglas en inglés) de dos tipos de techos verdes: extensivo e intensivo así como la factibilidad de un techo verde con capas de materiales reciclados.	Bianchini, F. y Hewage, K. (2012), en <i>Building and environment</i> , 58, 152-162.
Efecto de la humedad del sustrato en el	China	Cuasi-experimental	En primer lugar, tres tipos de clima (soleado, nublado y	Jim. C. Y. y Peng, L. (2012).



**Tabla 1**

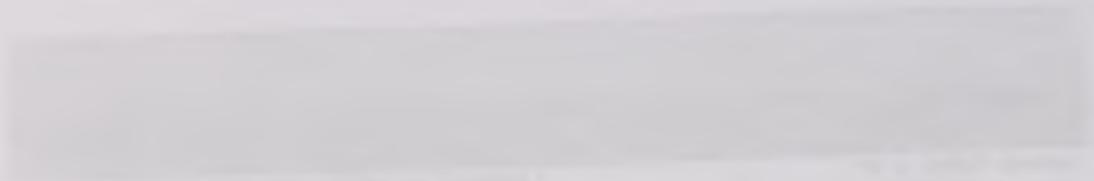
*Desempeño y confort térmico.*

Título de la investigación	Año	Metodología	Resultados	Referencia
balance hídrico y el régimen térmico de un techo verde tropical extenso.			lluvioso), en relación con tres sustratos con diferentes estados de humedad (mojado, húmedo y seco) generan nueve permutaciones para un análisis de escenarios. En segundo lugar, el análisis de correlación explora la relación entre la humedad del sustrato y los indicadores de rendimiento térmico.	<i>Ecological Engineering</i> , 47. 9-23.

Fuente: Elaboración propia.

Es pertinente resaltar algunos de los trabajos de investigación mencionados dentro de la tabla 1 por contener aspectos importantes que pueden servir de guía para el presente estudio. La investigación realizada por Castañeda-Nolasco y Vecchia (2007) relativo a un sistema de techo verde alternativo para la vivienda progresiva es uno de los pocos estudios desarrollados en la región sur de México; el de Alexandri y Jones (2006) referente al uso de techos y muros verdes muestra aspectos relevantes de monitoreo térmico; Jim y Tsang (2010) quienes han estudiado diversos elementos de los techos verdes y sus beneficios a diferentes escalas.

La tabla 2 de medio-ambiente aborda diversos trabajos sobre los beneficios de la aplicación de techos verdes a escala ambiental, característica que hace de esta estrategia una opción de aislamiento y retraso térmico diferente a las que usualmente se utilizan en la vivienda económica actual. Sin embargo, es importante mencionar que ningún sistema retardante de calor protege completamente una edificación sin otro sistema que lo complementa (Sahagun, 2010).



[Faint, illegible text, possibly a header or address block, including what appears to be a date and recipient information.]

[A paragraph of very faint, illegible text, likely the beginning of a letter or report.]

[A second paragraph of very faint, illegible text, continuing the letter or report.]

**Tabla 2**

*Medio-ambiente.*

Trabajo de investigación	País	Metodología	Aportaciones	Referencia
Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones.	México	---	Análisis y estudio de los beneficios de sistemas de naturación.	García, I. (2010). Artículo en extenso de la Semana Nacional de Energía Solar.
Potencial bioclimático de la vegetación nativa de México aplicada en envolventes arquitectónicas como dispositivo de control térmico.	México	Módulos de prueba	Se realiza una revisión de las especies vegetales adecuadas para la aplicación en azotea a un espacio hipotético de 27 m <sup>3</sup> . Se llevó a cabo la estimación de la radiación solar incidente, la ganancia térmica por radiación y conducción sobre la losa utilizando la hoja de cálculo de Balance térmico desarrollada por el Dr. Fuentes Freixanet.	Tovar et al. (2010). Artículo en extenso de la Semana Nacional de Energía Solar.
Una paleta vegetal para cubiertas verdes en clima templado subhúmedo.	México	Módulos de prueba	Se determinó una paleta vegetal idónea para utilizar en la naturación de azoteas de en zonas de clima templado subhúmedo.	López, R., Canseco, M.A., Morales, J. D. y Ortega, A. R. (2010). Artículo en extenso de la Semana Nacional de Energía Solar.
Evaluación del confort térmico de un techo verde en la Facultad de Arquitectura y Arquitectura del Paisaje en Tucson, Arizona.	Estados Unidos	Módulos de prueba	A través de módulos de prueba se comprueban los beneficios de un techo con vegetación en clima cálido-seco, especialmente contrarresta el efecto isla de calor y mejora la eficiencia energética.	Patil, U. y Chalfoun, N. (s.f.), Universidad de Tucson, Arizona.
Investigar y analizar el comportamiento energético y medioambiental de un sistema de techo verde experimental instalado en un edificio de guardería en Atenas, Grecia.	Grecia	Cuasi-experimental	La investigación se llevó a cabo en <b>dos fases</b> . La <b>primera</b> de tipo experimental y la <b>segunda</b> con una aproximación matemática. Se calculó el enfriamiento y la <b>carga de calor en verano e invierno</b> . La evaluación del rendimiento de energía mostró <b>una</b> reducción significativa de la refrigeración del edificio durante el verano y de la calefacción <b>durante el invierno</b> .	Santamouris, M. et al. (2007). En Energy 32, 1781-1788.
Los efectos positivos de la vegetación: isla de calor urbano y techos verdes.	Estados Unidos	Monitoreo en dos escalas: Escala urbana y micro-escala.	Se analizan los beneficios de un techo verde y un techo blanco en contraste con un techo negro, a escala urbana y escala	Susca, T., Gaffin, R. y Dell'Osso, G.R. (2011), en

[Illegible Title]

<p>Investigación en el campo de la energía solar y la utilización de plantas para la producción de energía.</p>	<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>
<p>El presente trabajo tiene como objetivo determinar la viabilidad de la utilización de plantas para la producción de energía solar.</p>	<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>
<p>El presente trabajo tiene como objetivo determinar la viabilidad de la utilización de plantas para la producción de energía solar.</p>	<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>
<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>
<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>
<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>	<p>[Illegible text]</p>

Tabla 2				
Medio-ambiente.				
Trabajo de investigación	País	Metodología	Aportaciones	Referencia
			del edificio. Los resultados muestran que la conversión de techos negros a techos blancos o techos verdes puede tener efectos positivos en el uso de energía por enfriamiento.	<i>Environmental Pollution</i> , 159, 2119-2126.
Detección remota de los efectos de enfriamiento de los esfuerzos a escala para reducir la isla de calor urbano.	Estados Unidos	Correlación	Se utilizaron cinco imágenes LANDSAT para identificar espacios adecuados para aplicar vegetación en la ciudad de Chicago, Illinois. Los techos reflejantes demostraron mayores efectos de enfriamiento con menores cantidades de inversión, a diferencia de los techos verdes.	Mackey et al. (2012). <i>Building and environment</i> , 49. 348-358.
Hacia una estrategia sostenible verde para los barrios sociales en América Latina: Caso de vivienda de interés social en Mérida, Yucatán, México.	México	Cuasi-experimental	Se utilizan viviendas de interés social para el estudio de la emisión de gases de efecto invernadero, la aplicación de eco-tecnologías y espacios verdes. Se estudió un techo verde de tipo extensivo con plantaciones de tomate. Las estrategias combinadas demostraron una reducción de emisiones de CO <sup>2</sup> de hasta una tonelada por año.	Cerón-Palma, I. et al. (2013). <i>Habitat International</i> , 38, 47-56.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2 es importante resaltar el trabajo de Susca et al. (2010) que muestra los efectos positivos de la vegetación para contrarrestar el efecto isla de calor urbano; García (2010) que presenta diversos beneficios relacionados con el uso de azoteas verdes, desde varios enfoques: ambiental, urbano, social, económico y estético y la investigación de Cerón-Palma (2013) referente a la aplicación de un techo verde en la vivienda de interés social en Mérida, Yucatán que representa uno de los estudios más recientes de espacios verdes en clima cálido-húmedo, sin embargo esta investigación se enfoca en el análisis de ciclo de vida y ahorro energético.

En lo que respecta a los componentes del techo verde, este apartado se añade como complemento del conocimiento de diferentes investigaciones sobre los elementos de



Autor	Título	Año
García (2016)	Efectos de la vegetación para contrarrestar el efecto isla de calor urbano: revisión de literatura y análisis de caso en México	2016
García (2017)	Efectos de la vegetación para contrarrestar el efecto isla de calor urbano: revisión de literatura y análisis de caso en México	2017

En el presente trabajo se realizó el trabajo de búsqueda en el (2016) para mostrar los efectos positivos de la vegetación para contrarrestar el efecto isla de calor urbano. García (2016) que presenta diversos beneficios relacionados con el uso de espacios verdes, desde valores ambientales, económicos y estéticos y la investigación de García-Palma (2013) referente a la aplicación de un techo verde en la vivienda de interés social en México. Yucatan que representa uno de los estados más recientes de espacios verdes en clima árido, donde, sin embargo, esta investigación se enfoca en el análisis de ciclo de vida y ahorro energético.

En lo que respecta a los componentes del techo verde, este apartado se enfoca como complemento del conocimiento de diferentes investigaciones sobre los elementos de

la estructura del techo verde, debido a la preocupación reciente de que todas las construcciones sean económicas, prácticas, sustentables y amigables con su entorno (Tabla 3).

Tabla 3 Componentes del techo verde.				
Trabajo de investigación	País	Metodología	Aportaciones	Referencia
Aplicaciones paisajísticas del <i>sedum</i> para el aligeramiento de sustratos sobre azoteas verdes.	México	Cuasi-experimental	La conclusión a la que se llega con este trabajo de investigación es que el menor peso que mantiene el desarrollo óptimo del <i>sedum</i> es seis centímetros de profundidad.	Palomino y López (2010). Producto de la Semana Nacional de Energía Solar.
Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo material constructivo.	España	Cuasi-experimental	Se demostró que la opción óptima es la cubierta ecológica con aljibe de 0.08 m, aislada que produce una reducción del 70% del consumo con respecto a una cubierta invertida. Por lo que la cubierta vegetal, construida con esta tecnología, se convierte en un nuevo material de construcción capaz de aportar grandes ventajas medio-ambientales.	Neila, F.J., Bedoya, C., Acha, C., Olivieri, F. y Barbero, M. (2008). En <i>Informes de la Construcción</i> , 60, 511, 15-24.
Un conjunto actualizado y ampliado de datos de las propiedades térmicas de los medios de crecimiento de techos verdes.	Estados Unidos	Experimental, pruebas de laboratorio.	Este trabajo es útil para determinar la conductividad térmica del sustrato con un contenido de humedad. Se utilizó un método de medición de propiedades térmicas basado en IEEE 442-1981 Y ASTM D5334-05. Para la prueba de capacidad de retención de humedad se utilizó ASTM D2216-05.	Sailor, D.J. y M. Hagos (2011). <i>Energy and buildings</i> , 43, 2298-2303.
¿Qué tan "verde" son los techos verdes? Análisis del ciclo de vida de los materiales de techos verdes.	Canadá	---	Los resultados demuestran que hay más ventajas que desventajas para el uso de techos verdes, incluso cuando estos utilicen polímeros, aunque es esencial la búsqueda de materiales de rehúso que puedan ser utilizados en su construcción.	Bianchini, F. y Hewage, K. (2012), en <i>Building and environment</i> , 48, 57-65.
El uso del caucho en polvo como capa de drenaje en techos verdes experimentales.	España	Cuasi-experimental	Se reconocen las propiedades del caucho como capa drenante en techos verdes extensivos. Se demostró que es una opción sustentable que supone una nueva aplicación para este material.	Cabeza, L. F., Vila, A., Pérez, G., Solé, C., y Fernández, A.I. (2012). En <i>Building and Environment</i> , 48, 101-106.

Fuente: Elaboración propia.

La estructura del "verde" debido a la producción reciente de que todas las...

<p>El desarrollo de que se debe dar...                  (Text describing development goals and objectives)</p>	<p>Objetivo                  (Objective)</p>	<p>Medio                  (Medium)</p>	<p>Acción                  (Action)</p>
<p>El desarrollo que se debe dar...                  (Text describing development goals and objectives)</p>	<p>Objetivo                  (Objective)</p>	<p>Medio                  (Medium)</p>	<p>Acción                  (Action)</p>
<p>El desarrollo que se debe dar...                  (Text describing development goals and objectives)</p>	<p>Objetivo                  (Objective)</p>	<p>Medio                  (Medium)</p>	<p>Acción                  (Action)</p>
<p>El desarrollo que se debe dar...                  (Text describing development goals and objectives)</p>	<p>Objetivo                  (Objective)</p>	<p>Medio                  (Medium)</p>	<p>Acción                  (Action)</p>
<p>El desarrollo que se debe dar...                  (Text describing development goals and objectives)</p>	<p>Objetivo                  (Objective)</p>	<p>Medio                  (Medium)</p>	<p>Acción                  (Action)</p>

La tabla 3 hace referencia a estudios en su mayoría de tipo experimental, enfocados a los materiales abióticos y bióticos de un techo verde. El trabajo de investigación de Bianchini y Hewage (2011) considera la existencia de más ventajas que desventajas para el uso de techos verdes, incluso cuando estos utilicen polímeros en la mayoría de sus capas; Vila et al. (2011) investigaron la opción del caucho reciclado como capa drenante del techo verde, lo cual involucró el estudio de sus propiedades que contribuyen a la sustentabilidad de los sistemas *green roofs* (techos verdes).

Los trabajos mencionados anteriormente demuestran también que el uso de modelos en este tipo de investigaciones es frecuente antes de hacer pruebas en escala 1:1, ya que permiten simular diversas condiciones en diferentes contextos a un menor costo.

En la búsqueda de diferentes trabajos que conformaron el Estado del Arte se encontraron también investigaciones recientes relacionadas con el costo-beneficio de los techos verdes, su aplicación a nivel urbano como jardines en terrazas o huertos urbanos y las ventajas de los sustratos para retener las aguas pluviales. Aspectos de importancia pero que no representan la finalidad del presente trabajo de investigación, por lo que no se incluyeron en la estructura del estado de la cuestión.

El análisis del Estado del Arte de los techos verdes puede remontarse a estudios antiguos sobre el uso de la vegetación en la Arquitectura, sin embargo, esto ya ha sido abordado en los trabajos de Lacomba (1991), Olgyay (1998), Givoni (1997), Ochoa (1999), Simancas (2003), Minke (2004), Haro (2009), por mencionar algunos.

... los métodos de análisis y biología de las plantas verdes (2) así como de investigaciones  
... y métodos (3) ...  
... (4) ...  
... (5) ...  
... (6) ...  
... (7) ...  
... (8) ...  
... (9) ...  
... (10) ...  
... (11) ...  
... (12) ...  
... (13) ...  
... (14) ...  
... (15) ...  
... (16) ...  
... (17) ...  
... (18) ...  
... (19) ...  
... (20) ...  
... (21) ...  
... (22) ...  
... (23) ...  
... (24) ...  
... (25) ...  
... (26) ...  
... (27) ...  
... (28) ...  
... (29) ...  
... (30) ...  
... (31) ...  
... (32) ...  
... (33) ...  
... (34) ...  
... (35) ...  
... (36) ...  
... (37) ...  
... (38) ...  
... (39) ...  
... (40) ...  
... (41) ...  
... (42) ...  
... (43) ...  
... (44) ...  
... (45) ...  
... (46) ...  
... (47) ...  
... (48) ...  
... (49) ...  
... (50) ...  
... (51) ...  
... (52) ...  
... (53) ...  
... (54) ...  
... (55) ...  
... (56) ...  
... (57) ...  
... (58) ...  
... (59) ...  
... (60) ...  
... (61) ...  
... (62) ...  
... (63) ...  
... (64) ...  
... (65) ...  
... (66) ...  
... (67) ...  
... (68) ...  
... (69) ...  
... (70) ...  
... (71) ...  
... (72) ...  
... (73) ...  
... (74) ...  
... (75) ...  
... (76) ...  
... (77) ...  
... (78) ...  
... (79) ...  
... (80) ...  
... (81) ...  
... (82) ...  
... (83) ...  
... (84) ...  
... (85) ...  
... (86) ...  
... (87) ...  
... (88) ...  
... (89) ...  
... (90) ...  
... (91) ...  
... (92) ...  
... (93) ...  
... (94) ...  
... (95) ...  
... (96) ...  
... (97) ...  
... (98) ...  
... (99) ...  
... (100) ...

En la búsqueda de técnicas de análisis que permitan el estudio de las  
... también investigaciones de las plantas verdes con el costo mínimo de  
... su aplicación a las plantas como plantas en plantas a plantas  
... y las plantas de las plantas para tener las plantas verdes. Además de  
... pero que no representan la realidad del sistema debido a  
... investigador, por lo que no se recomienda la estructura del sistema de  
... El análisis del Estado del Arte de las plantas verdes puede permitir a  
... algunos sobre el uso de la vegetación en la agricultura, en especial, así  
... esto abordado en los trabajos de Lacombe (1981), Ogilvy (1995), Guan (1997),  
... Ochoa (1999), Simóns (2005), Méndez (2004), Haro (2009) por mencionar algunos.

## 8.2. Casos análogos.

La estructura de los casos análogos, identifica en cuatro proyectos las características siguientes: nombre del proyecto, localización, diseño, funcionalidad y aportaciones. Se distinguen por tener algunas similitudes con el caso de estudio y aunque no todos se realizaron en regiones con clima cálido-húmedo representan parámetros para el presente trabajo de investigación.

### 1) Nombre del proyecto: *Sky garden house*.

*Sky Garden* o jardín del cielo es una casa ubicada en Sentosa Island, Singapur en un terreno de 852 m<sup>2</sup> su nombre se debe a sus cubiertas verdes. El arquitecto encargado del diseño fue Guz Wilkinson, de origen australiano, cuya oficina proyecta con principios bioclimáticos y sustentables.

El diseño se centra en garantizar la vista hacia el exterior, por lo cual se construyeron jardines sobre las terrazas de cada uno de los cuatro niveles de la casa. Cada terraza-jardín funciona como base para el piso superior siguiente, lo que crea la sensación de que cada piso da directamente al jardín principal de la casa, cuando en realidad se trata de una cubierta verde, que al funcionar como terraza se fusiona visualmente con el verde del jardín exterior (Figura 2).



Fuente: [www.seattle.gov](http://www.seattle.gov)

**Figura 2.** Vista exterior de la *Sky garden house*.

La estructura de los casos análogos, también en cuanto a los niveles de análisis, sigue el mismo patrón que el de los casos de estudio, aunque no todas las etapas de análisis se realizan en todos los casos. En particular, se realiza un análisis de los casos de estudio en función de los niveles de análisis con el fin de determinar los niveles de análisis que se realizarán en los casos de estudio.

1) Nombre del proyecto: Sky Garden House.

Sky Garden o Jardín del cielo es un edificio residencial en Londres, Inglaterra, diseñado por el arquitecto británico Norman Foster. El edificio se encuentra en el número 20 de la calle Grosvenor Gardens, en el distrito de Mayfair, Londres. El edificio fue diseñado por el arquitecto británico Norman Foster, cuyo firma proyecta con otros arquitectos y especialistas.

El diseño se centra en garantizar la ventilación natural, por lo que se construyeron jardines sobre las terrazas de cada uno de los cuatro niveles de la casa. Cada terraza-jardín funciona como base para el piso superior siguiente, lo que crea una sensación de que cada piso se eleva directamente al jardín principal de la casa, cuando en realidad se trata de una cubierta verde, que al funcionar como terraza se fusiona visualmente con el verde del jardín exterior (Figura 2).



Figura 2. Vista exterior de Sky Garden House.

El diseño de las cubiertas verdes ayuda a absorber la radiación solar y a mitigar el flujo de temperatura ambiente exterior, crea sombras y enfría naturalmente la casa en un clima cálido-húmedo, lo que significa también una forma de reducir el uso del aire acondicionado en el interior y un ahorro en el consumo energético (Figura 3).



Fuente: [www.arq.com.mx](http://www.arq.com.mx)

**Figura 3.** Vista exterior del diseño y función de cubiertas verdes en la Sky garden house.

2) *Nombre del proyecto: Diseño del modelo paramétrico para evaluar el desempeño térmico de una cubierta verde. Caso de estudio: vivienda de interés social en la zona sur de la ciudad de México.*

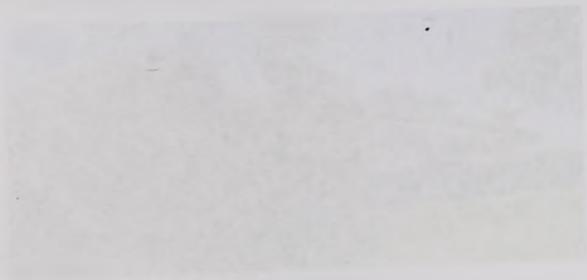
Trabajo de investigación realizado en un edificio de la Delegación Xochimilco al sureste de la Ciudad de México (Figura 4); el objetivo fue medir físicamente el desempeño térmico del techo verde y determinar el rango de confort térmico obtenido en una vivienda de interés social.



Fuente: Ortega et al. (2010).

**Figura 4.** Izquierda: ubicación de la vivienda de interés social. Derecha: vista de la fachada norte.

El estudio de la morfología de las células y su relación con el tipo de tejido que forman es fundamental para comprender el funcionamiento de los órganos y sistemas. En este sentido, el estudio de la histología es esencial para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades.



El estudio de la morfología de las células y su relación con el tipo de tejido que forman es fundamental para comprender el funcionamiento de los órganos y sistemas. En este sentido, el estudio de la histología es esencial para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades.

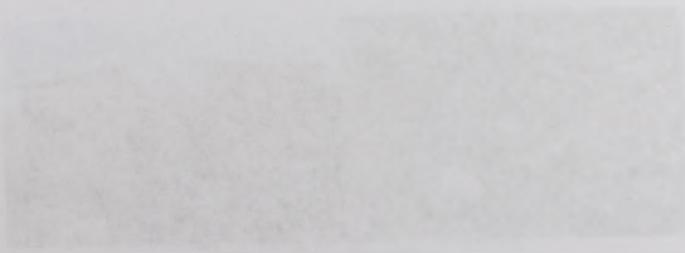
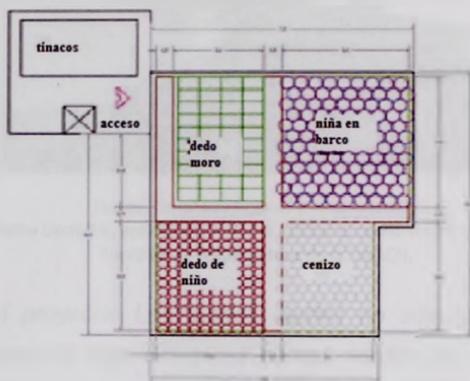


Figura 4. Diferencia morfológica entre las células de los tejidos conectivos y epiteliales.

El correcto comportamiento estático y estructural de la construcción se garantizó a través de la inspección de un DRO (Director Responsable de Obra), se utilizó un techo verde de tipo extensivo en una losa inclinada y limitado por un pretil.

En el diseño del modelo se consideraron: los parámetros ambientales que impactan tanto a la construcción como a la vegetación que se colocó, la selección de las especies responde a los espacios del interior y con estructuras diferentes tanto en su tamaño como en el color (Figura 5), todos los elementos inertes fueron previamente analizados y seleccionados a partir de resultados en laboratorio y finalmente la instalación del techo verde responde a la Normatividad vigente en el Distrito Federal (NADF-013-RNAT-2007).



Fuente: Ortega et al. (2010).

Figura 5. Distribución de las especies de plantas.

3) *Nombre del proyecto: Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.*

Estudio realizado por Castañeda-Nolasco y Vecchia (2007), se refiere a una propuesta de un techo alternativo que mejora el desempeño térmico del techo de concreto armado utilizado convencionalmente en las viviendas construidas en Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas. El diseño de las placas del techo alternativo llamado Domotej fue de tipo modular con el fin de que pueda reproducirse con facilidad y su ensamblaje



sea sencillo. Sin embargo, debido a la ventaja térmica mínima lograda con la propuesta inicial, se le colocó una capa de pasto, lo que amplió dicha ventaja sobre el techo a mejorar.

La contribución de carga térmica de un sistema de techo *Domotej* a la temperatura interior de la vivienda en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, es menor que la que ofrece el techo de concreto armado, debido a los materiales que lo conforman y al volumen de los mismos. El techo verde *Domotej* comprobó ser una opción apropiada para el clima del contexto estudiado (Cálido-subhúmedo), que redujo el flujo de calor por el techo y mejoró su desempeño, así como las condiciones de confort térmico en la vivienda.



Fuente: Castañeda-Nolasco y Vecchia (2007).

Figura 6. Sistema de techo Domotej, antes y después de aplicar el techo verde, construido en terrenos de la Facultad de Arquitectura de la UNACH.

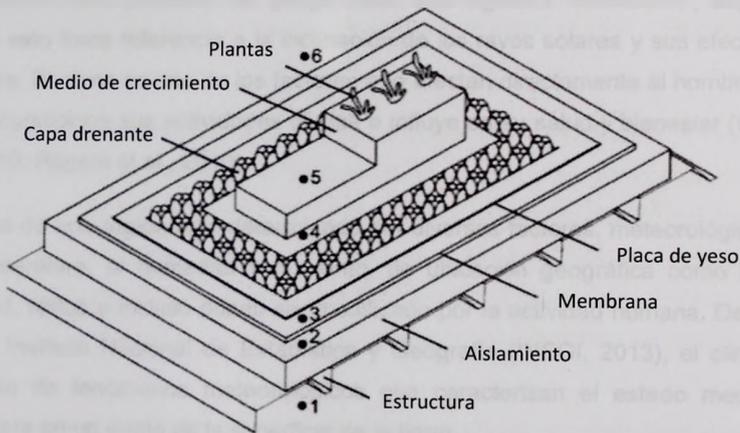
4) *Nombre del proyecto: Los techos verdes no son iguales: El desempeño hidrológico y térmico de seis diferentes techos verdes de tipo extensivo, techos reflectantes y no reflectantes en un clima sub-tropical.*

Proyecto de investigación realizado en la ciudad de Austin, Texas. El diseño de tipo experimental incluye 24 plataformas con cuatro tipos de techos: techos negros, techos reflejantes, techos no reflejantes (cada uno reproducido tres veces) y seis diseños de techos verdes extensivos. La composición del techo verde incluye una membrana anti-raíz, capa drenante y sustrato de 0.10 m. En estas plataformas se colocaron sensores de temperatura y de flujo de agua de lluvia (Figura 7).



Las aportaciones realizadas en este trabajo de investigación, se basan principalmente en demostrar la modificación de los niveles de temperatura en espacios interiores durante los días cálidos, mediante el uso de techos verdes y techos reflejantes. Los techos verdes probados mostraron captar altas cantidades de agua y tener temperaturas bajas en comparación con los techos convencionales sin ninguna estrategia.

Un aspecto interesante del proyecto, es que presenta diferentes tipos de vegetación para techos verdes de tipo extensivo y una estrategia de colocación de sensores similar a la que se quiere proyectar en el presente trabajo de investigación, con la excepción del monitoreo de la variable de flujo de agua de lluvia.



Fuente: Simmons et al. (2008)

**Figura 7.** Vista 3-D de los componentes estructurales de las plataformas experimentales de techo verde. Los círculos representan la localización de los termopares.

Las aplicaciones realizadas en este trabajo de investigación de campo consistieron en la modificación de los niveles de temperatura en espacios cerrados durante los días cálidos mediante el uso de techos verdes y techos reflectantes. Los techos verdes mostraron captar agua y reducir la temperatura, pero en comparación con los techos convencionales sin agua y sin temperatura, ninguna estrategia.

Un aspecto interesante del proyecto es que presenta un sistema de vegetación para techos verdes de tipo extensivo y un sistema de colocación de sensores para la que se quiere proyectar en el presente trabajo de investigación, con la excepción del monitoreo de la variable de flujo de agua de lluvia.

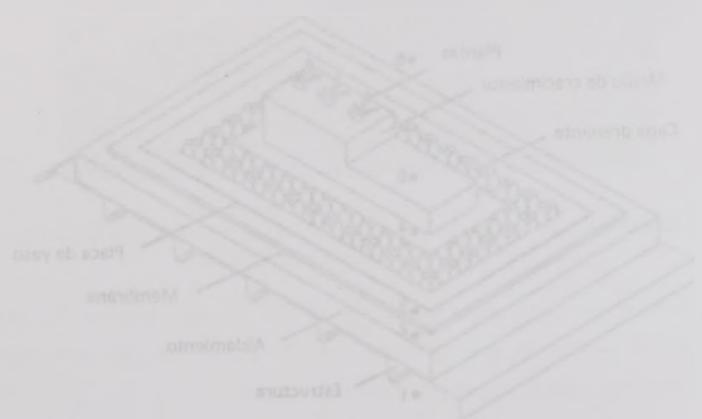


Figura 3. Vista 3-D de los componentes de un sistema de techos verdes. Fuente: Jansen et al. (2008). El diagrama muestra la estructura de un sistema de techos verdes, con las etiquetas: Estructura, Aislamiento, Membrana, Placa de yeso, Caja drenante, Nivel de crecimiento y Fijación.

## II. MARCO TEÓRICO

Este capítulo se dividió en cinco apartados: 1) Clima, 2) Vivienda, 3) Techos verdes, 4) Confort térmico y 5) Normatividad. El apartado uno muestra aspectos fundamentales para definir el contexto climático de estudio, los apartados dos, tres y cuatro incluyen la descripción teórica de las unidades de análisis del problema planteado, mientras que el apartado cinco incluye la revisión bibliográfica realizada de un conjunto de criterios establecidos, para lograr el desarrollo del presente trabajo de investigación.

### 1. Clima

La palabra clima proviene del griego *klima* que significa “inclinación”, según Neila (2004) esto hace referencia a la inclinación de los rayos solares y sus efectos sobre la Tierra. El clima es uno de los factores que afectan directamente al hombre, debido a que condiciona sus actividades diarias e influye en su salud y bienestar (Connor et al., 2010; Rogers et al., 2010).

El clima de una región está determinado por diversos factores, meteorológicos como la temperatura, la humedad y el viento, de ubicación geográfica como la latitud, longitud, altitud e incluso puede ser modificado por la actividad humana. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2013), el clima es un conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie de la tierra.

Según el Atlas de procesos territoriales de Yucatán, “El ‘clima’ es el estado promedio de la atmósfera de las capas de aire más cercanas a la superficie de la tierra y varía de un lugar a otro” (Universidad Autónoma de Yucatán, 1999, p.167). El clima se caracteriza por tener una variabilidad a largo plazo. Valores de temperatura, humedad, presión atmosférica, vientos y precipitaciones se obtienen a partir de la recopilación de datos en periodos de 30 años o más para comprender la dinámica del clima regional.

## 2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo se dividió en cinco secciones: 1) Clima, 2) Variables, 3) Tipos de variables, 4) Conceptos básicos y 5) Metodología. El apartado 1) trata sobre los fundamentos de la climatología, el clima y el tiempo. El apartado 2) trata sobre los fundamentos de la climatología, el clima y el tiempo. El apartado 3) trata sobre los fundamentos de la climatología, el clima y el tiempo. El apartado 4) trata sobre los fundamentos de la climatología, el clima y el tiempo. El apartado 5) trata sobre los fundamentos de la climatología, el clima y el tiempo.

### 1. Clima

La palabra "clima" proviene del griego *klima* que significa "inclinación", según Hela (2004) esta hace referencia a la inclinación de los rayos solares y sus efectos sobre la Tierra. El clima es uno de los factores que afectan directamente al hombre, debido a que condiciona sus actividades (Hela y Rodríguez, 2010; Connor et al., 2010; Rogers et al., 2010).

El clima de una región está determinado por diversos factores, como la temperatura, la humedad, el viento, la latitud geográfica como el tiempo, la altitud e incluso puede ser modificado por la actividad humana. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2013), el clima es un conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie de la tierra.

Según el Atlas de procesos limnológicos de Yucatán, "El clima es el estado promedio de las condiciones de las capas de aire más cercanas a la superficie de la tierra y varía de un lugar a otro" (Universidad Autónoma de Yucatán, 1998, p. 107). El clima se caracteriza por tener una variabilidad a largo plazo. Valores de temperatura, humedad, presión atmosférica, viento y precipitaciones se obtienen a partir de la recopilación de datos en períodos de 30 años o más para comprender la dinámica del clima regional.

El tiempo meteorológico, a diferencia del clima, es el estado instantáneo de la atmósfera y varía de un momento a otro, sirve para pronosticar las condiciones atmosféricas próximas en intervalos de tiempo cortos (Observatorio de cambio climático de Yucatán, 2013).

En México, la descripción de las características del clima se sintetiza en forma de letras o siglas. A partir de 1964 se utiliza la clasificación global de Köppen modificada por García (1981) con criterios adicionales como a) utilización de la temperatura media como primer parámetro para la división de grupos, b) se considera el índice de Lang o P/T (precipitación total anual entre temperatura media anual), c) porcentaje de lluvia invernal para definir los regímenes de lluvia, d) Se introducen límites para las condiciones de temperatura de los climas semiáridos y áridos, e) se revaloran los límites de oscilación de la temperatura (diferencia entre el mes más cálido y más frío).

De acuerdo con la clasificación climática de García (1981) en México predominan los climas A (cálido), B (seco) y C (templado), el E (frío) solo en algunas partes con mayor altitud. Para los climas A, C y E se agregan letras minúsculas que representan la temporada de lluvias, f (lluvias durante todo el año), m (lluvia monzónica, intensa en verano y otoño), w (lluvias en verano), x (lluvias escasas todo el año) y s (lluvias en invierno). Los grupos, subgrupos, tipos y subtipos climáticos se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 Clasificación climática, de acuerdo con Köppen-García.					
Grupo climático	Subgrupo climático		Tipo	Subtipo	Variante
A Cálido húmedo y subhúmedo Temperatura del mes más frío > 18°C	A	Cálido Temperatura media anual >22°C Temperatura del mes más frío >18°C	f f(m) m(f) m m(w)	w <sub>2</sub> (x'); w <sub>3</sub> (x'); w <sub>0</sub> (x')	w <sup>a</sup> presencia de canícula
	A(C)	Semicálido del grupo A Temperatura media anual entre 18°C y 22°C Temperatura del mes más frío >18°C	w(x') w w(w) x' x'(w)		
B Templado húmedo y	A(C)	Semicálido del grupo C	m (m)(w)		i isotermal

El tiempo meteorológico a lo largo del día es el estado climático de la zona y se divide en un momento o otro, para considerar las condiciones climáticas en los meses de verano como (Carrión de Yucatán, 2013).

En función de la división de los climas en los meses de verano se modificó el índice de aridez de los meses de verano, para introducir modificaciones por García (1981) con orden ascendente como a) reducción de la humedad, b) aumento del número de días de lluvia, c) se considera el índice de aridez (I) para la división de los meses de verano, d) se introducen límites para las condiciones de temperatura de los meses de verano y otros, e) se introducen límites de oscilación de la temperatura (diferencia entre el mes más cálido y más frío).

De acuerdo con la clasificación climática de García (1981) en México predominan los climas B (cálido), B (seco) y C (templado), el E (lío) solo en algunas partes con mayor altura. Para los climas A, C y E se agregan letras minúsculas que representan a: temporadas de lluvias, l (lluvia durante todo el año), m (lluvia pronunciada durante el verano y otoño), w (lluvia en verano), x (lluvia escasa todo el año) y z (lluvia en invierno). Los grupos subgrupos y subtipos climáticos se presentan en la

Tabla 4.

Clima	Subgrupo	Subtipo	Clima	
			Temperatura	Humedad
A	A	A	...	...
			...	...
B	B	B	...	...
			...	...
C	C	C	...	...
			...	...
E	E	E	...	...
			...	...

Tabla 4

Clasificación climática, de acuerdo con Köppen-García.

Subtipo climático	Subgrupo climático	Tipo	Subtipo	Variables	
subhúmedo	C	Templado	$\{w\}\{x'\}$ $\{w\}$ $\{w\}\{w\}$ $x'$	$\{w_2\}\{x'\}; \{w_1\}\{x'\};$ $\{w_0\}\{x'\}$ $\{w_2\}; \{w_1\}; \{w_0\}$ $\{w_2\}\{w\}; \{w_1\}\{w\};$	$\{f'\}$ con poca oscilación
	Cb'	Semifríos	$\{x'\}\{w\}$	$\{w_0\}\{w\}$	$\{e\}$ extremoso
	Cc		$s\{x'\}$ $s$	$\{x'\}\{w_2\}; \{x'\}\{w_1\};$ $\{x'\}\{w_0\}$	
C Seco	B (h')	Cálidos	$x'$	S <sub>1</sub> Semiseco	$\{e'\}$ muy extremoso
	B (h')		$x'\{w\}$		
	h	S <sub>2</sub> Seco	$w\{x'\}$ $w$	W Muy seco	
	Bh' (h)				
	Bh				
	Bk				
Bk'	Templados	$w\{w\}$ $s\{x'\}$	g temperatura tipo ganges		
Bk''	Semifríos	$s$			
E Frío	E(T)HC	Fríos Temperatura media anual entre -2°C y 5°C	$\{w\}$ $w\{w\}$	$\{w_2\}; \{w_1\}; \{w_0\}$ $\{w_2\}\{w\}; \{w_1\}\{w\};$ $w_0\}\{w\}$	
	EFH	Muy fríos Temperatura media anual < -2°C	$w\{x'\}$	$\{w_2\}\{x'\}; \{w_1\}\{x'\};$ $w_0\}\{x'\}$	

Fuente: Tomado de Fuentes (s.f.)

En México, el 25.90% de la superficie del territorio nacional pertenece al grupo climático cálido, 23.01% al grupo templado y 51.08% al grupo frío (INEGI, 2011). Los estados con regiones de clima cálido son: Campeche, Colima, Chiapas, Chihuahua, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Zacatecas (Figura A1, Apéndice A).

En la península de Yucatán se presentan dos grupos climáticos: 1) Grupo A, clima cálido y 2) Grupo B, clima seco. Según el Observatorio de cambio climático de Yucatán (2013), las regiones de la península presentan nueve subtipos de clima: en el Noroeste es BSo(h')w w'', el más seco de los semiáridos, cálido con lluvia en verano y sequía entraestival; En la región de Los Petenes y Celestún hasta Dzilam de Bravo en una estrecha franja el clima es BS(h')w w'', el menos seco de los semiáridos, cálido con lluvias en verano y sequía intraestival.



Hacia el sur de Celestún, la porción occidental y noreste de Yucatán, Norte de Quintana Roo y Campeche, se encuentra el  $Ax'(w)w''$ , cálido, el más seco de los subhúmedos con lluvias uniformes con tendencia al verano, alto porcentaje de lluvia invernal y sequía intraestival. El  $Aw w''$  cálido, el más seco de los subhúmedos con lluvias en verano, bajo porcentaje de lluvia invernal, se presenta entre Hecelchakán y Bolonchén. En la zona oriental de Yucatán, centro-sur de Campeche y suroeste de Quintana Roo, se presenta el subtipo  $Ax'(w)w''$  o cálido subhúmedo intermedio con lluvias uniformemente repartidas con tendencia al verano, alto porcentaje de lluvia invernal y canícula.

El  $Ax'(w)w''$  o cálido subhúmedo intermedio con lluvias uniformemente repartidas pero con tendencia al verano, alto porcentaje de lluvia invernal y canícula se presenta en la mayoría de la superficie del estado de Quintana Roo. Al norte de la Laguna de Términos, desde la costa hasta las inmediaciones de Silvituk, está el  $Aw_1$ , cálido subhúmedo intermedio con lluvias en verano.

Al sur de Campeche y porción media de la Laguna de Términos está el  $Aw_2$  o cálido, el más húmedo de los subhúmedos con lluvias en verano y bajo porcentaje de lluvia invernal. En Cozumel y la llanura costera del Golfo es  $Am (f) (i)gw''$  cálido-húmedo con lluvias intensas en verano (Figura A2, Apéndice A).

El 85.65% del Estado de Yucatán, pertenece a la clasificación  $Aw$ , que García (1981) denomina clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, que se divide en tres subtipos:  $Aw_0$ ,  $Aw_1$ ,  $Aw_2$  del menos al más lluvioso. El 12.88% al  $Bs_1(h')$ , semisecco muy cálido y cálido y el 1.47% al  $Bs(h')$ , seco muy cálido y cálido (INEGI, 2011).

En el sur de Quintana Roo, la porción occidental y central de la península de Yucatán, se encuentra el AC(w)w, donde el más seco de los subtrópicos con lluvias uniformes con tendencia al verano, alto porcentaje de lluvia invernal y alta humedad en el AW, cálido, el más seco de los subtrópicos con lluvias en verano, alto porcentaje de lluvia invernal, se presenta entre Hecatación y Palmar. En el centro-sur de Quintana Roo, se presenta el subtrófico intermedio con lluvias uniformemente repartidas con tendencia al verano, alto porcentaje de lluvia invernal y cálido.

El AC(w)w, o cálido subtrófico intermedio con lluvias uniformemente repartidas pero con tendencia al verano, alto porcentaje de lluvia invernal y cálido, se presenta en la mayoría de la superficie del estado de Quintana Roo. Al norte de la Laguna de Términos, desde la costa hasta las inmediaciones de Sivilla, esta el cálido subtrófico intermedio con lluvias en verano.

Al sur de Campeche y Yucatán, desde la Laguna de Términos hasta el AW, o cálido el más húmedo de los subtrópicos con lluvias en verano y alto porcentaje de lluvia invernal. En Cozumel y la franja costera del Golfo es Am (f) (lgw) cálido-húmedo con lluvias intensas en verano (Figura 2A, Apéndice A).

El 85.55% del Estado de Yucatán pertenece a la clasificación AW, que se divide en tres subtipos: cálido subtrófico con lluvias en verano, que se divide en los subtipos AW, AW, del menos al más húmedo. El 14.45% del Estado de Yucatán pertenece a cálido y cálido y el 1.00% al cálido y cálido (INEGI, 2011).

## **1.1. Variables meteorológicas.**

En este apartado se describen y analizan las variables: radiación solar, temperatura del aire, viento, humedad relativa y precipitación, para conocer las propiedades o condiciones de la atmósfera que definen el estado físico del tiempo meteorológico y el contexto climático general de estudio.

Neila (2004) menciona que la radiación solar es el factor fundamental determinante del clima. La radiación solar, al ser absorbida por la Tierra, calienta el aire a mayor o menor temperatura; al incidir sobre las superficies de agua las evapora en partes, lo que provoca distintos grados de humedad, nubosidad y pluviometría; debido a este calentamiento desigual de la superficie terrestre, se producen movimientos de masas de aires, que ocasionan los vientos.

La temperatura es una medida de la energía calorífica (grado de actividad molecular) de un cuerpo (Fuentes, 2010). La temperatura del aire es el estado térmico del aire a la sombra, no toma en cuenta la radiación de calor ni los efectos de humedad y velocidad del aire. Es uno de los parámetros fundamentales para poder determinar si las personas sienten frío o calor en un lugar específico (Simancas, 2003). La norma ANSI ASHRAE 55-2010 la define como la temperatura del aire que rodea al ocupante.

En un análisis climatológico se utilizan valores máximos, medios y mínimos de temperatura, así como las horas de insolación de un determinado lugar. En México de acuerdo con el Instituto de Geografía de la UNAM (2013) a partir de la recolección de datos de temperatura en diferentes estaciones meteorológicas del país se identifican cinco zonas térmicas: 1) Fría, 2) Semifría, 3) Templada, 4) Semicálida, 5) Cálida (Figura A3, Apéndice A).

En el estado de Yucatán, la temperatura extrema anual está entre los 42°C y los 48°C, el número de horas de insolación es de 2800 a 3000 horas al año y de 240 a



260 horas en el mes de mayo que es también el mes más cálido. Lo anterior se muestra en los mapas del Apéndice A en las figuras A4 y A5.

El viento es una forma de energía solar, es aire en movimiento generado por las diferencias de temperatura y presión atmosférica que son causadas por un calentamiento no uniforme de la superficie terrestre. Las diferencias de presión atmosférica causan el flujo del aire de las zonas de alta hacia las de baja presión (Fuentes, 2010; Yarke, 2011).

La velocidad del viento se mide en m/s y para su representación gráfica se utiliza la rosa de vientos con la indicación de los puntos cardinales. En Mérida, Yucatán los vientos provienen principalmente del Norte, Noreste, Este y Sureste con velocidades de más de 5 m/s (Figura A6, Apéndice A).

Tudela (1991) menciona que la humedad atmosférica es la cantidad de vapor de agua que se encuentra en una porción de aire (Tabla 5). La cantidad máxima de vapor de agua que pueda contener un volumen de aire dependerá solamente de su temperatura.

<b>Tabla 5</b>	
<b>Variantes de humedad.</b>	
<b>Variable</b>	<b>Definición</b>
Humedad absoluta	Es la masa de agua por metro cúbico de aire analizado (se suele medir en $g/m^3$ )
Humedad específica	Masa de vapor por kilogramo de aire húmedo.
Humedad relativa	Es la relación, expresada porcentualmente, entre la presión de vapor existente en una porción de aire y la que se presentaría en caso de que esa porción se encontrara saturada a la misma temperatura. Según ANSI ASHRAE 55-2010, la humedad relativa es la relación de la presión parcial (o densidad) de vapor de agua en el aire a la presión de saturación (o densidad) de vapor de agua a la misma temperatura y la misma presión total.
Presión de vapor	Componente de la presión total de la porción de aire húmedo que corresponde a la presión ejercida por el vapor de agua, se expresa en unidades de presión.

Fuente: Tudela (1991), ASHRAE (2010)

La precipitación es la caída de la humedad atmosférica, en forma de gotas (condensación) o cristales (solidificación), se mide en milímetros. Las precipitaciones pueden ser continuas (durante determinado periodo de tiempo) o intermitentes (que

280 horas en el mes de mayo que es también el mes más cálido. La estación se muestra en los mapas del Apéndice A en las figuras A4 y A5.

El viento es una forma de energía solar, es aire en movimiento generado por las diferencias de temperatura y presión atmosférica que son causadas por un calentamiento no uniforme de la superficie terrestre. Las diferencias de presión atmosférica causan el flujo del aire de las zonas de alta hacia las de baja presión (Fuentes, 2010; Yáñez, 2011).

La velocidad del viento se mide en m/s y para su representación gráfica se utiliza la rosa de vientos con la indicación de los puntos cardinales. En Mérida, Yucatán los vientos provienen principalmente del Norte, Noreste, Este y Sureste con velocidades de más de 2 m/s (Figura A6, Apéndice A).

Tubela (1991) menciona que la humedad atmosférica es la cantidad de vapor de agua que se encuentra en una porción de aire (Tabla 5). La cantidad máxima de vapor de agua que puede contener un volumen de aire depende solamente de su

Tabla 5. Humedad atmosférica (Fuentes, 1991)	
Humedad absoluta	Se define como la masa de vapor de agua que contiene un volumen de aire a una temperatura y presión dadas.
Humedad relativa	Se define como la relación entre la humedad absoluta real y la humedad absoluta máxima que el aire puede contener a una temperatura y presión dadas.
Presión de vapor	Se define como la presión ejercida por el vapor de agua en un volumen de aire a una temperatura y presión dadas.

La precipitación es la caída de la humedad atmosférica, en forma de gotas condensadas o cristales (solidificación), se mide en milímetros. Las precipitaciones pueden ser continuas (durante determinado periodo de tiempo) e intermitentes (que

se interrumpe o cesa y prosigue o se repite); pueden ser de cuatro tipos: 1) lluvia, 2) escarcha o aguanieve, 3) nieve y 4) granizo (Fuentes, 2010).

En Mérida, la precipitación anual se encuentra en un rango de los 800 a los 1200 mm. El mayor porcentaje de lluvias se presenta en el invierno, más del 36%. En las figuras A7 y A8 del Apéndice A, se muestran los mapas de precipitación total anual y distribución de la lluvia en México.

## **1.2. Bioclima.**

El comportamiento de las variables meteorológicas definen mediante su variación horaria las condiciones climáticas de determinado lugar. Estas condiciones del ambiente exterior afectan directa e indirectamente el desarrollo de las actividades diarias del hombre, así como el uso de los espacios. El clima es una condicionante de la forma, los materiales de construcción y la orientación de los edificios, así como de la implementación de estrategias de adecuación activas o pasivas, que influyen en la sensación térmica de los usuarios.

El bioclima de un lugar, de acuerdo con Morillón et al. (2002), es la asociación de diversos elementos meteorológicos que influyen en la sensación de confort fisiológico. Estos elementos son principalmente temperatura del aire (o de bulbo seco), humedad (relativa, específica, absoluta o presión de vapor), radiación solar (duración, intensidad y calidad), viento (dirección, velocidad y frecuencia), y temperatura de radiación infrarroja (la del entorno físico interior).

La relación hombre, naturaleza y espacio se ha estudiado por diversos autores, desde los tiempos de Vitrubio, sin embargo, se considera a Olgay como pionero de la arquitectura bioclimática al publicar en 1963 como diversas disciplinas influyen en la Arquitectura. Según Olgay (1998), clima, biología, tecnología y Arquitectura mantienen una estrecha correlación. La comprensión de estos principios (clima, bioclima, confort térmico) a los que Morillón et al. (2002) considera básicos, permitirá

Figuras A7 y A8 del Anexo A, se muestran las mapas de precipitación total anual y distribución de lluvias en México.

## 1.2. Metodología

El comportamiento de las variables meteorológicas analizadas en esta investigación durante las condiciones climáticas de diferentes lugares. Estos se obtienen del ambiente de trabajo de los sujetos a través de un cuestionario que se les aplicó en el momento de la toma de las muestras. La información obtenida se procesó y se graficó en la forma de histogramas de construcción y la selección de los ejes se hizo de acuerdo a la implementación de estrategias de selección sobre la base de la información en la selección de los ejes.

El clima de un lugar, de acuerdo con Mérida es el clima tropical húmedo con diferentes variables meteorológicas que se analizan en la selección de contextos psicológicos. Estos elementos son principalmente temperatura del aire, de punto de rocío, humedad relativa, capacidad absoluta o presión de vapor, radiación solar, velocidad, intensidad y calidad (viento, dirección, velocidad y humedad) y temperatura de radiación (temperatura del entorno físico interno).

La relación hombre, naturaleza y espacio se ha estudiado por diversas áreas. Desde los tiempos de Viedt, sin embargo, se considera a Ojays como pionero en la arquitectura bioclimática. Ojays (1983) como diversas disciplinas influyen en la Arquitectura. Según Ojays (1983) clima, biología, tecnología, arquitectura, tienen una estrecha conexión. La comprensión de estos factores climáticos, conlleva a los que Morán et al. (2005) consideran: "se debe permitir

a los diseñadores determinar las estrategias pasivas adecuadas de acondicionamiento ambiental.

Morillón et al. (2002) realizó un estudio bioclimático por medio de mapas mensuales que muestran las sensaciones térmicas de frío, calor y confort térmico con base en datos obtenidos en 185 estaciones meteorológicas en México. La zona de confort térmico, se definió con la ecuación propuesta por Auliciems (Ver ecuación 1) y se utilizaron los parámetros propuestos por la *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineer (ASHRAE)*, para los climas de México.

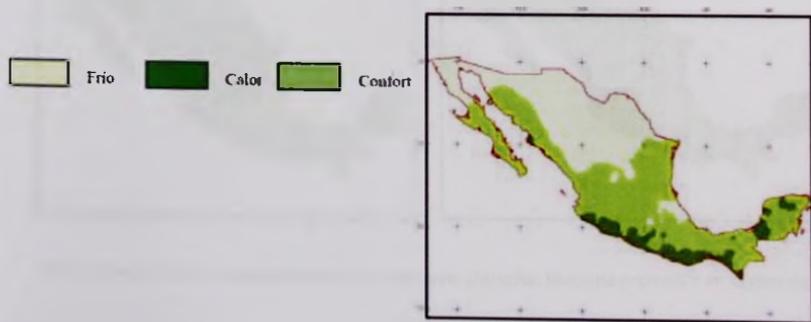
$$T_n = 17.6 + 0.31 (T_o) \quad (1)$$

Dónde:

$T_n$  = *Temperatura neutral*

$T_o$  = *Temperatura promedio mensual exterior*

Los mapas bioclimáticos muestran que en los meses de marzo a noviembre en Mérida, Yucatán se percibe la sensación térmica de calor, en los meses de enero y diciembre se está en confort térmico y en ningún mes del año se percibe frío (Figura 8). Morillón et al. (2002) menciona que los mapas bioclimáticos permiten identificar cuando es necesaria la aplicación de estrategias pasivas, que contrarresten las condiciones del ambiente térmico de un lugar geográfico específico.



(a). Izquierda: Simbología. Derecha: Bioclima promedio en el mes de enero.

a los diseñadores, determinar el acondicionamiento ambiental

el (2002) realizó un estudio por medio de mapas mensuales que muestran las variaciones térmicas de Yucatán y control térmico con base en datos obtenidos en 180 estaciones meteorológicas en México. La zona de control térmico, se definió con la propuesta por Aulicoms (Ver ecuación 1) y se utilizaron los parámetros propuestos por la American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineer (ASHRAE), para las zonas de México

$$T_r = 17.5 + 0.31 (T_e)$$

(1)

Dónde:

$T_r$ : temperatura recomendada  
 $T_e$ : temperatura promedio mensual exterior

Los mapas bioclimáticos muestran que en los meses de marzo a noviembre en Yucatán se percibe la sensación térmica de calor, en los meses de diciembre se está en control térmico y en ningún mes se percibe frío. 8) Morfón et al. (2002) menciona que los mapas bioclimáticos permiten identificar cuando se necesita la aplicación de estrategias pasivas, que conserven las condiciones del ambiente térmico de un lugar geográfico específico.

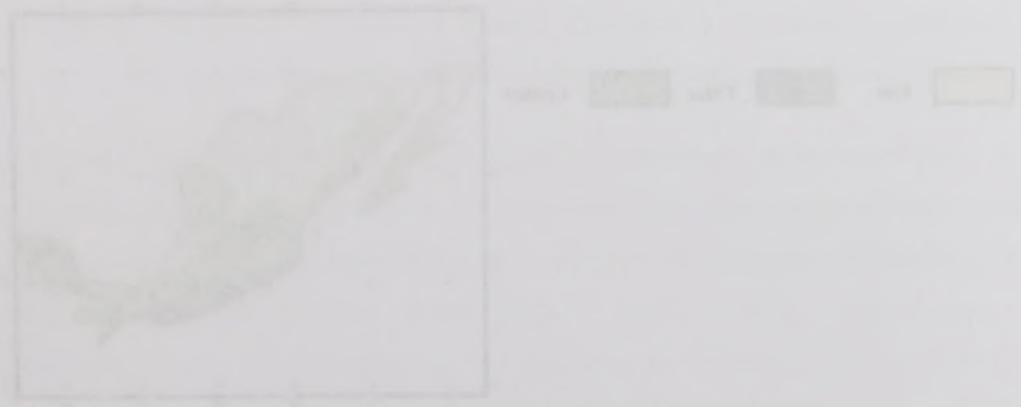
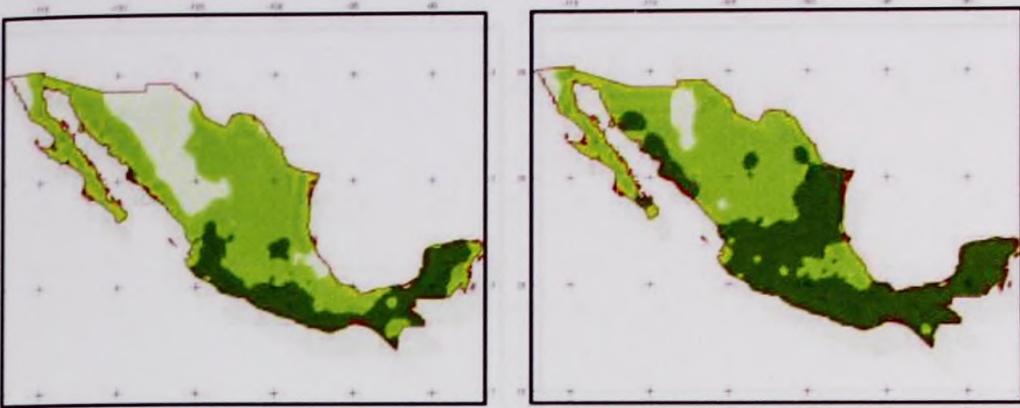
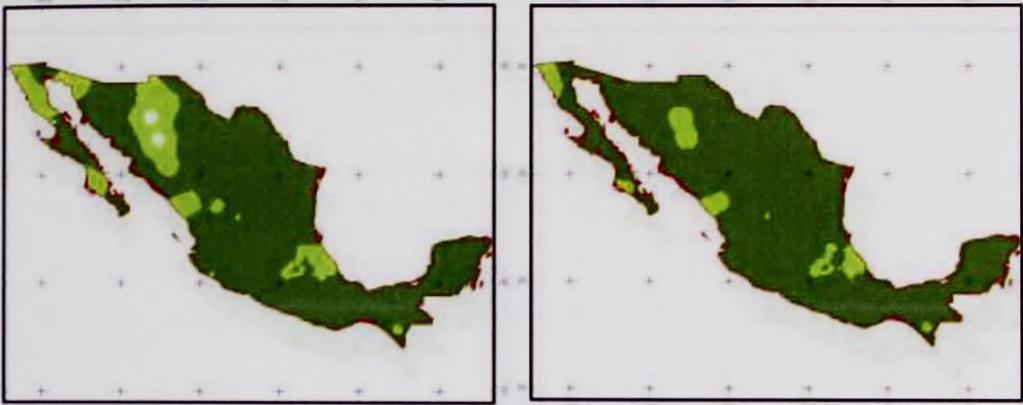


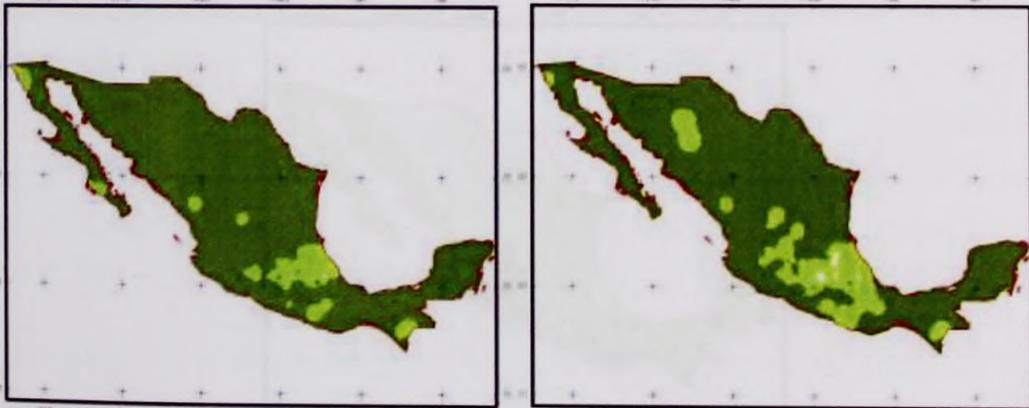
Figura 1. Mapas bioclimáticos de México.



(b). Izquierda: Bioclima promedio en el mes de febrero. Derecha: Bioclima promedio en el mes de marzo.



(c). Izquierda: Bioclima promedio en el mes de abril. Derecha: Bioclima promedio en el mes de mayo.



(d). Izquierda: Bioclima promedio en el mes de junio. Derecha: Bioclima promedio en el mes de julio.



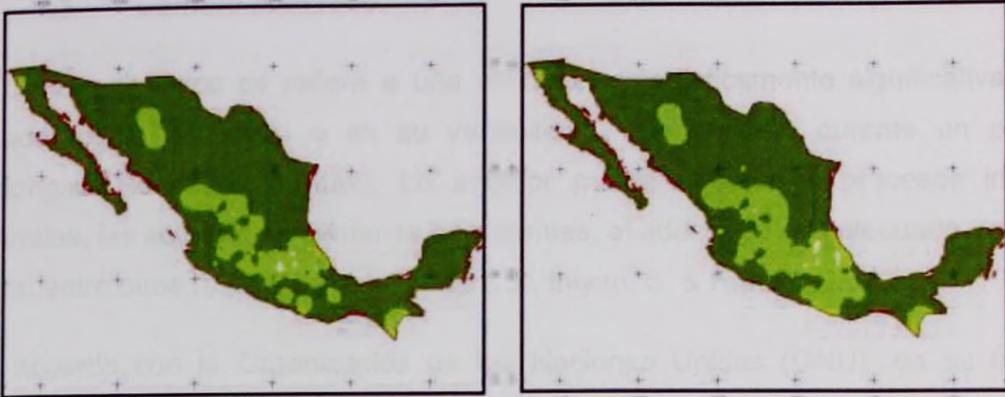
(a) Distribución geográfica de la especie en el estado de Baja California Sur durante el primer periodo.



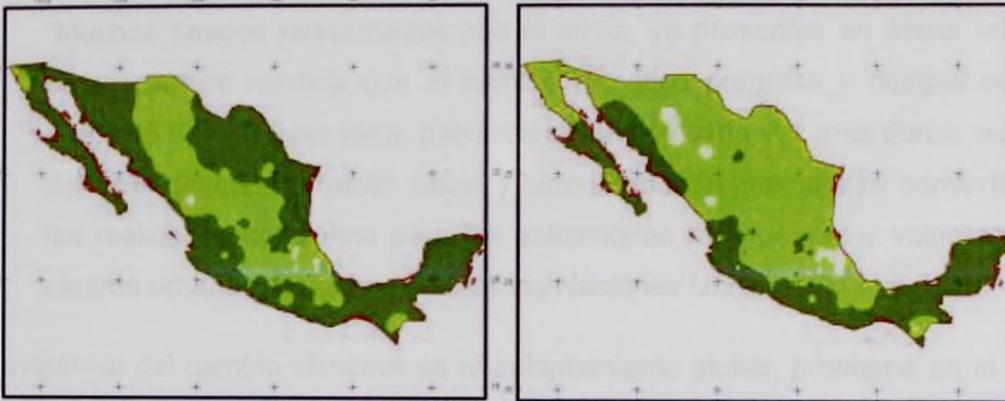
(b) Distribución geográfica de la especie en el estado de Baja California Sur durante el tercer periodo.



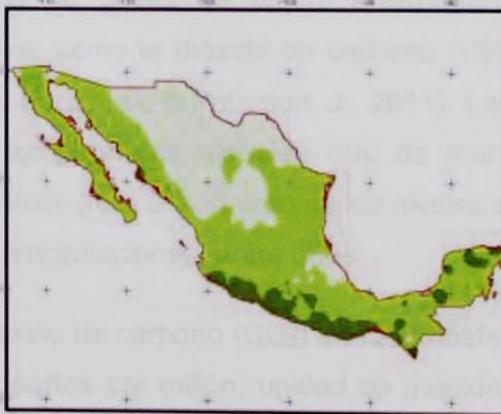
(c) Distribución geográfica de la especie en el estado de Baja California Sur durante el quinto periodo.



(e). Izquierda: Bioclima promedio en el mes de agosto. Derecha: Bioclima promedio en el mes de septiembre.



(f). Izquierda: Bioclima promedio en el mes de octubre. Derecha: Bioclima promedio en el mes de noviembre.



(g). Bioclima promedio en el mes de diciembre.

Fuente: Morillón et al. (2002)

**Figura 8.** Mapas bioclimáticos de México.



Figura 1. Distribución geográfica de las especies de *Phrynosoma* en México.



Figura 2. Distribución geográfica de las especies de *Phrynosoma* en México.

Figura 3. Distribución geográfica de las especies de *Phrynosoma* en México.

(2005) y (2006)

### 1.3. Cambio climático.

El cambio climático se refiere a una variación estadísticamente significativa en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (décadas o más). Lo anterior puede deberse a procesos internos naturales, las actividades humanas persistentes, al adecuado o inadecuado uso de la tierra, entre otros (VijayaVenkataRaman, S., Iniyan, S. & Ranko, G., 2012).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su Informe mundial sobre asentamientos humanos 2011:

"Muchos riesgos relacionados con el clima, ya presentes en áreas urbanas, empeorarán a medida que el cambio climático progrese y riesgos como el aumento de la temperatura, patrones climáticos cada vez más duros, aumento del nivel del mar, intrusión salina y tormentas más intensas se convertirán en las realidades cotidianas para las poblaciones más pobres y vulnerables en centros urbanos" (Organización de las Naciones Unidas, 2011, p. 14).

La evidencia del cambio climático es el calentamiento global, problema en el que la combustión de carbón, petróleo y otros combustibles fósiles ocasionan el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (*Green House Gases* [GHGs]) en la atmósfera, como el dióxido de carbono (VijayaVenkataRaman et al., 2012; Berrang-Ford, L., Ford, J.D. & Paterson, J., 2011). Las emisiones históricas de GHGs aumentan las temperaturas globales que de manera general causan los cambios climáticos y en concreto el aumento de los niveles de los mares, variaciones en los patrones de las precipitaciones, entre otros.

En 650 000 años el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera no había sobrepasado los 300 millones ppm (partes por millón, unidad de medida con la que se evalúa la concentración) hasta años recientes (Figura 9a). En el periodo 2005-2011 la concentración de CO<sub>2</sub> aumentó 20 ppm (Figura 9b). La extensión del hielo del Mar Ártico ha disminuido desde 1990 aproximadamente un millón de kilómetros-

El cambio climático se refiere a la variación estadísticamente significativa en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (décadas o siglos). La evidencia científica puede deberse a procesos naturales, las actividades humanas persistentes, al abandono o inadecuado uso de la tierra, entre otros (Vijayarajaraman, Inyari, & Pantou, 2012).

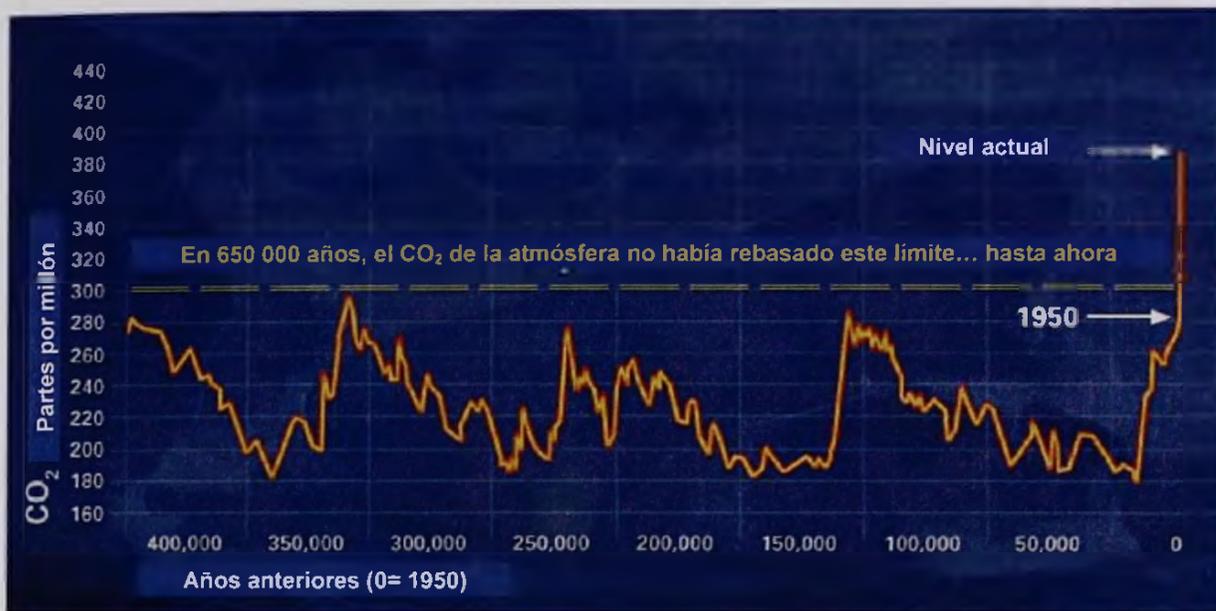
De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su Informe mundial sobre assessment "Urbanos"

"Muchos riesgos relacionados con el clima ya presentes en áreas urbanas, empeorarán a medida que el cambio climático prograse y surgen como el aumento de las temperaturas, patrones climáticos cada vez más duros, aumento del nivel del mar, intrusiones salinas y tormentas más intensas se convertirán en las realidades críticas para las poblaciones más pobres y vulnerables en centros urbanos" (Organización de las Naciones Unidas, 2011, p. 14).

La evidencia de cambio climático es el calentamiento global. Problemas en el que la combustión de carbón, petróleo y otros combustibles fósiles ocasionan el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (Green House Gases) (GHG) en la atmósfera, como el dióxido de carbono (Vijayarajaraman et al., 2012; Benang-Fort, L., J.D. & Paterson, J., 2011). Las emisiones históricas de GHG aumentan las temperaturas globales que de manera general causan los cambios climáticos y en concreto el aumento de los niveles de los océanos, variaciones en los patrones de las precipitaciones, entre otros.

En 850 000 años el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera no se superaba los 300 millones ppm (partes por millón, unidad de medida con la que se evalúa la concentración) hasta años recientes (Figura 9a). En el período 2006-2011 la concentración de CO<sub>2</sub> aumentó 30 ppm (Figura 9b). La extensión del nivel del mar -Ártico ha disminuido 1000 aproximadamente un millón de kilómetros-

cuadrados (Figura 9c). El nivel del mar ha aumentado casi 0.06 m de 1994 al 2010, tres mm por año (Figura 9d) y la temperatura global anual ha variado casi 1°C en los últimos diez años (Figura 9e).

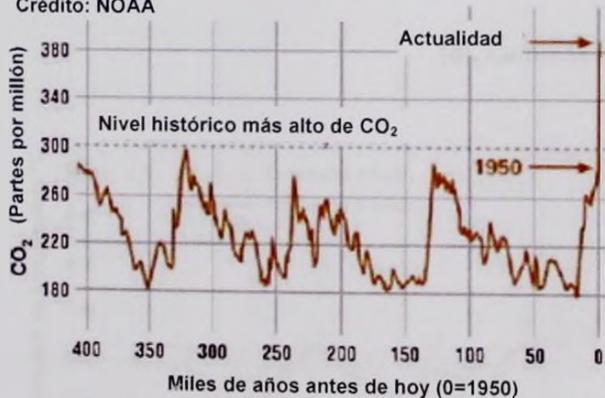


(a). Emisiones de CO<sub>2</sub>, tendencia a través de los años en partes por millón (ppm).

Actualización de datos: 6.15.11

**MEDICIONES (INDIRECTAS) PROXY**

Fuente de los datos: Reconstrucción de núcleos de hielo  
Crédito: NOAA



**MEDICIONES DIRECTAS: 2005-PRESENTE**

Fuente de los datos: Mediciones mensuales (Corregido para el ciclo medio estacional)  
Crédito: NOAA



(b). Niveles de la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera.

últimos diez años (Figura 3a).  
 (Figura 3b) y la temperatura del mar ha variado casi 1°C en los  
 cuarenta años (Figura 3c). El nivel del mar ha aumentado casi 0.50 m de 1964 al 2010.

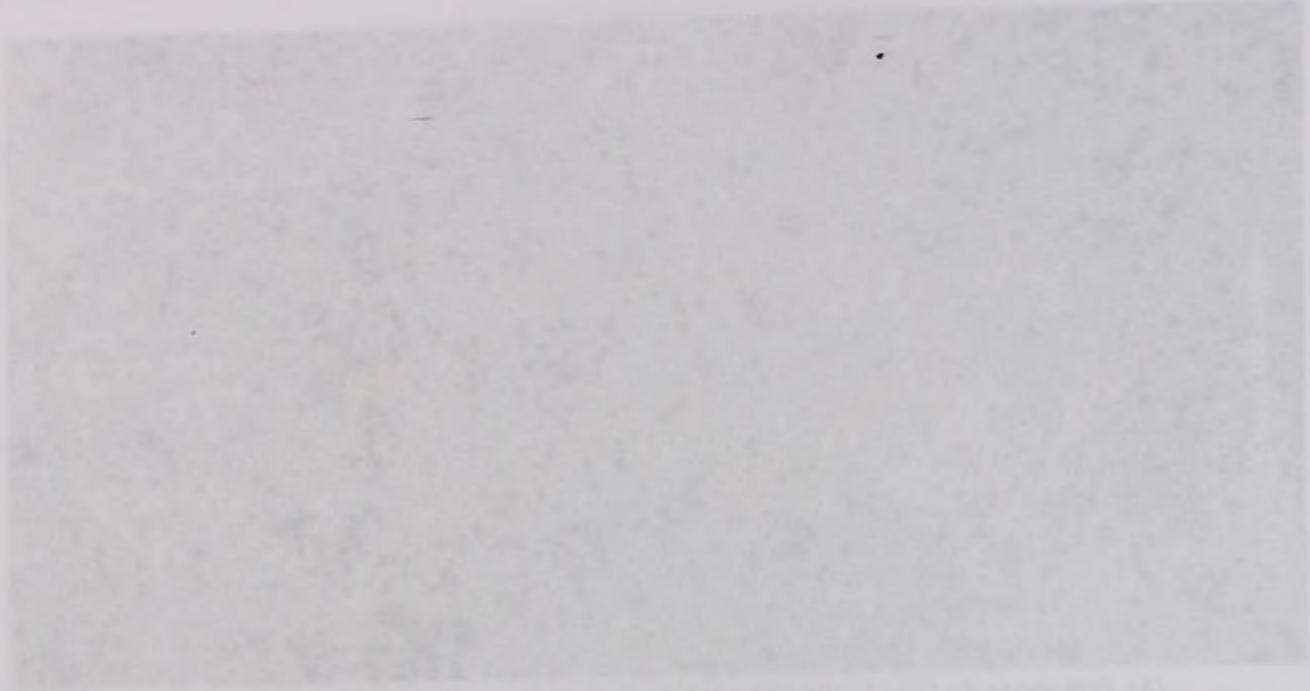
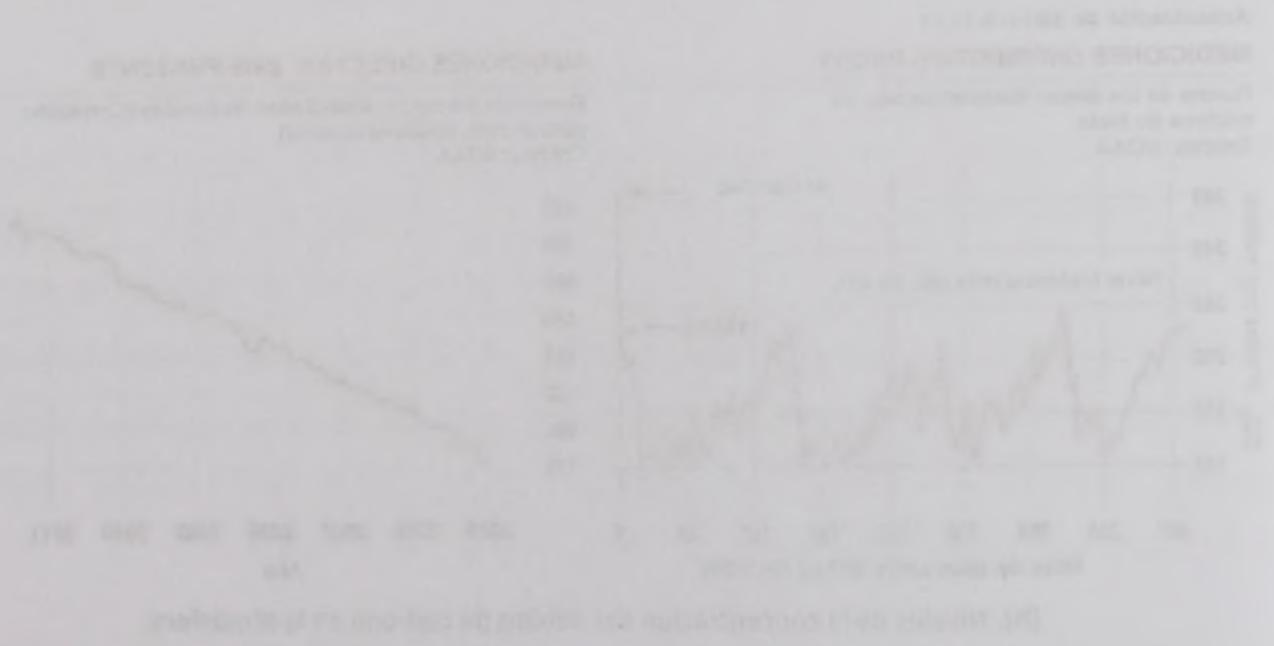
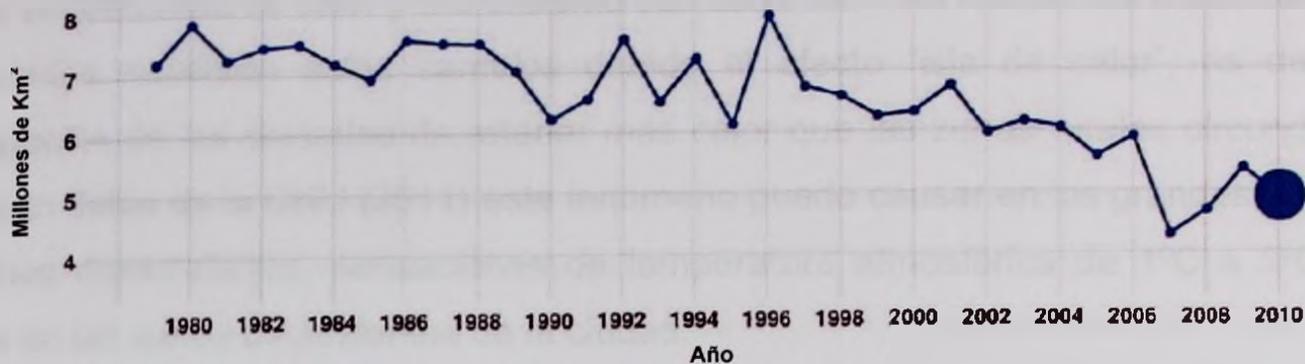


Figura 3. Evolución de los principales indicadores del cambio climático en el área de estudio.





(c). Extensión del hielo del Mar Ártico.

Actualización de datos: 2.23.11

DATOS: 1870-2000

Fuente de los datos: Registros costeros de mareógrafo.  
Crédito: CSIRO

TASA DE CAMBIO

↑ 1.70 mm por año



\*Estimación para el siglo 20

DATOS DE SATELITE: 1993-PRESENTE TASA DE CAMBIO

Fuente de los datos: Observaciones satelitales del nivel del mar  
Crédito: CLS/Cnes/Legos

↑ 3.27 mm por año



\*Estimación para 1993-2010

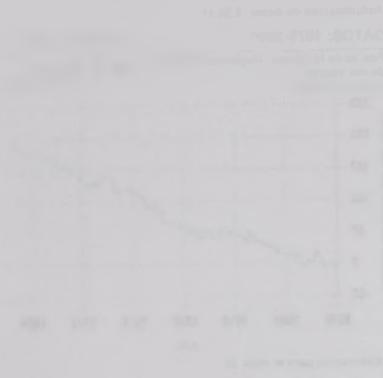
(d). Cambios en el nivel del mar.



(e). Variación de la temperatura global.

Fuente: VijayaVenkataRaman et al. (2012)

Figura 9. Cambio climático



Las sensaciones de calor y frío extremo son cada vez más frecuentes e intensas. Las ciudades resienten estos cambios debido al efecto "isla de calor", es decir, la tendencia de las ciudades de retener más calor que las zonas rurales circundantes. Según datos de la ONU (2011) éste fenómeno puede causar en las grandes urbes de países desarrollados, sensaciones de temperatura atmosférica de 1°C a 3°C más que en las zonas circundantes de la ciudad.

El cambio climático ha impulsado los estudios sobre la adaptación del ser humano a sus efectos, Berrang-Ford et al. (2011) menciona que para entender la magnitud del reto de la adaptación es necesario responder las preguntas siguientes: ¿Se está llevando a cabo la adaptación?, ¿Quién se está adaptando, a qué, para qué y cómo?, ¿La adaptación es diferente entre y dentro de las naciones, regiones, sectores?, ¿Las adaptaciones son congruentes con los riesgos que plantea el cambio climático?

En los países subdesarrollados como México, en regiones de clima cálido, las personas que no pueden permitirse el pago de acondicionamientos estructurales o de ventilación artificial para adaptarse a las condiciones climáticas del ambiente, son más propensos a los efectos del cambio climático en comparación con quienes sí pueden adquirir sistemas activos de refrigeración.

Por lo anterior, es necesario analizar estrategias de diseño bioclimático que a modo de sistemas pasivos mejoren las condiciones térmicas de los espacios interiores y exteriores, sobre todo en regiones de clima cálido-húmedo, como la Ciudad de Mérida, Yucatán, donde las altas temperaturas y la humedad relativa inciden directamente en la percepción de la sensación térmica de sus habitantes.

Los resultados de estos estudios y la evidencia de que los cambios climáticos  
resisten estos cambios debido al efecto isla de calor, se han de  
según datos de la ONU (2011) este fenómeno puede causar en  
países desarrollados, sensaciones de temperatura superiores de 1°C a 2°C  
que en las zonas circundantes de la ciudad.

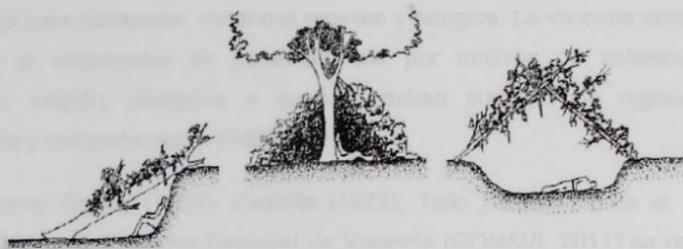
El estudio de los cambios climáticos sobre la adaptación del ser humano a  
los efectos, Benang-Ford et al. (2011) menciona que para entender la magnitud del  
reto de la adaptación es necesario responder las siguientes preguntas: ¿De qué  
modo se adaptará? ¿Cómo se está adaptando a qué velocidad y  
¿dónde? La adaptación es diferente entre el resto de las naciones, regiones,  
sectores? Las adaptaciones son congruentes con los riesgos que plantea el  
cambio climático.

En los países subdesarrollados como México en regiones de clima cálido las  
personas no pueden permitirse el pago de acondicionamiento de aire, por lo  
de ventilación natural para adaptarse a las condiciones climáticas del ambiente, son  
más propensas a las enfermedades del cambio climático en comparación con quienes  
pueden adquirir sistemas activos de refrigeración.

Por lo anterior, es necesario analizar cómo el diseño bioclimático que a modo  
de sistemas pasivos mejoran las condiciones térmicas de los espacios interiores y  
regionales, sobre todo en regiones de clima cálido-húmedo, como la Ciudad de  
México, Yucatán, donde las altas temperaturas y la humedad relativa inciden  
directamente en la percepción de la sensación térmica de sus habitantes.

## 2. Vivienda

La historia de la vivienda (Hogar o casa) está ligada a la evolución del hombre, desde la construcción de la choza como refugio hasta la vivienda actual. Childe (citado en Trejo, 1974) menciona que hace 25 000 millones de años ya existían construcciones calificables como viviendas, sus características reflejaban la organización social de los grupos que las habitaron y cuya esencia perdura en los asentamientos que ahora conforman las ciudades (Figura 10).



Fuente: Hacia la vivienda sustentable en [www.cudi.mx/eventos/2011/Evo\\_ESNEST.pdf](http://www.cudi.mx/eventos/2011/Evo_ESNEST.pdf)

Figura 10. Los primeros refugios.

En Mesoamérica, las primeras aldeas surgen cuando el hombre comenzó a depender de las plantas cultivadas, dejó la vida nómada y se estableció cerca de las milpas. Para protegerse construyó casas con troncos, ramas, cañas y las cubrió con techos de palma o zacate. Así surgieron las primeras comunidades (González, 2009).

El tema de la vivienda ha sido definido ampliamente desde su aparición, no solo desde el punto de vista académico, social, familiar y cultural sino también desde un enfoque de políticas públicas como indicador de desarrollo económico. En el sector público, los esfuerzos se han encaminado a construir clasificaciones operativas basadas tanto en los metros cuadrados y materiales de construcción como en el uso adecuado del espacio (Estado Actual de la Vivienda en México [EAVM], 2012).

La historia de la vivienda (hogar o casa) está ligada a la evolución del tiempo, desde la construcción de la cruz como refugio hasta la vivienda actual. Cabe destacar en Tajo, 1974) menciona que hace 25 000 millones de años ya existían construcciones calificadas como viviendas. Las características reflejadas en la organización social de los grupos que las habitaban y cuya esencia perdura en los asentamientos que ahora conforman las ciudades (Figura 10).



Figura 10. Las primeras viviendas.

En Mesoamérica, las primeras ideas surgen cuando el hombre comenzó a abandonar de las planicies cultivadas, dejó la vida nómada y se estableció cerca de las riberas. Para protegerse construyó casas con troncos, ramas, cañas y las cubrió con techos de palma o zacate. Así surgieron las primeras comunidades (González, 2009).

El tema de la vivienda ha sido definido ampliamente desde su aspecto, no solo desde el punto de vista académico, social, familiar y cultural sino también desde un enfoque de políticas públicas como indicador de desarrollo económico. En el sector público, los esfuerzos se han encaminado a construir clasificaciones operativas basadas tanto en los metros cuadrados y materiales de construcción como en el uso del espacio (Estado Actual de la Vivienda en México [EAVM], 2012).

De acuerdo con el INEGI (2010) la vivienda es el espacio delimitado normalmente por paredes y techos de cualquier material, con entrada independiente, que se utiliza para "vivir", esto es, dormir, preparar los alimentos, comer y protegerse del ambiente. Según el XIII Censo General de Población y Vivienda del año 2010, las viviendas se dividen en dos tipos: 1) Particulares y 2) Colectivas.

La vivienda particular es aquella destinada al alojamiento de una o más personas que forman uno o más hogares. Se clasifican en: casas independientes, departamentos en edificios, viviendas en vecindades, cuartos en azoteas, locales no construidos para habitación, viviendas móviles y refugios. La vivienda colectiva, está destinada al alojamiento de personas que por motivos de asistencia, salud, educación, religión, disciplina o servicio, deben cumplir con reglamentos de convivencia y comportamiento (INEGI, 2010).

Autores como Olgyay (1963), Castells (1974), Tello (1989), Flores et al. (2000), Agrest (2004) y la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI, 2011) se refieren a la vivienda como el "lugar edificado" donde se desenvuelven las personas y que sirve de instrumento para satisfacer sus necesidades.

Rapoport (1969), Bachelard (1984), Ortiz (1984) Kent (1993) y Banham (Citado en Miller, 2006) utilizan el término casa para referirse no solamente a una estructura envolvente, sino a un fenómeno cultural y cosmológico que lleva implícito la noción de "lugar para vivir". El concepto de hogar es abordado por Norberg-Schultz (1983) y Douglas (Citado en Miller, 2006) para describir el "centro del hombre" y una forma de organización social.

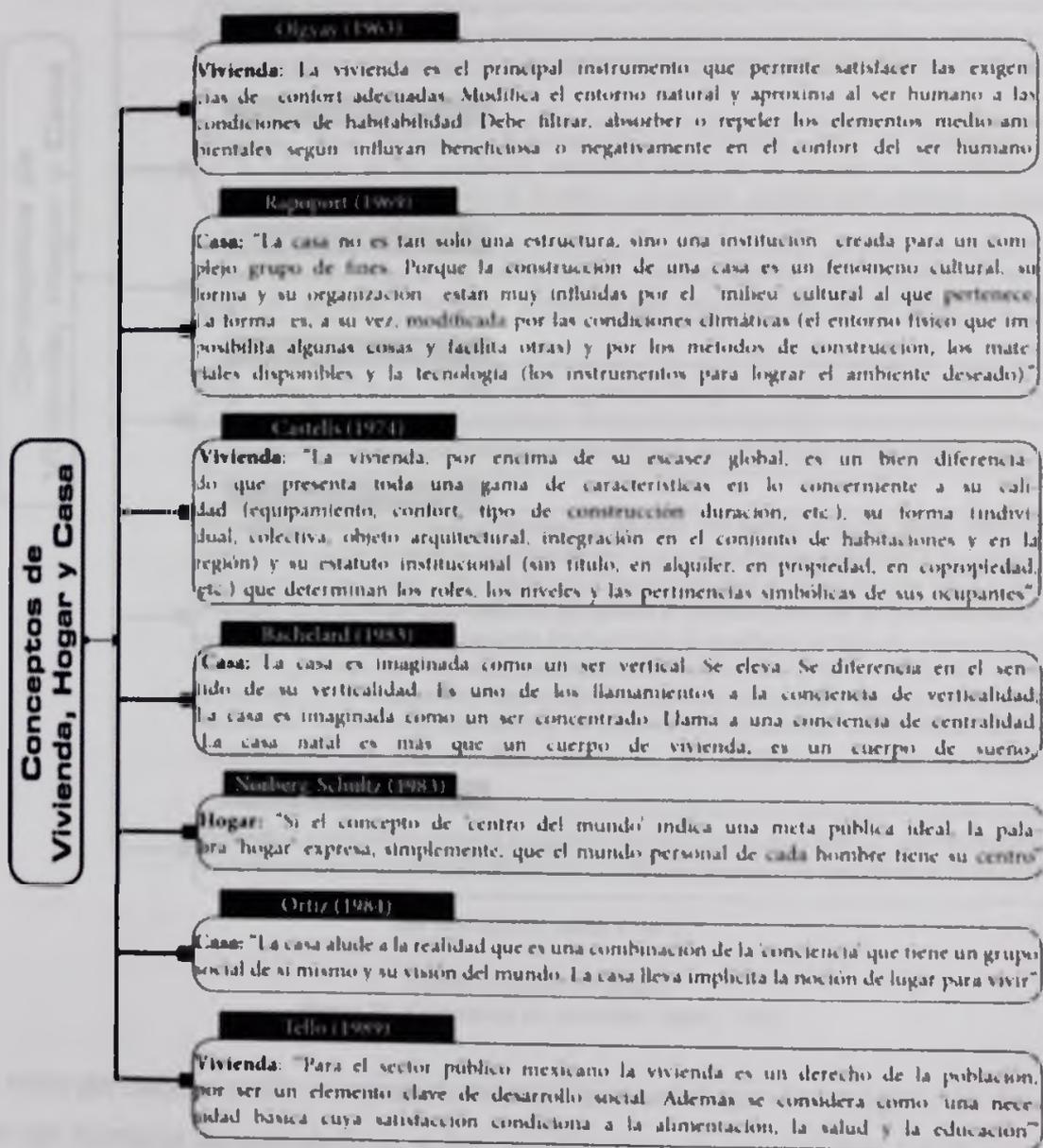
De acuerdo con el INEGI (2010) la vivienda es el espacio delimitado normalmente por paredes y techos de cualquier material, con entrada independiente, que se utiliza para "vivir", esto es, dormir, cocinar, los alimentos, comer y protegerse del ambiente. Según el XIII Censo General de Población y Vivienda del año 2010, las viviendas se dividen en dos tipos: 1) Particulares y 2) Colectivas.

La vivienda particular es aquella destinada al alojamiento de una o más personas que forman uno o más hogares y se clasifican en: casas independientes, departamentos en edificios, viviendas en condominios, cuartos en azoteas, locales no construidos para habitación, viviendas móviles y refugios. La vivienda colectiva, está destinada al alojamiento de personas que por motivos de asistencia, salud, educación, región, disciplina o servicio, deben cumplir con reglamentos de convivencia y comportamiento (INEGI, 2010).

Autores como Ojeda y García (1974), García (1974), Teño (1989), Flores et al. (2000), Agrest (2004) y la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI, 2011) se refieren a la vivienda como el "lugar edificado" donde se desenvuelven las personas y que sirve de instrumento para satisfacer sus necesidades.

Rapoport (1989), Bachelard (1984), Ortiz (1984), Kent (1984), Bartram (Citado en Miller, 2008) utilizan el término casa para referirse no solamente a una estructura física, sino a un fenómeno cultural y cosmológico que tiene implícito la noción de "lugar para vivir". El concepto de hogar es abordado por Hoberg-Schultz (1983) y Douglas (Citado en Miller, 2008) para describir el "centro del hombre" y una forma de organización social.

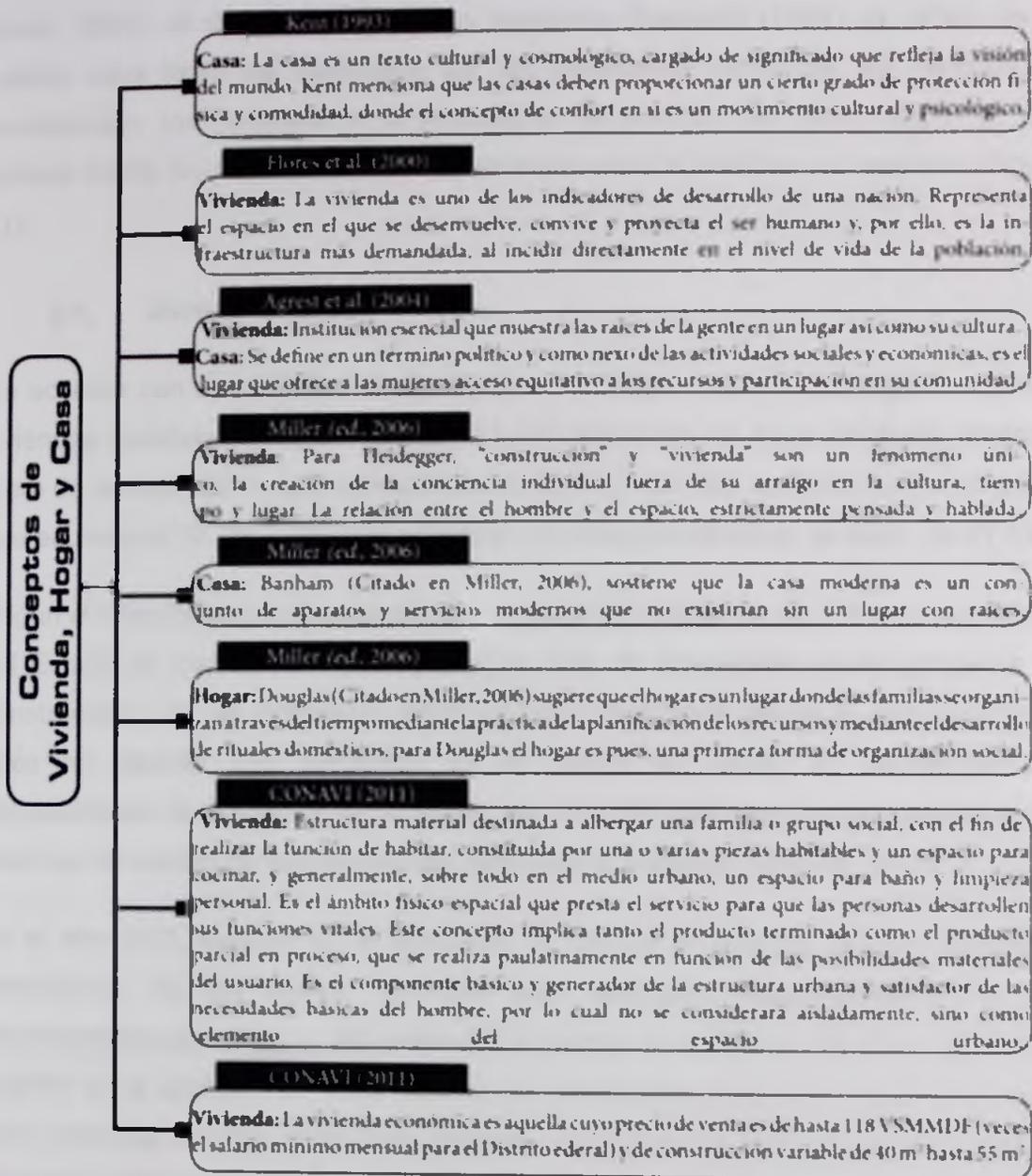
Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se entenderá por vivienda como menciona la CONAVI (2011) a la estructura material donde se desenvuelven las personas con el fin de realizar la función de habitar, componente básico y generador de la estructura urbana así como satisfactor de las necesidades básicas y que es uno de los indicadores de desarrollo de una nación (Flores et al., 2000) que incide directamente en la calidad de vida de la población (Figura 11).



(a) Conceptos, parte 1 de 2.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se entendió por vivienda  
 la estructura física que alberga a las personas que viven en ella.  
 las personas con el fin de realizar la función de hábitat componente básico y  
 generador de la estructura urbana así como satisfactor de las necesidades básicas y  
 que es uno de los indicadores de desarrollo de una nación (García et al., 2006) que  
 incide directamente en la calidad de vida de la población (García et al., 2006).





(b) Conceptos, parte 2 de 2.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Conceptos de vivienda, hogar, casa.

La vivienda debe permitir integrar elementos que satisfagan las exigencias de confort del ser humano aproximándolo a las condiciones de habitabilidad (Olgyay, 1963; Castells, 1974) así como proporcionar cierto grado de protección física y comodidad

Castell, 1974) así como proporcionar un grado de protección física y comodal del ser humano exponiéndolo a las condiciones de vibración (Grylls, 1974). La vivienda debe permitir integrar elementos que satisfagan las exigencias de confort



(Kent, 1993). Al mismo tiempo como menciona Rapoport (1969) es reflejo de la cultura, cuya forma es modificada por las condiciones climáticas, los métodos de construcción, los materiales y la tecnología, de acuerdo con Miller (2006) es una primera forma de organización social, relación entre el hombre y el espacio (Figura 11).

## **2.1. Mérida, Yucatán.**

De acuerdo con el INEGI en el año 2010 en el Estado de Yucatán habían 502,948 viviendas particulares, de las cuales 471,292 disponían de agua entubada dentro o fuera de la vivienda, lo que representaba el 93.7%; 400,798 contaban con drenaje, lo que equivale al 79.7% y 489,688 contaban con energía eléctrica, es decir, un 97.4%.

Según el Plan Estatal de Desarrollo de Yucatán 2001-2007, el 15.3 % de la población del Estado no cuenta con casa propia. La falta de innovación en los procesos de construcción y en los materiales utilizados es un factor que influye en este problema, pues no permite una reducción en el precio de venta. La distribución de oportunidades de obtención de vivienda, es otra dificultad, ya que en ocasiones los sistemas de crédito no son accesibles para toda la población (EAVM, 2012).

En el año 2005, existían en el Municipio de Mérida un total de 201,410 viviendas particulares, de las cuales 155 834 eran viviendas independientes; 35 120 departamentos en edificios; 643 viviendas o cuartos en vecindad; 40 eran viviendas o cuartos en la azotea, 487 eran locales no construidos para casa habitación, siete eran viviendas móviles, ocho eran refugios y 9 271 no se especificaron. El total de viviendas particulares habitadas era de 194 323 viviendas en las cuales el promedio de ocupantes por vivienda era del 3.9% (Ayuntamiento de Mérida, 2011).

Según datos obtenidos por el INEGI, para el año 2010, Mérida contaba con el 35.97% del total de viviendas de todo el estado, lo que representaba un descenso del 19.67% comparado con el 44.50% registrado en 1990; es decir, durante 20 años,



el incremento de vivienda no ha cumplido con las necesidades de una población en crecimiento constante (Tabla 6).

**Tabla 6**  
*Crecimiento histórico de la vivienda en Mérida.*

	Mérida		Porcentaje (%)
	Vivienda	Vivienda	
1990	273,958	121,879	44.50
1995	330,155	153,989	46.60
1998	339,469	154,057	45.40
2000	373,432	172,498	46.20
2003	373,432	172,498	46.20
2004	373,432	172,498	46.20
2005	543,940	244,226	44.89
2006	435,381	210,410	48.30
2007	435,381	210,410	48.30
2010	638,399	229,635	35.97

Fuente: Programa de desarrollo urbano del Municipio de Mérida (2012), basado en resultados estadísticos del INEGI.

Los datos de la tabla 6 muestran que en el año 2010 más del 64% de las viviendas del Estado no se localizaban en Mérida, con lo cual se puede inferir que el porcentaje de construcción de viviendas masivas ha incrementado en otros Municipios, esto por diversos factores económicos, políticos y sociales.

## **2.2. Vivienda económica.**

En el año 2001 inició un proceso de transformación en el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), que tuvo como objetivo potenciar su capacidad de otorgamiento de créditos. De acuerdo con el INFONAVIT (2012) y con datos de la Evaluación Cualitativa de la Vivienda y su Entorno (ECUVE), en el periodo 2000-2006 como parte de las políticas públicas del Gobierno Federal diversas instituciones y organismos se enfocaron en satisfacer la demanda de vivienda, principalmente la dirigida a personas con menores ingresos económicos, lo que originó la creación de la "vivienda económica".

El crecimiento de viviendas no se tradujo en un crecimiento de la producción de vivienda constante (Tabla 8).

Año	Producción de vivienda constante	Viviendas no producidas	Total
2000	121,378	0	121,378
2001	192,000	0	192,000
2002	124,707	0	124,707
2003	132,000	0	132,000
2004	137,000	0	137,000
2005	137,000	0	137,000
2006	144,000	0	144,000
2007	144,000	0	144,000
2008	144,000	0	144,000
2009	144,000	0	144,000
2010	144,000	0	144,000
2011	144,000	0	144,000
2012	144,000	0	144,000
2013	144,000	0	144,000
2014	144,000	0	144,000
2015	144,000	0	144,000
2016	144,000	0	144,000
2017	144,000	0	144,000
2018	144,000	0	144,000
2019	144,000	0	144,000
2020	144,000	0	144,000
2021	144,000	0	144,000
2022	144,000	0	144,000
2023	144,000	0	144,000
2024	144,000	0	144,000
2025	144,000	0	144,000
2026	144,000	0	144,000
2027	144,000	0	144,000
2028	144,000	0	144,000
2029	144,000	0	144,000
2030	144,000	0	144,000

Los datos de la tabla 8 muestran que en el año 2010 más del 64% de las viviendas se localizan en Mérida, con lo cual se puede ver que el porcentaje de construcción de viviendas nuevas ha incrementado en otros Municipios, esto por diversos factores económicos, políticos y sociales.

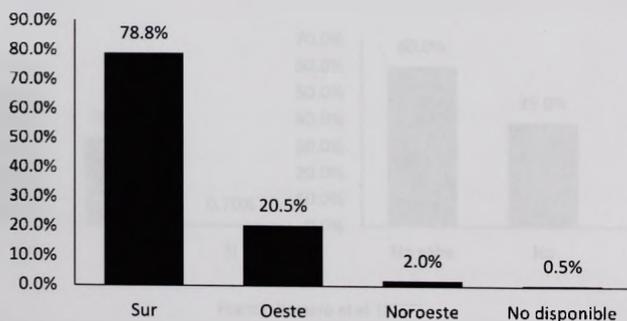
### 3.2. Vivienda económica.

En el año 2001 inició un proceso de transformación en el Instituto del Fondo Nacional de las Viviendas para los Trabajadores (INFONAVIT), que tuvo como objetivo fortalecer su capacidad de otorgamiento de créditos. De acuerdo con el INFONAVIT (2012) y con datos de la Evaluación Cuantitativa de la Vivienda y su Entorno (ECUVE), en el período 2000-2006 como parte de las políticas públicas del Gobierno Federal, diversas instituciones y organismos se enfocaron en atender la demanda de viviendas, principalmente la dirigida a personas con menores ingresos económicos, que originó la creación de la "vivienda económica".

La vivienda económica o Unidad Básica de Vivienda (UBV) es aquella promovida por el Programa Nacional de Vivienda Económica del INFONAVIT, el cual se orienta a promover, incentivar y fomentar la construcción de viviendas con un valor que no exceda 118 veces el salario mínimo mensual (VSMM) en el Distrito Federal que equivalía a \$223,590.18 en el año 2012, para que sean adquiridas por trabajadores que tienen un ingreso entre uno y cuatro salarios mínimos. Sus características principales son que posee una habitación de usos múltiples en donde se pueden preparar alimentos, una recámara y un baño completo (Maycotte, 2005).

En el año 2007 de acuerdo con el proyecto de investigación Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones de clima cálido seco y húmedo, en Mérida, Yucatán se identificaron dos fraccionamientos de vivienda económica: 1) Tixcacal Opichen Villas y 2) Nueva San José Tecoh. En este proyecto de investigación se especificaron datos generales, prototipos, ampliaciones y adecuaciones así como las características del usuario de estas viviendas.

En relación a los prototipos se identificaron cinco, donde predomina la vivienda económica con una recámara en lotes de 160 m<sup>2</sup> con fachada a la calle en el 58.5% de los casos con orientación al Norte, mientras que la fachada con mayor exposición al sol es la de orientación Sur, seguida de la fachada Oeste y la Noroeste (Figura 12).



Fuente: Romero et al. (2007)

Figura 12. Fachada de mayor exposición al sol en la vivienda económica en Mérida, Yucatán.

El Programa Nacional de Vivienda Económica del INFOVAVT, el cual se orienta a promover, incentivar y fomentar la construcción de viviendas con un valor que no exceda 118 veces el salario mínimo mensual (VSM) en el Distrito Federal que equivale a \$233,560.18 en el año 2007, para que sean adquiridas por trabajadores que tienen un ingreso entre 50% y ciento salarios mínimos. Sus características principales son que posee una habitación de usos múltiples en donde se pueden preparar alimentos, una recámara y un baño completo (Majocchi, 2005).

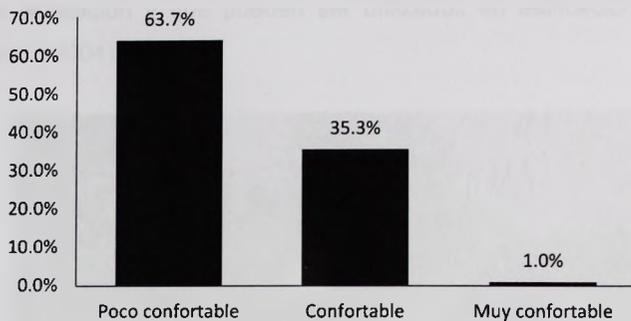
En el año 2007 de acuerdo con el proyecto de investigación Control térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones de clima cálido seco y húmedo, en Mérida, Yucatán se identificaron dos fraccionamientos de vivienda económica: 1) Tixcacal Quintan Villas y 2) Nueva San José Tecon. En este proyecto de investigación se especificaron datos generales, prototipos, aplicaciones y adecuaciones así como las características del usuario de estas viviendas.

En relación a los prototipos se identificaron cinco, donde predominan la vivienda económica con una recámara en lotes de 100 m<sup>2</sup> con fachada a la calle en el 58.5% de los casos con orientación al Norte, mientras que la fachada con mayor exposición al sol es la de orientación Sur, seguida de la fachada Oeste y la Noroeste (Figura 12).



Figura 12. Fachada de mayor exposición al sol en la vivienda económica en Mérida, Yucatán (Fuente: Tomado de la (2007))

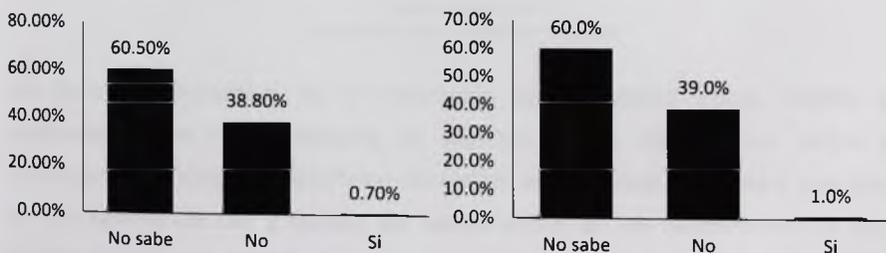
El material de construcción para muros es bloque de concreto común con techo a base de vigueta y bovedilla y con respecto al número de personas en la vivienda, 39.3% de los casos tiene cuatro habitantes. La percepción del usuario sobre su vivienda en temporada de calor mostró que solo el 1% la consideró muy confortable (Figura 13).



Fuente: Romero et al. (2007)

Figura 13. Percepción de la vivienda en temporada de calor en Mérida, Yucatán.

El estudio también muestra que el 60 % de los encuestados no supo si su vivienda contaba con aislamiento térmico en techo y muros, el 39% dijo no contar con tal aislamiento y solo el 1% dijo contar con aislamiento en techo y paredes (Figura 14).



Fuente: Romero et al. (2007)

Figura 14. Izquierda: Aislamiento en muros. Derecha: Aislamiento en techos en la vivienda económica en Mérida, Yucatán.

El estudio muestra que el 30% de los encuestados no sabe si su vivienda es térmica o no térmica, el 36% dijo que no controla en la vivienda con aislamiento térmico en techo y muros, el 36% dijo que controla en la vivienda y solo el 1% dijo controla con aislamiento en techo y paredes (Figura 14).



Figura 13. Percepción de si vivienda es térmica o no térmica en viviendas de calor en México (2007)

El estudio también muestra que el 66% de los encuestados no sabe si su vivienda es térmica o no térmica, el 36% dijo que no controla en la vivienda con aislamiento térmico en techo y muros, el 36% dijo que controla en la vivienda y solo el 1% dijo controla con aislamiento en techo y paredes (Figura 14).



Figura 14. Percepción de si vivienda es térmica o no térmica en viviendas de calor en México (2007)

### 3. Techos verdes

La incorporación de la vegetación a las envolventes de un edificio es una técnica constructiva que se ha utilizado desde hace cientos de años tanto en los climas fríos de Islandia, Escandinavia, Estados Unidos y Canadá, como en los climas cálidos de Tanzania (Figura 15). Los techos verdes son aquellos que están cubiertos parcial o totalmente de vegetación y que pueden ser utilizados en edificaciones nuevas o existentes (Minke, 2004).



Fuente: Minke (2004)

Figura 15. Casa "He he" en Tanzania.

La técnica constructiva de la naturación que incorpora masa vegetal a las edificaciones ha sido empleada en algunos países desde hace varios siglos (Theodosiou, 2003), sus beneficios consistían en mantener calientes a sus usuarios en las épocas de frío y reducir las temperaturas en las temporadas de calor. El primer ejemplo que se tiene de la incorporación de la vegetación a las construcciones no de manera adyacente sino como elementos sobre o en los edificios, son los jardines colgantes de Babilonia construidos en el siglo VI a. C (Ochoa, 1999).



Actualmente, el uso de la vegetación en los edificios ha aumentado al reconocerse sus beneficios ambientales, económicos, sociales y estéticos (Bianchini & Hegawe, 2012). Sin embargo, existen pocas investigaciones que sustenten lo anterior, específicamente para la ciudad de Mérida, Yucatán.

### 3.1. *Tipología.*

Por su sistema constructivo los techos verdes se dividen en dos tipos: 1) Modulares (indirectos) y 2) Tradicionales (directos). El sistema modular es aquel compuesto por módulos prefabricados, listos para su instalación y por lo general con la vegetación ya plantada (Figura 16). Los techos verdes modulares se dividen en tres subtipos: de tapete, de bandeja y a base de sacos.



Fuente: [www.toronto.ca/greenroofs/what.htm](http://www.toronto.ca/greenroofs/what.htm)

**Figura 16.** Sistema modular de techo verde.

El sistema de tapetes se caracteriza por tener la vegetación pre-plantada que puede enrollarse y luego ser transportado en partes, además de que son ligeros debido a su espesor aproximado de 0.045 m (Figura 17).

Actualmente el uso de la tecnología en los edificios se encuentra en un nivel de desarrollo que permite el uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC) en los edificios. En el campo de la arquitectura se han desarrollado una gran variedad de herramientas que permiten el diseño y la construcción de edificios de manera más eficiente y sostenible.

En el presente artículo se describe el uso de la tecnología de información y comunicación (TIC) en el diseño y la construcción de edificios. Se describe el uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC) en el diseño y la construcción de edificios. Se describe el uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC) en el diseño y la construcción de edificios.



Figura 1. Vista general del edificio de la Universidad de la Habana.

El uso de la tecnología de información y comunicación (TIC) en el diseño y la construcción de edificios es un campo que ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. Esto se debe a la necesidad de diseñar edificios que sean más eficientes y sostenibles, lo que requiere el uso de herramientas y técnicas avanzadas.



Fuente: Hui y Chan (2008)

**Figura 17.** Sistema modular de techo verde. Tipo tapete.

De acuerdo con Hui y Chan (2008), los sistemas de bandeja son los más reconocidos como sistemas modulares y los más utilizados en la práctica en comparación con los otros dos subtipos. Generalmente, se utilizan bandejas de plástico que incluyen o se llenan con un sistema de drenaje, un medio de crecimiento y la vegetación antes de la instalación. La mayor ventaja del sistema es que tanto el medio de crecimiento como la vegetación de una bandeja pueden removerse sin afectar otras bandejas adyacentes (Figura 18).



Fuente: Hui y Chan (2008)

**Figura 18.** Sistema modular de techo verde. Tipo bandeja.

Los sistemas tipo saco son módulos flexibles que pueden aplicarse en áreas irregulares o circulares. El medio de cultivo permanece sellado dentro de los sacos de tela hasta que se realicen las aberturas necesarias para la siembra, después de haberlos colocado en una superficie (Figura 19).



Figura 17. Vista aérea del área de estudio.

De acuerdo con Hui y Chen (2002) los sistemas de polders son los reconocidos como sistemas modulares y se han utilizado en muchos países en comparación con los otros dos sistemas. El sistema de polders incluye el drenaje que incluye a su vez un sistema de drenaje, un medio de drenaje y la vegetación antes de la inundación. El drenaje vertical del agua en un polder es un medio de drenaje que incluye un sistema de drenaje y un medio de drenaje. El drenaje vertical del agua en un polder es un medio de drenaje que incluye un sistema de drenaje y un medio de drenaje.



Figura 18. Vista aérea del área de estudio.

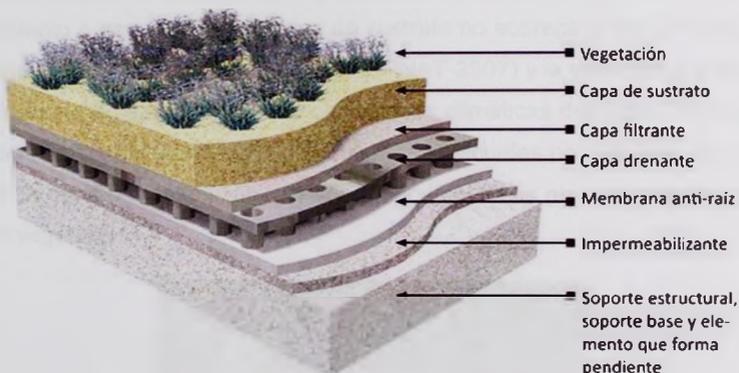
Los sistemas de polders son un tipo de sistema de drenaje que incluye un sistema de drenaje y un medio de drenaje. El drenaje vertical del agua en un polder es un medio de drenaje que incluye un sistema de drenaje y un medio de drenaje. El drenaje vertical del agua en un polder es un medio de drenaje que incluye un sistema de drenaje y un medio de drenaje.



Fuente: Hui y Chan (2008)

**Figura 19.** Sistema modular de techo verde. Tipo saco.

El sistema directo o tradicional (Figura 20) es más flexible en su diseño en comparación con los sistemas modulares, además de que se obtienen mayores beneficios en cuanto al desarrollo de la vegetación y la protección de la estructura de los edificios. Este método se divide en otros tres grupos de acuerdo a la profundidad del sustrato, el tipo de vegetación y el mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia, basado en la norma NADF-013-RNAT-2007

**Figura 20.** Capas de un techo verde tradicional.

De acuerdo con la profundidad del sustrato los techos verdes tradicionales se dividen en intensivos, extensivos y semi-intensivos. El método intensivo (Figura 21) es prácticamente un jardín creado a partir de capas de medio de crecimiento y vegetación con requerimientos de mantenimiento frecuente, cuya capa de sustrato es de 0.20 m como mínimo y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación es



Figura 24. Ejemplos de tipos de vegetación.

El sistema directo o tradicional (Figura 25) se basa en el diseño en  
 con los sistemas modernos, además de que se aplican mejoras  
 prácticas en cuanto al desarrollo de la vegetación y la protección de los suelos.  
 los árboles. Este método se divide en otros dos grupos de acuerdo a la forma de  
 desarrollo, el tipo de vegetación y el mantenimiento.



Figura 25. Cuidado del árbol.

De acuerdo con la profundidad del suelo, se toman varias técnicas para  
 las técnicas modernas. El método tradicional (Figura 26) se  
 un árbol creado a partir de un árbol de crecimiento y  
 vegetación con repuntes de mantenimiento de los árboles y vegetación se  
 0.50 m como mínimo, en la cual el peso de la capa de suelo y vegetación se

superior a los 250 kg/m<sup>2</sup> (NADF-013-RNAT-2007). Puede soportar arboles pequeños y arbustos.



Fuente: Berndtsson, Bengtsson y Jinno (2009)  
**Figura 21.** Sistema tradicional de techo verde. Tipo intensivo.

El método extensivo (Figura 22) a diferencia del intensivo requiere de poco mantenimiento o es casi nulo, su capa de sustrato no sobrepasa los 0.18 m, su peso varía entre los 110 y 140 kg/m<sup>2</sup> (NADF-013-RNAT-2007) y la selección de las plantas debe considerar su adaptación a las condiciones climáticas del lugar. Por lo general, se utilizan plantas del tipo *sedum* o suculentas, las cuales no requieren de una gran cantidad de agua o mantenimiento y son menos costosas en comparación con otras especies vegetales.



Fuente: Berndtsson, Bengtsson y Jinno (2009)  
**Figura 22.** Sistema tradicional de techo verde. Tipo Extensivo.



Figure 1. Relationship between number of items in list and number of items recalled.

The relationship between the number of items in a list and the number of items recalled is shown in Figure 1. The curve shows that the number of items recalled increases as the number of items in the list increases, but the rate of increase slows down as the number of items in the list increases. This is characteristic of a concave-down relationship. The data points are approximately: (1, 1), (2, 2), (3, 3), (4, 4), (5, 5), (6, 5.5), (7, 6), (8, 6.5), (9, 7), (10, 7.5).



Figure 2. Relationship between number of items in list and number of items recalled.

Los techos verdes semi-intensivos (Figura 23) pueden sostener plantas de porte bajo (como los sistemas extensivos) así como arbustos de mayor altura y densidad (como los sistemas intensivos). Su peso es de hasta  $250 \text{ kg/m}^2$  y de acuerdo con las características del sustrato empleado, vegetación plantada y uso para el que sea diseñado puede ser semi-intensivo o semi-extensivo.



Fuente: <http://www.greengridroofs.com/inspired/galleries/created.htm>  
**Figura 23.** Sistema tradicional de techo verde. Tipo semi-intensivo.

De acuerdo con la Norma NADF-013-RNAT-2007 que regula los parámetros técnicos de la naturación en azoteas en el Distrito Federal, para efectos del cálculo estructural, el peso de la naturación será considerado como una carga muerta y el valor deberá corresponder al indicado en la Tabla 7.

<b>Tabla 7</b>			
<i>Peso de la naturación en azoteas.</i>			
<b>Tipo de naturación</b>	Extensiva	Semi-intensiva	Intensiva
<b>Carga adicional</b>	110-140 $\text{kg/m}^2$	250 $\text{kg/m}^2$	>250 $\text{kg/m}^2$

Fuente: Norma NADF-013-RNAT-2007

Los techos verdes semi-intensivos (Figura 23) permiten sostener plantas de porte bajo (como los cactus y suculentas) y plantas de porte medio y denso (como las plantas de floración). El suelo es de hasta 250 kg/m<sup>3</sup> y de acuerdo con las características del sustrato empleado, vegetación plantada y uso para el que sea diseñado puede ser semi-extensivo o más-extensivo.

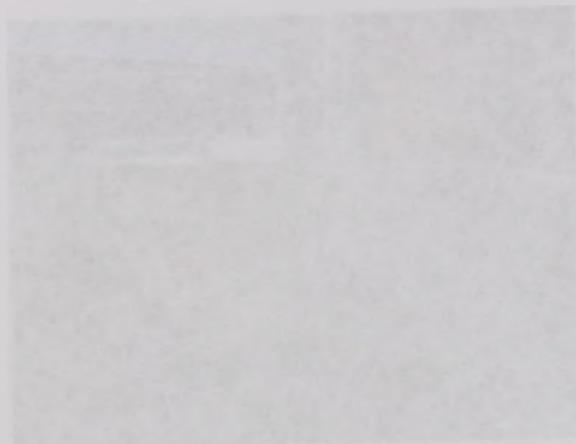


Figura 23. Corte transversal de un techo verde semi-intensivo.

De acuerdo con la Norma NADR-013-RMAT 2007 que regula los techos verdes, de la instalación en azoteas en el Distrito Central para efectos del cálculo estructural, el peso de la instalación será considerado como una carga muerta y el valor deberá corresponder al indicado en la Tabla 7.

Descripción	Valor (kg/m <sup>2</sup> )
Techo verde semi-intensivo	150
Techo verde más-extensivo	250

### 3.2. Ventajas y desventajas.

Los techos verdes son una técnica, sistema y estrategia que brindan múltiples beneficios, al aplicarlos se puede aprovechar el potencial biológico y solar del país, se contribuye a la recuperación de las áreas verdes de los espacios urbanos (García, 2010) y simultáneamente pueden influir en la calidad de vida de las personas al mejorar el desempeño térmico de las edificaciones, reducir costos de energía por climatización artificial y proporcionar condiciones de confort térmico.

Los beneficios obtenidos por la utilización de techos verdes pueden considerarse ventajas en comparación con otros sistemas aislantes o de enfriamiento aplicados a los techos (Santamouris, 2012). Investigaciones recientes muestran que las ventajas de los techos verdes son mayores a las desventajas que estos presentan (Bianchini & Hewage, 2012). La desventaja más común sobre los techos verdes es su costo inicial que depende de la cantidad y el tipo de materiales utilizados en su conformación, la Tabla 8 muestra algunas de estas ventajas y desventajas.

**Tabla 8**

*Ventajas y desventajas generales de los techos verdes.*

Ventajas	Desventajas
<p><b>Ambientales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitigación del efecto isla de calor urbano</li> <li>• Capacidad de retención de las aguas pluviales</li> <li>• Control de las variaciones de temperatura de un edificio</li> <li>• Efecto de aislamiento acústico</li> <li>• Conversión del dióxido de carbono en oxígeno por medio de la fotosíntesis</li> <li>• Reducción en la contaminación del aire y mejoramiento de su calidad</li> <li>• Creación de hábitats</li> <li>• Conservación y aumento de la biodiversidad</li> <li>• Recuperación del suelo utilizado por efectos de la urbanización</li> </ul> <p><b>Económicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción en el consumo de energía debido a la disminución de la demanda de uso de calentadores o sistemas de enfriamiento</li> <li>• Prolongación de la vida útil de la cubierta</li> </ul>	<p><b>Ambientales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento del consumo de agua por riego</li> <li>• Aumento de la biodiversidad, específicamente de animales rastreros</li> <li>• Utilización de polímeros en algunos de sus componentes, especialmente en sistemas modulares</li> </ul> <p><b>Económicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo inicial de la construcción</li> <li>• Costo por operación y mantenimiento</li> <li>• Costo por el reciclado de sus componentes</li> <li>• Falta de normas bien definidas para la calificación de techos verdes (en algunos países)</li> </ul> <p><b>Sociales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de desarrollo de un modelo ciudadano para la apropiación de proyectos verdes (en algunos países)</li> <li>• Aumento de la humedad en techos y muros en algunos periodos del año de acuerdo con las características del clima</li> </ul>

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 IANIGLA  
 INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

The first part of the report is devoted to a general overview of the situation in the country. It is followed by a detailed analysis of the economic and social indicators. The report also contains a list of recommendations for the government and the private sector.

The second part of the report is devoted to a detailed analysis of the economic and social indicators. It is followed by a list of recommendations for the government and the private sector.

ANNEXES

Annex 1	Annex 2
1.1. List of indicators	1.1. List of indicators
1.2. Description of indicators	1.2. Description of indicators
1.3. Data sources	1.3. Data sources
1.4. Methodology	1.4. Methodology
1.5. Results	1.5. Results
1.6. Conclusions	1.6. Conclusions
1.7. Recommendations	1.7. Recommendations
1.8. Bibliography	1.8. Bibliography
1.9. Appendix	1.9. Appendix
1.10. Glossary	1.10. Glossary
1.11. Index	1.11. Index
1.12. List of abbreviations	1.12. List of abbreviations
1.13. List of acronyms	1.13. List of acronyms
1.14. List of symbols	1.14. List of symbols
1.15. List of units	1.15. List of units
1.16. List of tables	1.16. List of tables
1.17. List of figures	1.17. List of figures
1.18. List of maps	1.18. List of maps
1.19. List of charts	1.19. List of charts
1.20. List of diagrams	1.20. List of diagrams
1.21. List of tables	1.21. List of tables
1.22. List of figures	1.22. List of figures
1.23. List of maps	1.23. List of maps
1.24. List of charts	1.24. List of charts
1.25. List of diagrams	1.25. List of diagrams
1.26. List of tables	1.26. List of tables
1.27. List of figures	1.27. List of figures
1.28. List of maps	1.28. List of maps
1.29. List of charts	1.29. List of charts
1.30. List of diagrams	1.30. List of diagrams
1.31. List of tables	1.31. List of tables
1.32. List of figures	1.32. List of figures
1.33. List of maps	1.33. List of maps
1.34. List of charts	1.34. List of charts
1.35. List of diagrams	1.35. List of diagrams
1.36. List of tables	1.36. List of tables
1.37. List of figures	1.37. List of figures
1.38. List of maps	1.38. List of maps
1.39. List of charts	1.39. List of charts
1.40. List of diagrams	1.40. List of diagrams
1.41. List of tables	1.41. List of tables
1.42. List of figures	1.42. List of figures
1.43. List of maps	1.43. List of maps
1.44. List of charts	1.44. List of charts
1.45. List of diagrams	1.45. List of diagrams
1.46. List of tables	1.46. List of tables
1.47. List of figures	1.47. List of figures
1.48. List of maps	1.48. List of maps
1.49. List of charts	1.49. List of charts
1.50. List of diagrams	1.50. List of diagrams
1.51. List of tables	1.51. List of tables
1.52. List of figures	1.52. List of figures
1.53. List of maps	1.53. List of maps
1.54. List of charts	1.54. List of charts
1.55. List of diagrams	1.55. List of diagrams
1.56. List of tables	1.56. List of tables
1.57. List of figures	1.57. List of figures
1.58. List of maps	1.58. List of maps
1.59. List of charts	1.59. List of charts
1.60. List of diagrams	1.60. List of diagrams
1.61. List of tables	1.61. List of tables
1.62. List of figures	1.62. List of figures
1.63. List of maps	1.63. List of maps
1.64. List of charts	1.64. List of charts
1.65. List of diagrams	1.65. List of diagrams
1.66. List of tables	1.66. List of tables
1.67. List of figures	1.67. List of figures
1.68. List of maps	1.68. List of maps
1.69. List of charts	1.69. List of charts
1.70. List of diagrams	1.70. List of diagrams
1.71. List of tables	1.71. List of tables
1.72. List of figures	1.72. List of figures
1.73. List of maps	1.73. List of maps
1.74. List of charts	1.74. List of charts
1.75. List of diagrams	1.75. List of diagrams
1.76. List of tables	1.76. List of tables
1.77. List of figures	1.77. List of figures
1.78. List of maps	1.78. List of maps
1.79. List of charts	1.79. List of charts
1.80. List of diagrams	1.80. List of diagrams
1.81. List of tables	1.81. List of tables
1.82. List of figures	1.82. List of figures
1.83. List of maps	1.83. List of maps
1.84. List of charts	1.84. List of charts
1.85. List of diagrams	1.85. List of diagrams
1.86. List of tables	1.86. List of tables
1.87. List of figures	1.87. List of figures
1.88. List of maps	1.88. List of maps
1.89. List of charts	1.89. List of charts
1.90. List of diagrams	1.90. List of diagrams
1.91. List of tables	1.91. List of tables
1.92. List of figures	1.92. List of figures
1.93. List of maps	1.93. List of maps
1.94. List of charts	1.94. List of charts
1.95. List of diagrams	1.95. List of diagrams
1.96. List of tables	1.96. List of tables
1.97. List of figures	1.97. List of figures
1.98. List of maps	1.98. List of maps
1.99. List of charts	1.99. List of charts
1.100. List of diagrams	1.100. List of diagrams

**Tabla 8****Ventajas y desventajas generales de los techos verdes.**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Aumento del valor de las propiedades en el mercado</li><li>• Reducción en el pago de impuestos (en algunas ciudades como Nueva York).</li></ul> <p>Sociales:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Aumento del espacio útil, se crean espacios de esparcimiento y descanso</li><li>• Posibilidad de creación de huertos urbanos y pueden promover la agricultura urbana</li></ul> <p>Estéticas:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Creación de paisajes verdes, lo que puede mejorar la imagen urbana</li><li>• Rehabilitación de espacios urbanos en desuso, lo que puede contribuir a la imagen de la ciudad</li></ul>	

Fuente: Elaboración propia basado en García (2010), Bianchini y Hewage (2012), Saadatian et al. (2013), Carter y Fowler (2008)

Los techos verdes pueden generar beneficios a diferentes escalas, lo cual justifica su uso en diversos países, sin embargo, en México las desventajas presentadas en la Tabla 8 son un impedimento para la aplicación de estos sistemas a los edificios. Avances en la normatividad vigente y la apropiación social de los techos verdes son algunos de los problemas a los que se enfrentan los arquitectos, diseñadores y urbanistas de la actualidad.

### **3.3. Métodos de evaluación.**

La revisión bibliográfica permitió identificar dos métodos comúnmente usados para la evaluación de techos verdes: 1) Modelos de simulación por computadora y 2) Modelos experimentales. Según Santamouris (2012) las investigaciones sobre techos verdes están enfocadas al estudio de cuatro parámetros que definen su comportamiento: a) Variables climatológicas, b) Variables térmicas, c) Variables hidrológicas y d) Variables ópticas.

Santamouris (2012) menciona que la mayoría de los estudios existentes se basan en modelos de simulación a mesoescala y los resultados obtenidos dependen



completamente de las características regionales específicas y hechos supuestos, mientras que son pocos los estudios experimentales disponibles.

Para evaluar el potencial de mitigación del efecto isla de calor urbano se utilizan principalmente técnicas de simulación y techos verdes de tipo extensivo (Santamouris, 2012). Las investigaciones de simulación por computadora identificadas en la tabla 9 son principalmente de regiones de Estados Unidos, Japón y China.

**Tabla 9**  
*Estudios de simulación. Techos verdes.*

Referencia	Ciudad	Tipo de investigación	Tipo de techo verde	Resultados
Smith y Roeber (2011). Citado en Santamouris (2012).	Chicago E.U.A.	Simulación. Utilizó modelos de predicción y estados del tiempo meteorológico	Extensivo	Temperaturas urbanas de las 19:00-23:00 horas 2-3 K menos en comparación con las temperaturas simuladas sin el uso del techo verde
Savio et al. (2006). Citado en Santamouris (2012).	New York, E.U.A.	Simulación. Se usó un modelo de predicción meteorológica (MM5).	Extensivo	Temperaturas máximas a 2 m de altura disminuyeron de 0.37-0.86 K cuando la temperatura diaria promedio disminuye 0.30-0.55 K
Chen et al. (2009). Citado en Santamouris (2012).	Tokio, Japón	Simulación. Se utilizó el modelo CSCRC.	Extensivo	Impacto menor de los techos verdes debido a la altura de los edificios
Ng et al. (2012). Citado en Santamouris (2012).	Hong Kong, China	Simulación. Se usó la herramienta EnviMet	Extensivo	Impacto menor de los techos verdes debido a la altura de los edificios
Scherba et al. (2011). Citado en Santamouris (2012).	Estados Unidos	Simulación ( <i>Energy Plus</i> ) asistido por datos experimentales	No mencionado	Se comparó un techo verde con un techo reflejante. Se utilizaron los valores por default del programa <i>Energy Plus</i> para el análisis del techo verde. El techo reflejante muestra valores de temperatura menores a los obtenidos con el techo verde.

Fuente: Santamouris (2012)

Los estudios experimentales se han enfocado en evaluar los efectos de la aplicación de los techos verdes a los edificios en periodos climáticos críticos. La tabla 10 muestra algunas investigaciones experimentales que Santamouris (2012) considera

completamente de las características químicas específicas y factores ambientales, mientras que son pocos los estudios experimentales disponibles.

Para evaluar el potencial de migración del estado sólido de color cuando se utilizan principalmente técnicas de simulación y factores variables de tipo sedimentario (Santamaría 2012). Las investigaciones de resultados por comparación identificadas en la tabla 9 son principalmente de regiones de Estados Unidos, Japón y China.

Referencia	País	Técnica	Factores ambientales	Variables de tipo sedimentario	Objetivo del estudio
Wang et al. (2012)	China	Modelado matemático	Temperatura, humedad, pH	Granos de arcilla, materia orgánica	Estimar la liberación de colorante de los sedimentos
Wang et al. (2012)	China	Modelado matemático	Temperatura, humedad, pH	Granos de arcilla, materia orgánica	Estimar la liberación de colorante de los sedimentos
Wang et al. (2012)	China	Modelado matemático	Temperatura, humedad, pH	Granos de arcilla, materia orgánica	Estimar la liberación de colorante de los sedimentos
Wang et al. (2012)	China	Modelado matemático	Temperatura, humedad, pH	Granos de arcilla, materia orgánica	Estimar la liberación de colorante de los sedimentos
Wang et al. (2012)	China	Modelado matemático	Temperatura, humedad, pH	Granos de arcilla, materia orgánica	Estimar la liberación de colorante de los sedimentos
Wang et al. (2012)	China	Modelado matemático	Temperatura, humedad, pH	Granos de arcilla, materia orgánica	Estimar la liberación de colorante de los sedimentos
Wang et al. (2012)	China	Modelado matemático	Temperatura, humedad, pH	Granos de arcilla, materia orgánica	Estimar la liberación de colorante de los sedimentos
Wang et al. (2012)	China	Modelado matemático	Temperatura, humedad, pH	Granos de arcilla, materia orgánica	Estimar la liberación de colorante de los sedimentos
Wang et al. (2012)	China	Modelado matemático	Temperatura, humedad, pH	Granos de arcilla, materia orgánica	Estimar la liberación de colorante de los sedimentos
Wang et al. (2012)	China	Modelado matemático	Temperatura, humedad, pH	Granos de arcilla, materia orgánica	Estimar la liberación de colorante de los sedimentos

Los estudios experimentales se han enfocados en evaluar los efectos de la aplicación de los factores variables a los sedimentos en periodos límites críticos. La tabla 10 muestra algunas investigaciones experimentales que Santamaría (2012) consideró.

relevantes por las aportaciones del techo verde para la mitigación del efecto isla de calor urbano, la reducción de la temperatura ambiente a mesoescala y sus beneficios térmicos. Otros estudios experimentales son mencionados en las Tablas 1, 2 y 3.

Tabla 10				
Estudios experimentales. Techos verdes.				
Referencia	Ciudad	Tipo de investigación	Tipo de techo verde	Resultados
Takebayashi y Moriyama (2007). Citado en Santamouris (2012).	Kobe, Japón	Experimental	Extensivo (pasto)	El flujo de calor latente durante el periodo crítico tuvo un rango de 400-600 W/m <sup>2</sup>
Simmons et al. (2008).	Austin, Texas	Experimental	Seis tipos de techo verde de tipo extensivo	La temperatura del techo verde osciló entre los 31°C y 38°C. Regado a mano para obtener una capa de humedad mínima de 20 mm por semana.
Susca et al. (2011). Citado en Santamouris (2012).	New York, E.U.A	Experimental	No mencionado	La temperatura del techo verde fue de 1 a 8 K menor a la registrada en un techo con membrana color blanco. La instalación de un techo verde mostró ahorros de energía de un 40 a 110% en comparación con un techo reflejante.
Gaffin et al. (2005). Citado en Santamouris (2012).	Pensilvania, Estados Unidos	Simulación (Modelo de balance de energía) y Experimental	Extensivo ( <i>Sedum Spurium</i> )	Se utilizaron ecuaciones de balance de energía con datos experimentales de techos verdes existentes para comparar el albedo de un techo reflejante y un techo verde.

Fuente: Santamouris (2012)

La revisión bibliográfica permitió identificar además de los estudios basados en modelos de simulación y modelos experimentales, estudios de tipo exploratorio. Las investigaciones exploratorias se caracterizan por proporcionar datos poco estudiados de los techos verdes y que pueden motivar la realización de estudios posteriores. Como ejemplo se puede mencionar la investigación de Sailor et al. (Citado en Santamouris, 2012) cuyo objetivo fue demostrar el ahorro de energía de nueve tipos de techos verdes que se compararon con el programa *Energy Plus* y se concluyó que en climas cálidos estos techos no presentan altos niveles de ahorro energético.

relevante por las características del factor vector que se relaciona con el nivel de calor urbano, la relación de la temperatura ambiente a nivel de calle y sus parámetros técnicos. Otras variables experimentales son reportadas en los Tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1	Tabla 2	Tabla 3	Tabla 4	Tabla 5
<p>Tabla 1: Descripción de las variables experimentales y sus unidades.</p> <p>Variable: Temperatura ambiente (T<sub>a</sub>)</p> <p>Unidad: °C</p> <p>Variable: Temperatura de radiación (T<sub>r</sub>)</p> <p>Unidad: °C</p> <p>Variable: Humedad relativa (RH)</p> <p>Unidad: %</p> <p>Variable: Velocidad del viento (V)</p> <p>Unidad: m/s</p> <p>Variable: Altura del sensor (H)</p> <p>Unidad: m</p>	<p>Tabla 2: Descripción de las variables experimentales y sus unidades.</p> <p>Variable: Temperatura ambiente (T<sub>a</sub>)</p> <p>Unidad: °C</p> <p>Variable: Temperatura de radiación (T<sub>r</sub>)</p> <p>Unidad: °C</p> <p>Variable: Humedad relativa (RH)</p> <p>Unidad: %</p> <p>Variable: Velocidad del viento (V)</p> <p>Unidad: m/s</p> <p>Variable: Altura del sensor (H)</p> <p>Unidad: m</p>	<p>Tabla 3: Descripción de las variables experimentales y sus unidades.</p> <p>Variable: Temperatura ambiente (T<sub>a</sub>)</p> <p>Unidad: °C</p> <p>Variable: Temperatura de radiación (T<sub>r</sub>)</p> <p>Unidad: °C</p> <p>Variable: Humedad relativa (RH)</p> <p>Unidad: %</p> <p>Variable: Velocidad del viento (V)</p> <p>Unidad: m/s</p> <p>Variable: Altura del sensor (H)</p> <p>Unidad: m</p>	<p>Tabla 4: Descripción de las variables experimentales y sus unidades.</p> <p>Variable: Temperatura ambiente (T<sub>a</sub>)</p> <p>Unidad: °C</p> <p>Variable: Temperatura de radiación (T<sub>r</sub>)</p> <p>Unidad: °C</p> <p>Variable: Humedad relativa (RH)</p> <p>Unidad: %</p> <p>Variable: Velocidad del viento (V)</p> <p>Unidad: m/s</p> <p>Variable: Altura del sensor (H)</p> <p>Unidad: m</p>	<p>Tabla 5: Descripción de las variables experimentales y sus unidades.</p> <p>Variable: Temperatura ambiente (T<sub>a</sub>)</p> <p>Unidad: °C</p> <p>Variable: Temperatura de radiación (T<sub>r</sub>)</p> <p>Unidad: °C</p> <p>Variable: Humedad relativa (RH)</p> <p>Unidad: %</p> <p>Variable: Velocidad del viento (V)</p> <p>Unidad: m/s</p> <p>Variable: Altura del sensor (H)</p> <p>Unidad: m</p>

La revisión bibliográfica permitió identificar además de los estudios citados en los artículos de revisión y artículos experimentales, artículos de los siguientes temas: Investigaciones experimentales en desarrollo por grupos de investigación de la Universidad de la Costa, que permiten mejorar la ventilación de edificios comerciales. Como ejemplo se puede mencionar la investigación de García et al. (2012) en Santamaría (2012) cuyo objetivo fue determinar el efecto de energía de calefacción de los factores vectoriales que se observaron con el programa Energy Plus, se concluyó que en climas cálidos estos factores no presentan otros niveles de confort energético.

#### **4. Confort térmico**

El concepto de confort ha evolucionado con el paso del tiempo, inicialmente fue sinónimo de confortar, consolar o reforzar debido al significado de su raíz latina *confortare*. Según Rybczynski (2003), en la edad media era común que en las viviendas convivieran hasta 20 personas en una misma habitación, entre sirvientes, amigos o protegidos los habitantes realizaban sus actividades cotidianas sin tener una idea precisa de confort.

El confort aparece en el siglo XVII para definir límites entre lo público y lo privado, se relacionó con la idea de intimidad y domesticidad. En el siglo XVIII la palabra confort se refería al ocio y las comodidades, muchas veces aspectos exclusivos de la burguesía. La revolución industrial evidenció un gran desarrollo en el control de los espacios interiores al optimizarlos mediante lámparas, ventiladores, materiales de construcción, entre otros. En el siglo XIX el confort se tradujo como la calidad de los elementos en los que intervenía lo mecánico, como la luz, el calor, el frío o la ventilación (Rybczynski, 2003).

En los primeros años del siglo XX las llamadas ingenierías domésticas marcaron la eficiencia y la comodidad como ideas de confort. A partir de la segunda mitad de este siglo, se le consideró como algo cuantificable, medible y sobre todo pertinente de estudiar (Rybczynski, 2003).

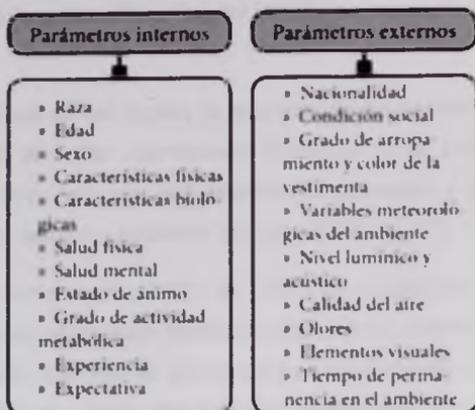
El concepto de confort puede describir un sentimiento de satisfacción, una sensación de comodidad o un estado de bienestar físico y mental (Chappells & Shove, 2004). Según Fuentes (2009) el término confort es un galicismo, que puede ser sustituido por el de "bienestar", sin embargo, este concepto está relacionado directamente con la salud del individuo y otros factores que se pueden dividir en dos grupos: 1) Los factores endógenos o internos del individuo y 2) Los factores exógenos o externos y que no dependen del individuo (Figura 24).

El presente trabajo tiene como objetivo principal analizar el impacto de las políticas económicas implementadas en el país durante el periodo comprendido entre 1980 y 1985. En primer lugar, se describen las características generales de la economía nacional en dicho periodo, destacando el crecimiento sostenido que experimentó, así como las reformas estructurales que se llevaron a cabo. Posteriormente, se examina el efecto de las políticas monetarias y fiscales, así como de las medidas de control de precios y salarios, en el desempeño macroeconómico. Finalmente, se concluye que, a pesar de los desafíos que enfrentó el país, las políticas implementadas contribuyeron a mantener la estabilidad económica y a promover el desarrollo.

En el contexto de la crisis económica mundial de los años ochenta, el país experimentó una profunda transformación. Las políticas de ajuste estructural, impulsadas por organismos internacionales, tuvieron un impacto significativo en la economía. Se priorizó la reducción del déficit fiscal y la liberalización de los mercados. Estas medidas, aunque inicialmente generaron controversia, permitieron al país superar la crisis y reanudar su crecimiento. Sin embargo, también se observó un aumento de la desigualdad social y la migración de la fuerza de trabajo hacia el extranjero. Por lo tanto, es necesario evaluar críticamente el impacto de estas políticas y considerar alternativas para promover un desarrollo más equitativo y sostenible.

El análisis de los datos estadísticos muestra que, a pesar de las dificultades, el país logró mantener un nivel de inflación bajo y un crecimiento constante. Esto se debió en gran medida a la implementación de políticas monetarias prudentes y a la estabilidad política que se mantuvo durante el periodo. Sin embargo, la dependencia del sector externo y la vulnerabilidad ante las crisis financieras globales siguen siendo desafíos importantes que deben ser abordados en el futuro.

En conclusión, el periodo de 1980 a 1985 fue una etapa crucial en la historia económica del país. Las políticas implementadas, aunque no exentas de críticas, jugaron un papel fundamental en la superación de la crisis y en el logro de un crecimiento sostenido. Sin embargo, es necesario continuar trabajando en la mejora de la estructura económica y social para garantizar un futuro próspero y equitativo para todos los ciudadanos.



Fuente: Elaboración propia, basado en Fuentes (2009)

**Figura 24.** Parámetros de confort.

Los primeros estudios sobre el confort relacionado con la temperatura del ambiente en espacios interiores se realizaron en las fábricas europeas a finales de la revolución industrial, con el fin de incrementar la productividad de los obreros. Heberden (Citado en Fuentes, 2009) en 1826, fue uno de los primeros científicos que relacionó la sensación de confort no solo con la temperatura sino también con la humedad del aire.

El uso del aire acondicionado y de nuevos materiales de construcción incrementó la necesidad de hablar de confort térmico en términos cuantificables. En 1902 Carrier definió las bases del aire acondicionado y desarrolló el concepto de climatización. Durante aquellos años, el objetivo principal de Carrier era mejorar el desarrollo del proceso industrial a través de continuos cambios tecnológicos que permitieran el control de la temperatura y la humedad. Los primeros en utilizar el sistema de aire acondicionado de Carrier fueron las industrias textiles del sur de Estados Unidos ("Historia del aire acondicionado", s.f.).

En 1923 Houghton y Yaglou definieron a la zona de confort como el clima ideal basado en mediciones fisiológicas, a partir del cálculo de una temperatura efectiva



The first part of the document is a list of items. The second part is a list of items. The third part is a list of items. The fourth part is a list of items. The fifth part is a list of items.

The sixth part of the document is a list of items. The seventh part is a list of items. The eighth part is a list of items. The ninth part is a list of items. The tenth part is a list of items.

The eleventh part of the document is a list of items. The twelfth part is a list of items. The thirteenth part is a list of items.

que consideraba al aire quieto. Para Olgay (1998) las zonas de confort del individuo son:

“...aquellas áreas en las cuales la temperatura se encuentra entre el frío que puede tolerar sin estar demasiado incómodo y el punto que le permita adaptarse al calor, sin que sus sistemas circulatorios y de secreción tengan que realizar un esfuerzo excesivo” (Olgay, 1998, p. 17).

Bedford (Citado en Santamouris, 2007) en 1936, fue el primero en realizar estudios en cuartos cerrados con ambientes térmicos controlados y definió siete puntos donde las personas elegían el que más se ajustara a su sensación del ambiente térmico. De acuerdo con Santamouris (2007), Bedford hizo mediciones del ambiente térmico en aproximadamente 2 500 obreros de la industria de la luz en el Reino Unido, especialmente en temporada invernal.

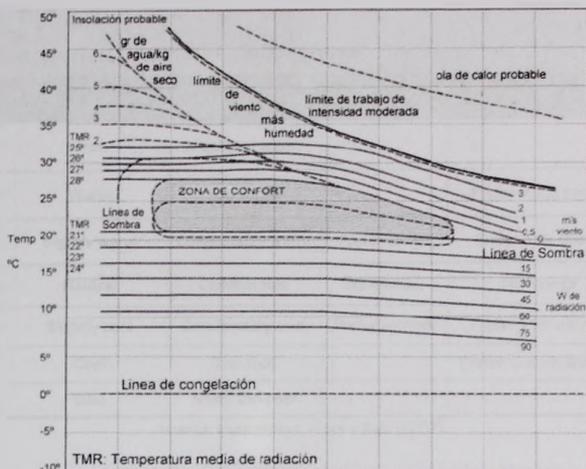
Bedford es considerado precursor del enfoque de adaptación debido a su escala de sensaciones térmicas que aún se utiliza. También desarrolló el índice de calor equivalente e hizo algunas modificaciones al modelo de temperatura equivalente (Eq<sub>t</sub>) de Dufton. Las aportaciones de Bedford al estudio del confort térmico aún prevalecen después de más de 80 años (Bojórquez, 2010).

Bedford encontró como resultado de sus experimentos que la temperatura óptima para el confort térmico era de 18°C (65°F). También realizó estudios sobre temperatura neutral (T<sub>n</sub>), es decir, la temperatura que le corresponde a una sensación térmica confortable (Bojórquez, 2010).

Olgay define en 1963 al confort como un equilibrio biológico donde el cuerpo humano produce diversas reacciones físicas y psicológicas debido a la incidencia directa de elementos del entorno como: luz, clima, sonido, espacio, entre otros. Es un esfuerzo producido por el hombre para llegar a las condiciones bajo las cuales se alcance una zona de confort. La gráfica de datos climáticos de Olgay relaciona ambientes exteriores con los requerimientos de confort térmico, en los que se

...the results of the study ...

determinan las correcciones necesarias para lograr un ambiente interior adecuado (Figura 25).



Fuente: Simancas (2003)

Figura 25. Zona de confort en diagrama bioclimático de Olgay.

Fanger (1973) considera que un hombre estará en equilibrio térmico cuando su producción interna de calor corporal sea igual a la pérdida de calor hacia el ambiente en el que se encuentra. Fanger establece un índice de valoración denominado *Predicted Mean Vote* (PMV) y el *Percentage of People Dissatisfied* (PPD), los cuales sirven para reflejar la opinión de un grupo de personas sobre su sensación térmica. Fanger (Citado en Santamouris 2007) retoma la escala de Bedford que va de +3 a -3 con una categoría neutral igual a cero, donde las personas eligen la que más se adecue a su sensación térmica (Tabla 11).

Fanger inició la investigación sistemática en el confort térmico, así como la incorporación del efecto de la ropa y el metabolismo en el estudio sobre el intercambio de calor de las personas, por lo cual es uno de los autores más citados en cualquier trabajo relacionado con el confort térmico. Los estudios de Fanger sirvieron de base para la Norma ISO 7730, ANSI/ASHRAE 55: 2010 y para



The graph illustrates the growth of the variable over the period from 1980 to 1995. The data shows a consistent upward trend, starting at a value of 10 in 1980 and reaching 100 by 1995. The rate of increase appears to be slightly higher in the later years of the period.

This trend is characteristic of the variable being measured, which shows a steady and accelerating increase over the 15-year period. The data points are as follows:

Year	Value
1980	10
1981	12
1982	15
1983	18
1984	22
1985	28
1986	35
1987	42
1988	50
1989	58
1990	65
1991	72
1992	80
1993	88
1994	95
1995	100

propuestas de escalas de preferencia térmica de otros autores que consideran la adaptación de las personas al ambiente en el que se encuentran (Tabla 11).

**Tabla 11**  
*Escala de sensaciones y preferencia del ambiente térmico.*

	ASHRAE/ISO 7730	Bedford	McIntyre	Nicol
+3	Hot	Much too warm		
+2	Warm	Too warm		Prefer much cooler
+1	Slightly warm	Comfortably warm	Prefer cooler	Prefer a bit cooler
0	Neutral	Comfortable	No change	No change
-1	Slightly cool	Comfortably cool	Prefer warmer	Prefer a bit warmer
-2	Cool	Too cool		Prefer a much warmer
-3	cold	Much too cool		

Fuente: Humphreys, Nicol y Raja (2007).

El método empleado por Fanger (1970) para la valoración del confort térmico en espacios interiores contempla variables del ambiente como la temperatura del aire, la temperatura radiante, la velocidad del aire y la humedad relativa, así como el grado de arropamiento y el metabolismo resultado de las actividades típicas.

Lo anterior se ve reflejado en la ecuación siguiente:

$$PMV = ts \cdot (M - W - Ed - E - Eres - Cres - R - C) \quad (2)$$

Dónde:

*ts*= coeficiente de transferencia de sensación térmica

*M*= Trabajo mecánico externo

*W*= Energía metabólica producida por el organismo

*Ed*= Pérdida de calor por difusión de agua por la piel

*E*= Pérdida de calor por evaporación del sudor

*Eres*= Pérdida de calor latente por respiración

*Cres*= Pérdida de calor sensible por respiración

*R*= Pérdida de calor por radiación

*C*= Pérdida de calor por convección

Para Critchfield (Citado en Gómez, Bojórquez & Ruiz, 2007), la explicación operativa del confort térmico se reduce a un estado de equilibrio resultante del balance de las

propiedad de ser un grupo abeliano de orden finito. La demostración de la  
 adición de los generadores de los grupos de Galois se encuentra en [10].

Grupos	Orden	Generadores
$G_1$	2	$\sigma_1$
$G_2$	4	$\sigma_1, \sigma_2$
$G_3$	8	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$
$G_4$	16	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$
$G_5$	32	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5$
$G_6$	64	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6$
$G_7$	128	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7$
$G_8$	256	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8$

Tabla 1. Grupos de Galois de los polinomios de Chebyshev.

El método empleado por Farjot [10] para la elección del orden mínimo en  
 espacios tridimensionales consiste en encontrar los valores mínimos de las  
 temperaturas locales. La elección del orden se realiza de modo que  
 los algoritmos y el procesamiento resulten de las acciones locales.

Lo anterior se va reflejando en la ecuación siguiente:

$$PMV = \alpha \cdot (M - W) + \beta \cdot (C - E) + \gamma \cdot (D - Q) \quad (1)$$

donde:

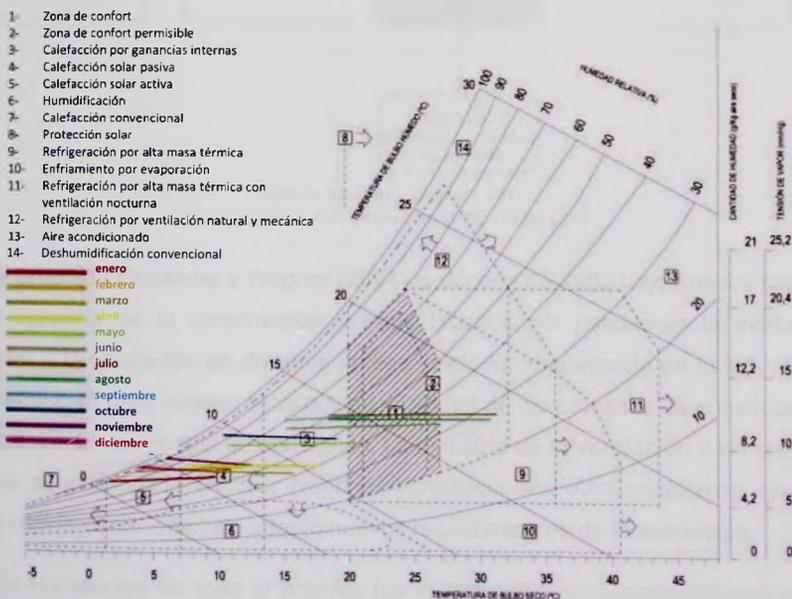
- 1- El valor de cada uno de los generadores.
- 2- El orden de cada uno de los generadores.
- 3- El número de generadores que se van a utilizar.
- 4- El número de generadores que se van a utilizar.
- 5- El número de generadores que se van a utilizar.
- 6- El número de generadores que se van a utilizar.
- 7- El número de generadores que se van a utilizar.
- 8- El número de generadores que se van a utilizar.

Para Chebyshev (Caso en General) se puede aplicar el algoritmo siguiente:  
 del orden mínimo se reduce a un estado de equilibrio térmico, en el balance de las

cargas térmicas que se intercambian entre el cuerpo humano y su ambiente inmediato, debido al proceso químico del metabolismo y al proceso fisiológico de termorregulación, en respuesta a elementos externos del clima: radiación, temperatura, humedad y movimiento del aire, como elementos principales.

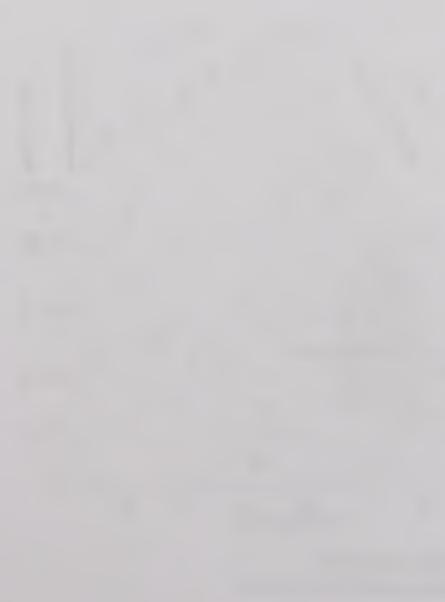
Givoni (1997) define el confort térmico como un rango de condiciones climáticas consideradas cómodas y aceptables dentro de los edificios, que implica la ausencia de cualquier sensación de disconfort tanto por calor o frío, donde el ser humano influye ya sea por medio de metabolismo basal o muscular como productor de calor.

El método diseñado por Givoni se basa, al igual que el diagrama bioclimático de Olgay, en establecer una zona de confort con valores de temperatura y humedad del aire, que se traza sobre un diagrama psicrométrico. Para Givoni (1997) esta zona se delimita entre los 21°C y los 26°C con límites de 20°C a 28°C (Figura 26).



Fuente: Givoni (1997)  
**Figura 26.** Carta psicrométrica de Givoni

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

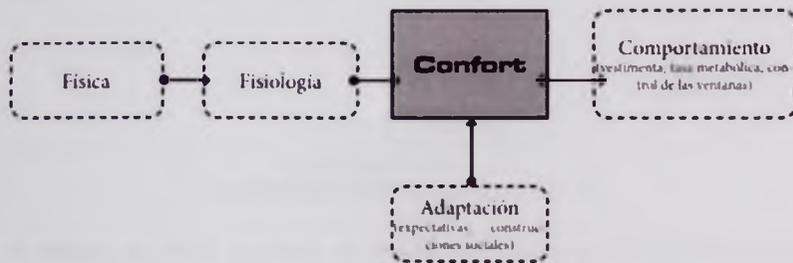


- Vertical list of text on the right side of the page, possibly a legend or a list of items. The text is too faint to read.

Faint text at the bottom of the page, possibly a footer or a concluding sentence.

Los modelos de balance térmico mencionados, consideran a las personas como sujetos pasivos a estímulos térmicos sin considerar su capacidad de adaptación al ambiente. Humphreys et al. (2007) menciona que las personas no son entes pasivos receptores de su ambiente térmico, sino que interactúan de manera activa con él.

Según Gossauer y Wagner (2007) la adaptación se puede dar de manera fisiológica, psicológica y de acuerdo con el comportamiento del ser humano, donde las condiciones físicas de los ambientes interiores influyen en la fisiología del hombre y en las posibles condiciones subjetivas de confort o discomfort. En 1970, para los estudios referentes al confort térmico se consideraba a la adaptación como un enfoque de causa y efecto (Figura 27).

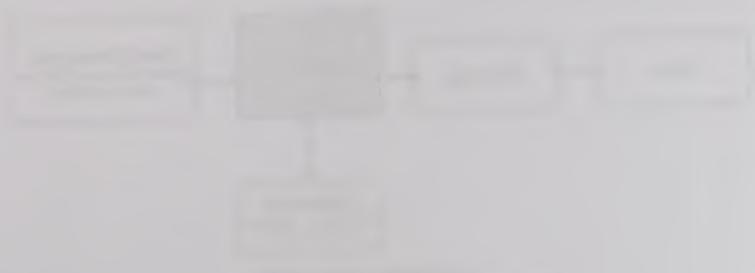


Fuente: Gossauer y Wagner (2007)  
 Figura 27. Confort térmico en la década de 1970

De acuerdo con Gossauer y Wagner (2007) la década de 1980 trajo nuevos cambios en la industria de la construcción y otros intentos por establecer la evaluación posterior a la ocupación en diversos países. Inició la competencia en la industria de la construcción para mejorar la velocidad y calidad de los procesos de construcción y la reducción de los costos de materiales. La industria de la ventilación y los sistemas de aire acondicionado (HVAC: *Heating, Ventilation and Air-Conditioning systems*) creció rápidamente e incluso adoptó nuevos requerimientos de la tecnología.

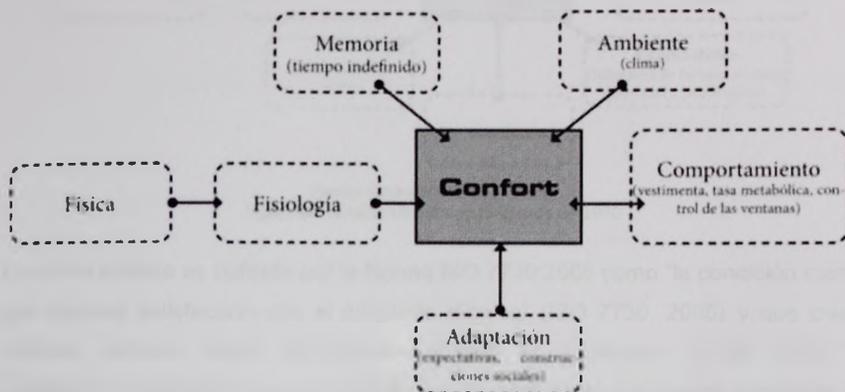
Uno de los efectos de todo lo anterior fue la extensión de la definición de confort térmico, para Cooper (1982) los estándares de confort son construcciones sociales, que reflejan las creencias, valores, expectativas y aspiraciones de quienes los

... de ... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..



... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

construyen. Brager y de Dear (Citado en Gossauer & Wagner, 2007) mencionan que para la década de 1980 el confort térmico se consideró como un fenómeno multivariado influenciado por el comportamiento y las expectativas, así como por el ambiente y la memoria (Figura 28).



Fuente: Gossauer y Wagner (2007)

Figura 28. Confort térmico en la década de 1980

En la década de 1990, aumentó el interés por encontrar correlaciones entre los diferentes parámetros de los ambientes interiores y la salud, confort y productividad en el trabajo, en comparación con años anteriores. Encuestas de campo, sobre todo dirigidas independientemente, fueron realizadas en diferentes ciudades para analizar diferentes parámetros de confort y como las personas reaccionaban a los cambios del ambiente interior en distintos contextos climáticos (Figura 29).

Construye un diagrama de flujo que describa el proceso de selección de un candidato para el cargo de 1990. El candidato debe ser seleccionado antes de la fecha de inicio de la actividad. El proceso debe incluir la evaluación de los requisitos y la selección del candidato más adecuado.

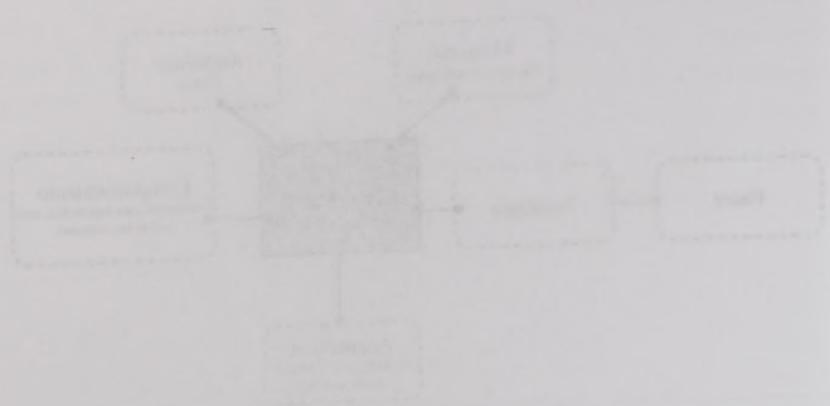
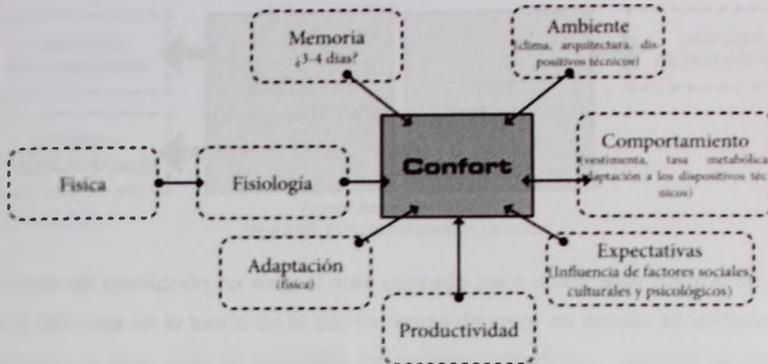


Diagrama de flujo de selección de candidato

En la década de 1990, cuando el mundo del comercio electrónico estaba en sus inicios, las empresas buscaban formas de mejorar su eficiencia y reducir costos. Una de las estrategias más efectivas fue la implementación de sistemas de gestión de recursos humanos (HRM) basados en tecnología. Estos sistemas permitían a las empresas atraer y retener talento de manera más efectiva, lo que resultó en un aumento de la productividad y la competitividad en el mercado. Además, la automatización de procesos de selección y evaluación de desempeño redujo el tiempo y los recursos necesarios para encontrar y desarrollar el personal adecuado. Esto permitió a las empresas centrarse en sus actividades principales y crecer de manera sostenible.



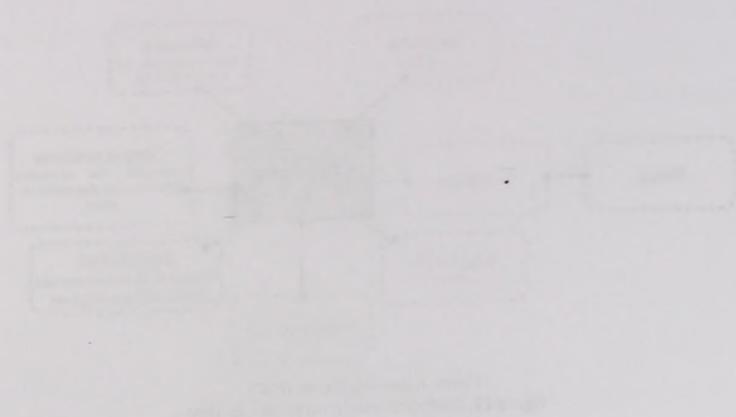
Fuente: Gossauer y Wagner (2007)

Figura 29. Confort térmico en la década de 1990

El confort térmico es definido por la Norma ISO 7730:2005 como “la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico” (ISO 7730, 2005) y que puede definirse también según Nikolopoulou (citado en Bojórquez, 2010) como “la satisfacción psicofisiológica del humano con respecto a las condiciones climáticas del entorno”. La creciente complejidad de los ambientes interiores dificulta las mediciones de confort térmico, debido a la cantidad de variables que intervienen en la sensación térmica de los individuos.

#### 4.1. Enfoques y modelos de estudio.

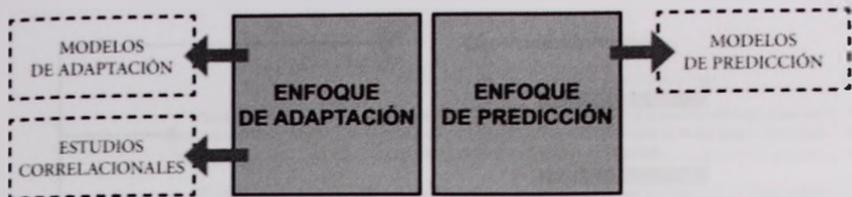
Para el estudio del confort térmico se identificaron dos enfoques de estudio: 1) Enfoque de predicción y 2) Enfoque de Adaptación, que responden a dos paradigmas científicos: el cuantitativo y el cualitativo (Figura 30). El presente apartado muestra las características de cada enfoque de estudio, sus modelos y algunos aspectos que pueden considerarse ventajas o desventajas.



El control automático de la velocidad de un motor de inducción se realiza mediante un controlador de velocidad que genera una referencia de velocidad para el motor. Este controlador puede ser un controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) o un controlador de tipo PI (Proporcional e Integral). La referencia de velocidad se compara con la velocidad real del motor para obtener el error de velocidad. Este error se procesa en el controlador para generar una referencia de torque que se envía al convertidor de potencia. Este convertidor genera una corriente de armadura que, al interactuar con el campo magnético del motor, produce el torque necesario para mover el eje del motor.

#### 4.1. Estructura y modos de estudio

Para el estudio del motor de inducción se utilizará el modelo de estado. El modelo de estado se obtiene a partir de las ecuaciones de flujo y de torque del motor. El modelo de estado se puede utilizar para el análisis de la respuesta transitoria y de estado estacionario del motor. El modelo de estado también puede utilizarse para el diseño de controladores de velocidad y de torque. El modelo de estado se puede utilizar para el análisis de la estabilidad del sistema de control. El modelo de estado se puede utilizar para el análisis de la sensibilidad del sistema de control a las variaciones de los parámetros del motor.



Fuente: Bojórquez (2010)

Figura 30. Estudio del confort térmico

El enfoque de predicción ha sido el más utilizado para determinar rangos de confort térmico. Se basa en la teoría de la transferencia de calor en estado sedentario y está sustentado en una serie de estudios en cámaras climáticas, también es conocido como enfoque cuantitativo o de estudios de laboratorio (Bojórquez, 2010).

El enfoque de adaptación considera a todos los seres humanos iguales, desde el punto de vista biológico y físico-químico (Figura 31). El propósito metodológico de este enfoque es encontrar las relaciones de causa-efecto entre las variables involucradas con el objeto de estudio, por eso se considera determinista y tiende a ser fenomenológico. Este enfoque ha sido llamado de aproximación racional y propone índices de aplicación universal que han sido utilizados por los ingenieros especializados en climatización artificial (Bojórquez, 2010).

De acuerdo con Bojórquez (2010), las inconsistencias encontradas en la aplicación del modelo cuantitativo para determinar las condiciones de confort térmico de aplicación universal, han impulsado el estudio en diferentes contextos con el enfoque cualitativo, ya que implica sistemas complejos en el que interactúan variables físicas y biológicas en cierta medida cuantificables a la vez que psicológicas, cualificables pero difícilmente cuantificables. Además, sus resultados varían de localidad a localidad, de un estrato sociocultural a otro e inclusive de individuo a individuo.

El enfoque de adaptación (cualitativo) se deriva de estudios en campo, es decir, en condiciones reales de un hábitat cotidiano. Este método asume que la gente se adapta o trata de adaptarse a las condiciones térmicas por medio de la modificación de su comportamiento o de las condicionantes ambientales inmediatas (Figura 31).



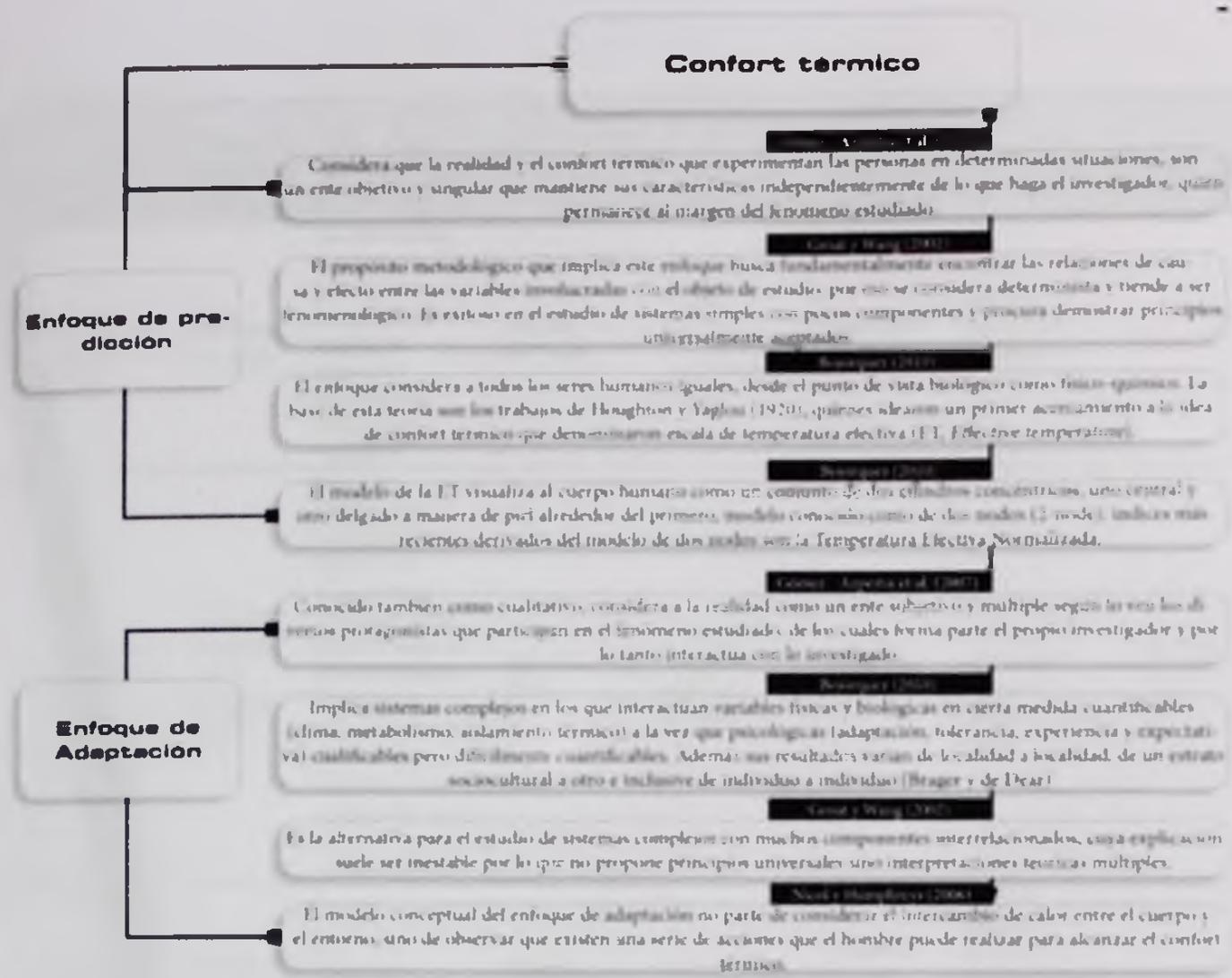
Figure 1: [Illegible text]

The first part of the paper discusses the importance of [illegible] in the context of [illegible]. It highlights the need for [illegible] and the challenges associated with [illegible].

The second part of the paper presents a detailed analysis of [illegible]. It examines the various factors that influence [illegible] and discusses the implications of these findings for [illegible].

The third part of the paper focuses on the development of [illegible]. It outlines the key components of [illegible] and discusses the strategies for [illegible].

The final part of the paper concludes with a summary of the main findings and offers some recommendations for [illegible]. It emphasizes the need for [illegible] and the importance of [illegible].



Fuente: Elaboración propia basado en Bojórquez (2010)  
**Figura 31.** Enfoques de estudio del confort térmico.

Los modelos teórico-conceptuales para el cálculo del confort térmico para los dos enfoques mencionados son variados, tanto para exteriores como en interiores, por lo cual solo se mencionan los encontrados en la revisión bibliográfica. Bojórquez (2010) menciona 68 modelos de confort térmico para el enfoque de predicción, de los cuales consideró 24 relevantes, en la tabla 12 se presentan sus características generales, variables utilizadas así como el autor y año de desarrollo.



The following text is a very faint paragraph, likely a caption or a short description related to the diagram above. The text is illegible due to the low resolution of the scan.

**Tabla 12**

*Modelos del confort térmico. Enfoque de predicción.*

N°	Modelo	Autor	Características generales	Variables	N°	Modelo	Autor	Características generales	Variables
1	Calor equivalente (EqW)	Bedford en 1936	De este modelo surge la idea de la temperatura neutral (Tn). Está basado en encuestas aplicadas a obreros en Inglaterra	TBS, HR, VV, TMR.	13	Índice de Calor o Temperatura aparente (HI o TA):	Steadman en 1979	Índice de impacto del ambiente térmico	TBS y HR.
2	Temperatura operativa (OT)	Winslow, Herrington y Gagge en 1937	Índice de temperatura percibida que estima una temperatura uniforme en un espacio negro en que el ocupante intercambia la misma cantidad de calor por radiación y por convección, que en un ambiente real no uniforme	TBS, VV, TMR.	14	Modelo de clima de Michel (KMM)	Jendritzky en 1979	Basado en la predicción del voto medio promedio desarrollado por Fanger	TBS, HR, RS, TMR, PV.
3	Formula de confort (COMFA)	Brown y Gillespie en 1954	Índice de sensación térmica basado en la teoría de dos nodos	TBS, HR, VV, TMR, PV.	15	Índice de humedad (Humidex)	Masterson y Richarson en 1979	Índice de sensación térmica para actividad pasiva en espacios exteriores en verano en clima frío	TBS, HR.
4	índice de Estrés Calórico (HSI)	Belding y Hatch en 1955	Modelo biofísico para actividad pasiva, moderada e intensa, para espacios exteriores e interiores en clima húmedo y cálido húmedo	TBS, HR, VV, TMR, PV.	16	Tasa de sudoración requerida (SwReq)	Vogt en 1981	Basada en la Ecuación de Confort de Fanger (FCE). Índice de impacto del ambiente térmico para obreros en clima cálido húmedo.	TBS, HR, VV, TMR, PV.

[Faint header text, possibly a title or date]

[Faint paragraph of text, possibly a description or introduction]

[Faint paragraph of text, possibly a continuation of the previous section]

[Faint paragraph of text, possibly a continuation of the previous section]

[Faint paragraph of text, possibly a continuation of the previous section]

**Tabla 12**  
**Modelos del confort térmico. Enfoque de predicción.**

#	Modelo	Autor	Características generales	VARIABLES	#	Modelo	Autor	Características generales	VARIABLES
5	Temperatura de globo de bulbo húmedo (WBGT)	Yaglou y Minard en 1957	El estudio se hizo para la Marina de Estados Unidos. La norma ISO 7243 está basada en este modelo	TBS, RS (sólo en la versión para exteriores), TGN, TBH.	17	Balance de Energía Individual-Munich (MEMI)	Höppe en 1984	Modelo biofísico con bases teóricas y uso del PMV de Fanger (1970), después sería la Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) de Höppe en 1999.	TBS, HR, VV, RS, TMR, PV.
6	Índice de estrés térmico (ITS)	Givoni en 1963	Modelo de tipo biofísico con base en estudios aplicados a empleados, estudiantes, amas de casa y militares	TBS, HR, VV, RS, TMR, PV.	18	Índice de Balance de Energía de la Temperatura de la Piel (STEBIDEX)	Freitas en 1985	Similar a la temperatura efectiva estándar (SET)	TBS, HR, VV, RS, TMR, PV.
7	Índice de viento frío (WCI-Wind Chill)	Simple y Bassel en 1965	Índice de temperatura percibida para espacios exteriores en periodo invernal de clima frío, es complemento de Humidex.	TBS, VV.	19	Intercambio de calor hombre-medio ambiente (MENEX)	Blazejczyk y Krawczyk en 1991	El estudio se basa en un sujeto de sexo masculino de 40 años de edad	TBS, HR, VV, RS, TMR, PV.
8	Índice de sensación Térmica (TS)	ASHRAE en 1970	Es un índice de temperatura percibida, que considera el efecto metabólico de actividad pasiva, moderada e intensa, con vestimenta de tipo ligero a ligeramente arropado.	TBS, PV.	20	Temperatura fisiológica equivalente (PET)	Hoppe en 1999	Es similar a la Temperatura efectiva (ET)	TBS, VV, TMR, PV.
9	Ecuación de confort de Fanger (FCE)	Fanger entre 1970 y 1982	Es un modelo biofísico, su diseño se basa en una extensa revisión bibliográfica especializada sobre experimentos de confort térmico humano en	TBS, VV, TMR, PV.	21	Nueva temperatura efectiva estándar para exteriores (OUT_SET)	Pickup 2000	Es un índice de temperatura percibida para exteriores en clima cálido-húmedo. Una aportación importante es el efecto de la radiación infrarroja en la	TBS, VV, TMR, PV.

Blank header area at the top of the page.

Section 1 of the document containing faint, illegible text.

Section 2 of the document containing faint, illegible text.

Section 3 of the document containing faint, illegible text.

Section 4 of the document containing faint, illegible text.

Section 5 of the document containing faint, illegible text.

**Tabla 12**  
*Modelos del confort térmico. Enfoque de predicción.*

#	Modelo	Autor	Características generales	Variables	#	Modelo	Autor	Características generales:	Variables
			espacios interiores. Es conocido también como el Índice de valoración medio de Fanger					sensación térmica percibida	
10	Predicción del voto promedio (PMV)	Fanger en 1970	Índice de sensación térmica se basa en los estudios sobre militares de origen israelí, aunque hay una versión adaptada para la ISO 7730	TBS, VV, TMR, PV.	22	Nuevo índice de viento frío (NWCI)	Universidad de Purdue de Indiana en 2001	Es un índice de temperatura percibida para espacios exteriores en periodo invernal de clima frío	TBS, HV.
11	Modelo de dos nodos (2-NODE MODEL-KSU)	Pierce y Gagge en 1971	Estudio hecho en cámara climática, para espacios exteriores e interiores de climas cálido y frío	TBS, HR, VV, RS, TMR, PV.	23	Índice de Temperatura - Humedad (THI)	Rosendal en 2002	Índice de sensación térmica en espacios exteriores en clima cálido-húmedo	TBS, HR, PV.
12	Nueva temperatura efectiva estándar (SET)	Rholes et al., en 1975	Índice de temperatura percibida basado en el modelo de dos nodos de Pierce y Gagge (1974).	TBS, VV, TMR, PV.	24	Índice universal de confort térmico (UTCI)	Jendrizky en 2007	Modelo biofísico basado en simulación termofisiológica, para interiores y exteriores en todo tipo de clima	No mencionado

TBS= Temperatura de bulbo seco, TBH= Temperatura de bulbo húmedo, TMR= Temperatura media radiante, RS= Radiación solar, VV= Velocidad del viento, TV= Temperatura del viento, PV= Presión de vapor, HR= Humedad relativa, TG= Temperatura de globo negro.

Fuente: Elaboración propia basado en Bojórquez (2010)

Se identificaron 19 modelos de cálculo de confort térmico para el enfoque de adaptación, la tabla 13 muestra los mismos aspectos mencionados para los modelos del enfoque de predicción.

Year	Production (kg)	Area (ha)	Yield (kg/ha)	Quality Index	Notes
1951	1000	10	100	85	First year of production
1952	1200	12	100	85	Stable production
1953	1500	15	100	85	Increasing yield
1954	1800	18	100	85	Consistent growth
1955	2000	20	100	85	Peak production
1956	2200	22	100	85	High yield maintained
1957	2400	24	100	85	Continued improvement
1958	2600	26	100	85	Steady increase
1959	2800	28	100	85	Optimal production
1960	3000	30	100	85	Final year of study

La producción de la planta se incrementó de 1000 kg en el primer año a 3000 kg en el último año de la investigación. La tabla 10 muestra los datos estadísticos de la producción de la planta durante el período de estudio.

**Tabla 13**

**Modelos del confort térmico. Enfoque de Adaptación.**

#	Modelo	Autor	Características generales	Variables	#	Modelo	Autor	Características generales	Variables
1	Temperatura neutral (Tn)	Bedford en 1936	Con este modelo nace la base teórica del enfoque de adaptación. Es un índice de temperatura percibida, basado en encuestas	TBS, HR, VV, TMR.	11	Temperatura neutral de Humpreys y Nicol	Humpreys y Nicol en el 2000	Índice de temperatura percibida, en clima cálido y semicálido	TBS, HR, TGN.
2	Temperatura neutral de Humpreys (Tn-Humpreys)	Humpreys en 1975 y 1976	Índice de temperatura percibida, se basó en la revisión de 36 investigaciones con un total de 200 mil observaciones realizadas en varios países	TBS, HR, VV, TGN.	12	Temperatura de confort en exteriores (Saaroni-TelAviv)	Saaroni en el 2000	Índice de temperatura percibida en clima cálido subhúmedo	TBS, HR, VV, RS, TMR.
3	Temperatura neutral de Auliciems (Tn-Auliciems)	Auliciems en 1981	En un índice de temperatura percibida, basado en la revisión de 52 investigaciones en varios países	TBS, HR, VV, TGN.	13	Temperatura de confort en exteriores (Feller-Kibbutz)	Feller en el 2000	Índice de temperatura percibida en espacios exteriores públicos	TBS, HR, VV, TMR, RS.
4	Temperatura neutral de Griffiths (Tn-Griffiths)	Griffiths en 1990	Modelo biofísico para actividad pasiva, moderada e intensa, para espacios exteriores e interiores en clima húmedo y cálido húmedo	TBS, HR, VV, TGN.	14	Temperatura de confort en exteriores (Pochter-Kibbutz)	Pochter en el 2000	Índice de temperatura percibida, con mayor número de encuestas aplicadas a voluntarios en comparación con el estudio de Feller	TBS, HR, VV, RS.
5	Temperatura de globo de bulbo húmedo (WBGT)	Yaglou y Minard en 1957	El estudio se hizo para la Marina de Estados Unidos. La norma ISO 7243 está basada en este modelo	TBS, RS (sólo en la versión para exteriores), TGN, TBH.	15	Temperatura neutral de Bravo y González-Cruz	Bravo y González-Cruz en el 2000	Índice de temperatura percibida basado en encuestas en espacios interiores en clima cálido seco y cálido húmedo	TBS, HR, VV, TGN.
6	Temperatura neutral de Nicol (Tn-Nicol)	Nicol et al. en 1993	Índice de temperatura percibida, basado en encuestas	TBS, HR, VV, RS.	16	Temperatura neutral SCATS (Tn-SCATS)	McCarney y Nicol en 2001	Proyecto SCATS ( <i>Smart Controls and Thermal Comfort</i> ), que fue un índice de	TBS, HR, VV, TGN.

1875

20 201	20 201	20 201	20 201	20 201	20 201	20 201	20 201
20 202	20 202	20 202	20 202	20 202	20 202	20 202	20 202
20 203	20 203	20 203	20 203	20 203	20 203	20 203	20 203
20 204	20 204	20 204	20 204	20 204	20 204	20 204	20 204
20 205	20 205	20 205	20 205	20 205	20 205	20 205	20 205
20 206	20 206	20 206	20 206	20 206	20 206	20 206	20 206
20 207	20 207	20 207	20 207	20 207	20 207	20 207	20 207
20 208	20 208	20 208	20 208	20 208	20 208	20 208	20 208
20 209	20 209	20 209	20 209	20 209	20 209	20 209	20 209
20 210	20 210	20 210	20 210	20 210	20 210	20 210	20 210

**Tabla 13**

*Modelos del confort térmico. Enfoque de Adaptación.*

#	Modelo	Autor	Condiciones Específicas	VARIABLES	#	Modelo	Autor	Condiciones generales	VARIABLES
			aplicadas en Pakistán					temperatura percibida bajo el enfoque de adaptación para cinco ciudades europeas con climas templado, húmedo y frío	
7	Temperatura neutral para exteriores (Tne)	Aróstegui en 1995	Este índice de temperatura percibida se basa en el modelo de Humphreys de 1975	TBS, HR, VV, RS.	17	Voto de sensación actual (ASV-RUROS)	Nikolopoulos en 2004	Proyecto <i>Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces</i> (RUROS) Estudio para siete ciudades con climas templado, cálido y húmedo	TBS, HR, VV, RS.
8	Temperatura de confort en exteriores (Noguchi)	Noguchi en colaboración con Givoni, en 1995	Índice de temperatura percibida, basado en encuestas aplicadas a obreros de la industria ligera en Yokohama	TBS, HR, VV, RS, TMR.	18	Temperatura neutral Ruiz-Torres (Tn-Ruiz Torres)	Ruiz-Torres en el 2007	Índice de temperatura percibida, con el enfoque de adaptación, para la ciudad de Colima, México.	TBS, HR, VV, TGN.
9	Temperatura neutral ANSI/ASHRAE 55	Dear et al., en 1998	Índice de temperatura percibida, se basa en 21 mil observaciones aplicadas en 31 ciudades de siete países	TBS, HR, VV, TGN, PR.	19	Temperatura neutral CONAVI (Tn-CONAVI-México)	Temperatura neutral CONAVI (Tn-CONAVI-México)	Índices de temperatura percibida, para siete ciudades de México, con clima cálido seco y cálido húmedo. Basado en encuestas aplicadas a habitantes de vivienda de tipo económico	TBS, HR, VV, TGN.
10	Temperatura neutral ABNOX (Tn-ABNOX)	Oseland en 1998	Índice de temperatura percibida, basado en encuestas aplicadas a empleados en Inglaterra	TBS, HR, VV, TGN.					

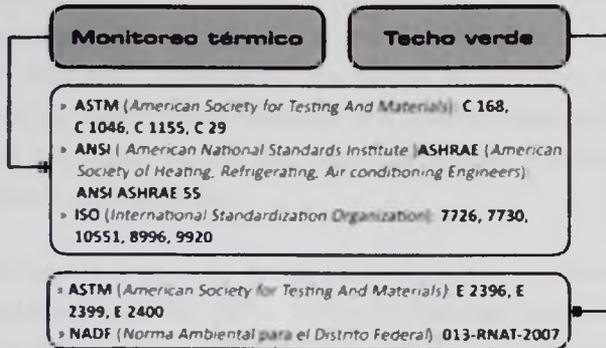
TBS= Temperatura de bulbo seco, TBH= Temperatura de bulbo húmedo, TMR= Temperatura media radiante, RS= Radiación solar, VV= Velocidad del viento, TV= Temperatura del viento, PV= Presión de vapor, HR= Humedad relativa, TG= Temperatura de globo negro, PR= Punto de rocío.

Fuente: Elaboración propia, tomado de Bojórquez (2010)



## 5. Normatividad

El presente apartado tiene como objetivo mencionar y describir las normas vigentes en las cuales está basado este trabajo de investigación, debido a que proporcionan diversos conceptos y criterios utilizados principalmente para el monitoreo térmico y el estudio de los techos verdes (Figura 32).



Fuente: Bojórquez (2010)

Figura 32. Normas para monitoreo térmico y techos verdes.

El *American National Standards Institute* (ANSI) y la *American Society of Heating, Refrigerating, Air conditioning Engineers* (ASHRAE) publicaron en el 2010 la versión actualizada de la ANSI-ASHRAE 55: *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, norma que especifica las condiciones térmicamente aceptables del ambiente para un cierto grupo de personas.

La *International Standardization Organization* (ISO) desarrolló las normas ISO 7726: 1998: *Ergonomics of the thermal environment - Instruments for measuring physical quantities*, La ISO 7726 establece los criterios para el desarrollo de un monitoreo térmico, define los materiales e instrumentos adecuados para la medición de temperaturas (bulbo seco y globo negro) así como su colocación en distintos tipos de superficies y espacios.

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.



Second block of faint, illegible text, likely a description or explanation of the diagram above.

Third block of faint, illegible text, possibly a conclusion or further details.

ISO 7730:2005: *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, que establece las fórmulas para el cálculo y estimación del confort térmico por medio del voto medio promedio.

La norma ISO 10551: 1995: *Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*, ISO 8996:2004: *Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate*, y la norma ISO 9920:2007: *Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*, normas que para el estudio del cálculo térmico por medio de escalas subjetivas, tasa de metabolismo y factor de arropamiento.

La investigación requirió también del estudio de las normas de la *American Society for Testing And Materials (ASTM)*, ASTM C 168 – 97: *Standard Terminology Relating to Thermal Insulating Materials*, ASTM C 1046 – 95: *Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components*, ASTM C 1155 – 95: *Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data* y ASTM C-29/C-29M-97: *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*.

Para el estudio del techo verde se revisaron las normas ASTM E2396 – 05: *Standard Test Method for Saturated Water Permeability of Granular Drainage Media [Falling-Head Method] for Green Roof Systems* y ASTM E2399 – 05: *Standard Test Method for Maximum Media Density for Dead Load Analysis of Green Roof Systems*. Para la composición y colocación del techo verde se utilizó la norma ASTM E2400 – 06: *Standard Guide for Selection, Installation, and Maintenance of Plants for Green Roof Systems* y la norma ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT 2007, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación.

ISO 7130:2005 - Equivalence of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort conditions of the PMV and PPD indices and local thermal comfort indices for buildings in temperate parts of climate; estereología del entorno térmico por métodos analíticos y su interpretación.

La norma ISO 7130:2005 - Equivalencia de los entornos térmicos - Análisis de la influencia de los factores ambientales sobre el confort térmico, los índices PMV y PPD, y la estimación de los índices de confort térmico local para edificios en zonas templadas de las partes de estudio del clima temperado con métodos analíticos y su interpretación. Las de meteorología y edificios.

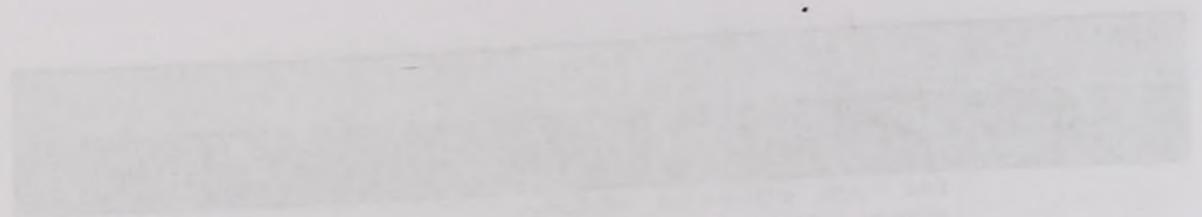
La investigación revisa también los estudios de los países de la América Latina de Testing And Methods ASTM A574 - 02 Standard Technology Rating for Thermal Insulating Materials, ASTM C 1044 - 02 Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flow and Temperature on Building Envelope Components, ASTM C 1158 - 02 Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data, y ASTM C 2202-2002-02 Standard Test Method for Bulk Density (Dry Weight) and Void in Aggregate.

Para el estudio del hecho sobre se revisaron las normas ASTM E391 - 02 Standard Test Method for Sampling from Penetrating or Grouting Columns using Pressure-Tight Method (Hand Method) for Given Risk Systems y ASTM E2248 - 02 Standard Test Method for Minimum Moisture Density for Dual-Phase Analysis of Dual-Phase Systems. Para la investigación y desarrollo de estos hechos se usaron las normas ASTM E2400 - 02 Standard Guide for Selection, Installation, and Maintenance of Panels for In-situ Heat Systems y la norma europea para el Dicho Protocol MADP-013-RM1 2002 que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de radiación.

La tabla 14 incluye una descripción de las normas antes mencionadas a partir de tres aspectos: 1) Alcances, 2) Aportaciones y 3) Aplicación. De tal manera que se identifiquen los criterios utilizados y su importancia para lograr los objetivos planteados en esta investigación.

Tabla 14 Normatividad.		
Norma	Descripción	Uso
<b>Monitoreo térmico</b>		
ASTM C-168-97	Esta norma establece las definiciones, símbolos, unidades y abreviaturas de los términos utilizados en las normas ASTM referentes a materiales de aislamiento térmico, así como a los materiales asociados con ellos.	Los términos y definiciones de esta norma sirvieron de base para el estudio de las normas C-1046 y C-1155.
ASTM C-1046-95	Hace referencia a una técnica para el uso de transductores de flujo de calor y transductores de temperatura para mediciones en sitio, así como su colocación por medio del uso de termografía infrarroja.	El monitoreo térmico realizado en esta investigación se basó en lo mencionado en esta norma y específicamente incluyó las consideraciones siguientes: -Registro de temperaturas por medio de transductores (En adelante denominados sensores). -Criterios para la colocación permanente y temporal de sensores. -Colocación de sensores con materiales adhesivos descritos en esta norma. -Distribución de sensores de acuerdo con las características (Tamaño y materiales) de la envolvente del edificio. -Localización de los sensores de acuerdo con el tipo de superficies mencionadas en esta norma.
ASTM C-1155-95	Esta norma aborda criterios para la obtención, registro y utilización de datos de temperaturas de mediciones en sitio y de flujo de calor en las construcciones, así como el cálculo de la resistencia térmica de los componentes de la envolvente de un edificio por medio de dos técnicas.	Esta norma sirvió para definir la cantidad de sensores y el tiempo de registro de los datos, de acuerdo con el tipo de construcción utilizada (Para este estudio fueron módulos de prueba a escala 1:4, ya construidos).
ASTM C-29/C-29M-97	Incluye un método de ensayo para determinar la densidad aparente ("peso unitario") de un árido tanto en su condición compactada o suelta y calcular los huecos entre las partículas en los áridos finos, gruesos o mezclas de áridos, basada en la misma determinación. Este método se aplica a los áridos que no exceden 125 mm de tamaño.	Este método sirvió para calcular el tiempo de secado de una muestra ya calculada de arena para su colocación dentro de los módulos de prueba. Se utilizaron las fórmulas para cálculo de densidad aparente y la temperatura del horno descritas en esta norma.
ANSI ASHRAE 55-2010	Esta norma especifica los factores del ambiente térmico interior y los factores personales que producen condiciones	Se estudiaron y utilizaron las definiciones descritas en esta norma así como los procedimientos para las mediciones en sitio de

La tabla 14 incluye los detalles de los tipos de ensayos y procedimientos aplicados en los aspectos II, III y IV de la investigación. En el presente se describen los tipos de ensayos y procedimientos aplicados en cada investigación.



<p>Descripción de los tipos de ensayos y procedimientos aplicados en cada investigación.</p>	<p>Tipos de ensayos y procedimientos aplicados en cada investigación.</p>	<p>ASTM D 1505-73</p>
<p>En esta investigación se aplicaron los tipos de ensayos y procedimientos aplicados en cada investigación.</p>	<p>Tipos de ensayos y procedimientos aplicados en cada investigación.</p>	<p>ASTM D 1505-73</p>
<p>En esta investigación se aplicaron los tipos de ensayos y procedimientos aplicados en cada investigación.</p>	<p>Tipos de ensayos y procedimientos aplicados en cada investigación.</p>	<p>ASTM D 1505-73</p>
<p>En esta investigación se aplicaron los tipos de ensayos y procedimientos aplicados en cada investigación.</p>	<p>Tipos de ensayos y procedimientos aplicados en cada investigación.</p>	<p>ASTM D 1505-73</p>
<p>En esta investigación se aplicaron los tipos de ensayos y procedimientos aplicados en cada investigación.</p>	<p>Tipos de ensayos y procedimientos aplicados en cada investigación.</p>	<p>ASTM D 1505-73</p>

**Tabla 14**  
**Normatividad.**

Norma	Descripción	Uso
	ambientales térmicamente aceptables para la mayoría de los ocupantes de un espacio.	variables como: temperatura de bulbo seco y humedad relativa. Para el monitoreo térmico se utilizaron los criterios de localización, altura y posición de los sensores descritos en esta norma.
ISO 7726-1998	La norma especifica las características de los instrumentos para mediciones físicas cuantitativas que caracterizan a un ambiente determinado así como los métodos para las mediciones cuantitativas de este ambiente.	Se realizó la calibración de los instrumentos utilizados en el monitoreo térmico de acuerdo con las especificaciones mencionadas en esta norma.
ISO 7730-2005	Esta norma presenta métodos para la estimación de la sensación térmica y el grado de disconfort de personas expuestas a determinados ambientes térmicos. Incluye la determinación del confort térmico por medio del cálculo del PMV y el PPD.	Se utilizaron las definiciones mencionadas en esta norma que sirvieron de base y fundamento para el presente trabajo.
ISO 10551-1995	La norma incluye la construcción y el uso de escalas de juicio (Escalas de percepción térmica, confort térmico, preferencia térmica, formas de expresión aceptables y escalas de tolerancia) para su uso en la obtención de datos fiables y comparables sobre aspectos subjetivos de confort o estrés térmico.	Se utilizó la teoría referente a la escala de confort térmico proporcionada en esta norma.
ISO 8996-2004	Hace referencia a la actividad metabólica de las personas como factor determinante del confort y el estrés resultantes de la exposición a un ambiente térmico determinado.	Se estudiaron las definiciones aquí mencionadas que sirvieron de complemento a la norma ANSI ASHRAE 55.
ISO 9920-2007	Especifica métodos para la estimación de las características térmicas en estado estable para un conjunto de ropa. Examina la influencia del movimiento del cuerpo y la penetración de aire en el aislamiento térmico así como la resistencia al vapor de agua.	Se estudiaron las definiciones y se utilizaron los términos aquí mencionados que además sirvieron de complemento a la norma ANSI ASHRAE 55.
<b>Techo verde</b>		
ASTM E 2396-05	Incluye un método para determinar la permeabilidad del medio de drenaje de un techo verde.	Se estudiaron los términos y definiciones de esta norma que complementan a la norma ASTM E 2399.
ASTM E 2399-05	La norma incluye un método para determinar la densidad máxima de las capas de un techo verde con el propósito de calcular el peso por carga muerta del sistema. También permite calcular la cantidad máxima de humedad de un techo verde.	Esta norma se utilizó para definir aspectos de permeabilidad, contenido de humedad y retención de agua de un techo verde, lo cual contribuyó al estudio teórico de otros aspectos de los techos verdes.
ASTM E 2400-06	Esta norma incluye consideraciones para la selección, instalación y mantenimiento de la vegetación aplicada a los techos verdes.	Con base en esta norma se definieron criterios para la selección de la vegetación utilizada en el techo verde propuesto, sirvió de guía para su

[Faded header text]

[Faded text]	[Faded text]	[Faded text]
[Faded text]	[Faded text]	[Faded text]
[Faded text]	[Faded text]	[Faded text]
[Faded text]	[Faded text]	[Faded text]
[Faded text]	[Faded text]	[Faded text]
[Faded text]	[Faded text]	[Faded text]
[Faded text]	[Faded text]	[Faded text]
[Faded text]	[Faded text]	[Faded text]
[Faded text]	[Faded text]	[Faded text]
[Faded text]	[Faded text]	[Faded text]
[Faded text]	[Faded text]	[Faded text]

**Tabla 14**

**Normatividad.**

Norma	Descripción	Uso
NADF-013-RNAT-2007	Establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal. Es la única norma mexicana que contiene aspectos teóricos y prácticos referentes a los techos verdes.	<p>instalación y el mantenimiento. Además, se utilizaron algunas de las definiciones mencionadas en esta norma en el capítulo teórico de esta investigación.</p> <p>Se utilizaron los aspectos siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Definiciones y términos para el capítulo teórico de esta investigación.</li> <li>-Requerimientos previos en construcciones existentes.</li> <li>-Parámetros para la vegetación utilizada.</li> <li>-Componentes básicos de un techo verde.</li> <li>-Características de los dispositivos de desagüe.</li> <li>-Especificaciones técnicas de las capas del techo verde.</li> <li>-Procedimiento para la colocación de la capa impermeabilizante.</li> <li>-Consideraciones de operación y mantenimiento de los elementos constructivos.</li> <li>-Consideraciones de operación y mantenimiento de la vegetación.</li> <li>-Especificaciones de riego de la vegetación utilizada.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Es necesario mencionar que las normas constituyen un aspecto importante del presente trabajo de investigación, pues muchas veces se dejan de lado por omisión o desconocimiento, lo cual puede afectar la confiabilidad y precisión de los resultados obtenidos. Aunque algunas de las normas mencionadas anteriormente se utilizaron solo como referencia teórica, son también una base importante para el estudio integral de otros aspectos de la investigación.

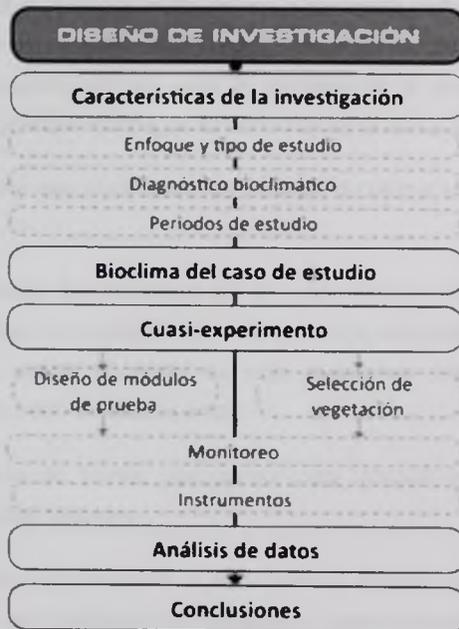
... de la ...

... de la ...

Es necesario reconocer que las normas constituyen un aspecto importante del proceso de investigación, pero cuando se trata de este particular, el reconocimiento de que puede haber un conflicto de intereses en los datos recolectados. Aunque algunos de los puntos más importantes se refieren a los datos como resultado de la investigación, también hay que tener en cuenta el papel de otros aspectos de la investigación.

### III. METODOLOGÍA

La metodología se dividió en cuatro etapas generales: 1) Las características de la investigación: Incluye el enfoque y tipo de estudio, un diagnóstico bioclimático para Mérida, Yucatán y los periodos de estudio; 2) Bioclima, 3) Cuasi-experimento: Referente a la caracterización y diseño de los módulos de prueba así como el tipo de vegetación utilizada, donde se definieron también las estrategias de monitoreo térmico y se describieron las características principales de los instrumentos utilizados; 4) Análisis de datos, que permitió llegar a la etapa de resultados y de las conclusiones (Figura 33).

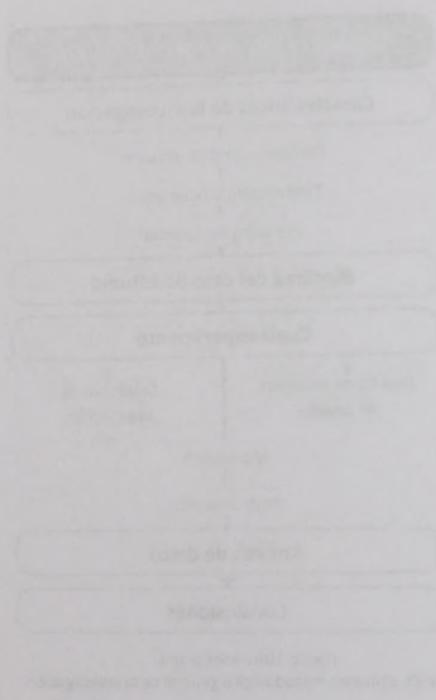


Fuente: Elaboración propia.

**Figura 33.** Esquema metodológico general de la investigación.

## METODOLOGIA

La metodología se divide en cinco etapas generales: 1) Las características de la investigación; 2) el diseño de la investigación; 3) la recolección de datos; 4) el análisis de los datos; y 5) la interpretación de los resultados. El presente artículo se centra en la etapa de recolección de datos, donde se detallan los métodos de muestreo y se describen los procedimientos para la recolección de datos. El artículo se divide en cinco secciones: 1) Introducción; 2) Objetivos; 3) Metodología; 4) Resultados; y 5) Conclusiones (Figura 1).



## **1. Características de la investigación**

Las características de la investigación se definieron en función del objetivo general del presente trabajo: determinar las ventajas de la aplicación del techo verde en la vivienda económica de Mérida para lograr el aumento de los periodos de confort térmico, por medio del uso de módulos de prueba. Se tomaron como referencia los métodos de evaluación térmica para edificios, las variables dependientes e independientes y los tipos de techos verdes existentes, para definir el enfoque y tipo de estudio, así como las estrategias de monitoreo.

### **1.1. Enfoque y tipo de estudio.**

La investigación utilizó un enfoque mixto debido a que involucró variables de estudio de tipo cuantitativo y cualitativo. Este enfoque implica mezclar desde el inicio la lógica inductiva y deductiva, es un cruce de paradigmas al que Hernández et al. (2006) definen como enfoque mixto y se fundamenta en la triangulación<sup>1</sup> de métodos.

García (2009) menciona que algunas de las ventajas de utilizar este enfoque son las siguientes:

-Se logra mayor precisión del fenómeno por su visión integral, completa y holística; variedad de perspectivas del problema, por la frecuencia, amplitud y magnitud con la visión cuantitativa y desde el punto de vista cualitativo mayor profundidad y complejidad (Creswell, 2005 en García 2009).

-Obliga a la búsqueda de formas apropiadas para vincular conjuntos de datos producidos por diferentes métodos.

-Rompe con la investigación uniforme pues considera diversas fuentes, contextos y ambientes que deben ser analizados por separado y luego integrarse en un todo.

---

<sup>1</sup> El concepto de triangulación consiste en tomar varios puntos de referencia para confrontar distintos métodos y dar validez a los resultados parciales que se tienen con un solo método (García, 2009).

Die Zusammenfassung des Textes ist wie folgt: In diesem Dokument wird die Entwicklung der Wirtschaft in den letzten Jahren analysiert. Die Daten zeigen einen deutlichen Anstieg in den Exporten, was auf eine stärkere Integration in die Weltwirtschaft hinweist. Gleichzeitig sind die Importe zurückgegangen, was die Handelsbilanz verbessert hat. Diese Trends sind auf verschiedene Faktoren zurückzuführen, darunter die Erholung der globalen Nachfrage und die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Industrie.

2. Einleitung

Die Einleitung des Textes stellt den Kontext der Analyse dar. Sie beginnt mit einer allgemeinen Betrachtung der wirtschaftlichen Lage und führt dann zu den spezifischen Zielen der Studie. Die Autoren betonen die Bedeutung der Analyse für die Politikgestaltung und die Wirtschaftspraxis. Die Methodik der Studie wird ebenfalls kurz skizziert, um die Glaubwürdigkeit der Ergebnisse zu unterstreichen.

Im weiteren Verlauf des Textes werden die Ergebnisse der Analyse detaillierter dargestellt. Die Autoren verwenden Diagramme und Tabellen, um die Veränderungen in den verschiedenen Wirtschaftskennzahlen zu veranschaulichen. Die Diskussion der Ergebnisse ist mit theoretischen Überlegungen verknüpft, um die Ursachen der beobachteten Trends zu erklären. Abschließend werden einige Schlussfolgerungen gezogen, die für die Zukunft relevant sein könnten.

Die Zusammenfassung des Textes ist wie folgt: In diesem Dokument wird die Entwicklung der Wirtschaft in den letzten Jahren analysiert. Die Daten zeigen einen deutlichen Anstieg in den Exporten, was auf eine stärkere Integration in die Weltwirtschaft hinweist. Gleichzeitig sind die Importe zurückgegangen, was die Handelsbilanz verbessert hat. Diese Trends sind auf verschiedene Faktoren zurückzuführen, darunter die Erholung der globalen Nachfrage und die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Industrie.

El enfoque mixto permitió realizar la recolección de datos cuantitativos relacionados con la vivienda económica, así como de las variables meteorológicas de Mérida, Yucatán y de los componentes de los módulos de prueba. En cuanto a la recolección de datos cualitativos, estos estuvieron relacionados con el estudio del confort térmico de los habitantes de las viviendas económicas del caso de estudio.

La investigación fue de tipo cuasi-experimental, donde se manipula al menos una variable independiente para observar su relación y efecto sobre una o más variables dependientes (Hernández et al., 2006). En este caso, se observaron diferentes variables meteorológicas en tres periodos, para medir el impacto de un techo verde sobre la temperatura interior de un módulo de prueba, su variación con respecto a la temperatura del medio ambiente y el efecto del techo verde como estrategia pasiva para lograr condiciones de confort térmico.

El desempeño térmico de otros dos tipos de techo, se observó también por medio del uso de módulos de prueba, uno de referencia, con techo de vigueta y bovedilla similar al utilizado en una vivienda económica del caso de estudio y otro de comparación con aislante térmico de poliestireno de 1".

La periodicidad del estudio fue de tipo transversal, ya que de acuerdo con Hernández et al. (2006) la recolección de datos se realiza en un momento único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un tiempo determinado. Por lo anterior, se estudió el desempeño térmico de los módulos de prueba en tres periodos, los cuales se determinaron a partir de los resultados del diagnóstico bioclimático.

El estudio está previsto realizarlo en el laboratorio de Física de la Universidad de Zaragoza con la finalidad de determinar el coeficiente de expansión térmica de los líquidos y de los gases. En el presente se trata de la expansión de los gases. Los datos obtenidos se compararán con los datos teóricos de los gases ideales y se analizarán los resultados obtenidos en función de la temperatura y de la presión.

La investigación fue de tipo experimental, donde se midieron la presión y el volumen de un gas en un recipiente cerrado y rígido, a diferentes temperaturas. Se utilizó un aparato experimental que consistía en un tubo de vidrio con un pistón móvil, que permitía variar el volumen del gas. Se midieron la presión y el volumen del gas a diferentes temperaturas, y se compararon los resultados con los datos teóricos de los gases ideales. Se concluyó que los resultados obtenidos se ajustan bien a los datos teóricos, lo que confirma la validez de la ley de los gases ideales.

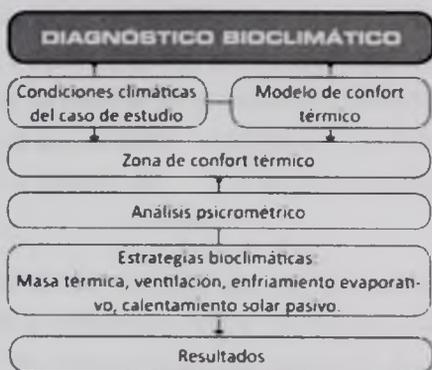
El desarrollo teórico de este estudio se basó en la ley de los gases ideales, que establece que el producto de la presión y el volumen de un gas es directamente proporcional a la temperatura absoluta. Se utilizó esta ley para determinar el coeficiente de expansión térmica de los gases. Se midieron la presión y el volumen del gas a diferentes temperaturas, y se compararon los resultados con los datos teóricos de la ley de los gases ideales. Se concluyó que los resultados obtenidos se ajustan bien a los datos teóricos, lo que confirma la validez de la ley de los gases ideales.

La conclusión del estudio fue de que el coeficiente de expansión térmica de los gases es directamente proporcional a la temperatura absoluta. Se utilizó esta ley para determinar el coeficiente de expansión térmica de los gases. Se midieron la presión y el volumen del gas a diferentes temperaturas, y se compararon los resultados con los datos teóricos de la ley de los gases ideales. Se concluyó que los resultados obtenidos se ajustan bien a los datos teóricos, lo que confirma la validez de la ley de los gases ideales.

10/10/2010

## 1.2. Diagnóstico bioclimático.

Las estrategias de diseño bioclimático para la adecuación térmica en edificios, dependen de dos variables principales: 1) las condiciones climáticas del entorno y 2) los rangos de confort térmico en interiores. Un diagnóstico bioclimático permite definir estas estrategias, de tal manera que su aplicación en los edificios pueda lograr condiciones térmicas entre aceptables y de confort térmico en interiores, para determinados usuarios en condiciones específicas. El proceso de desarrollo del diagnóstico bioclimático se presenta en la figura 34.



Fuente: Tomado de Bojórquez (2012).

Figura 34. Esquema del proceso de desarrollo del diagnóstico bioclimático.

Mérida, Yucatán se localiza en la latitud  $20^{\circ}59'00''$  Norte, longitud  $89^{\circ}38'00''$  Oeste, a una altura de 22 MSNM<sup>2</sup>. El clima de la región es cálido-húmedo, según la clasificación de Köppen modificado por García (1981), con temperaturas máximas mensuales de hasta  $36^{\circ}\text{C}$  y mínimas de hasta  $17^{\circ}\text{C}$ .

La revisión bibliográfica permitió identificar dos modelos de cálculo para confort térmico en espacios interiores adecuados para el caso de estudio, el de temperatura neutral de Auliciems (1981) y el de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI)

<sup>2</sup> Servicio Meteorológico Nacional, Normales climatológicas 1971-2000.

Las estrategias de diseño de flujo de trabajo para la resolución de problemas en el ámbito de los sistemas de información (SI) se basan en la aplicación de los principios de la programación de flujo de trabajo de control de flujo en los sistemas de información. Los principios de programación de flujo de trabajo de control de flujo en los sistemas de información se basan en la aplicación de los principios de la programación de flujo de trabajo de control de flujo en los sistemas de información. Los principios de programación de flujo de trabajo de control de flujo en los sistemas de información se basan en la aplicación de los principios de la programación de flujo de trabajo de control de flujo en los sistemas de información.

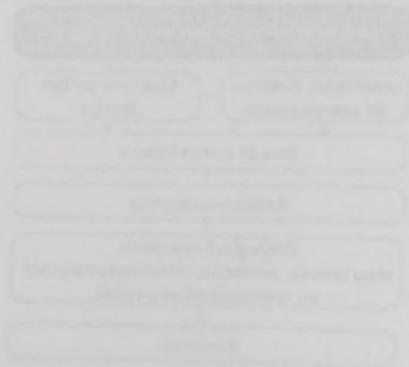


Figura 1.5. Diagrama de flujo de programación de flujo de trabajo de control de flujo en los sistemas de información.

El diseño de flujo de trabajo de control de flujo en los sistemas de información se basa en la aplicación de los principios de la programación de flujo de trabajo de control de flujo en los sistemas de información. Los principios de programación de flujo de trabajo de control de flujo en los sistemas de información se basan en la aplicación de los principios de la programación de flujo de trabajo de control de flujo en los sistemas de información. Los principios de programación de flujo de trabajo de control de flujo en los sistemas de información se basan en la aplicación de los principios de la programación de flujo de trabajo de control de flujo en los sistemas de información.

desarrollado por Gómez-Azpeitia et al. (2009) que forman parte de los trabajos del enfoque de adaptación del confort térmico.

El modelo de temperatura neutral de Auliciems (1981), es un índice de temperatura percibida basado en la revisión de 52 estudios en diferentes países con condiciones climáticas distintas, con 200,000 observaciones realizadas por Humphreys (1976). El modelo de temperatura neutral de CONAVI, desarrollado por Gómez Azpeitia et al. (2009), fue un estudio para siete ciudades de México con climas cálidos, está basado en 1,800 observaciones de habitantes de viviendas económicas (Bojórquez, 2010).

Para la selección del modelo de confort se hizo un análisis de modelos, mediante el método de Docherty y Szokolay (2004), con los dos modelos mencionados aplicados a la ciudad de estudio, se observó que el modelo de CONAVI sobrestima el efecto de la humedad relativa ya que en ningún momento se presentó la sensación térmica de confort térmico. Por lo anterior, se tomó la decisión de trabajar con el modelo de Auliciems (1981).

El rango de confort térmico seleccionado fue el desarrollado por Auliciems y Szokolay de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  de la temperatura neutral (Bojórquez & Luna, 2012). Lo anterior, es congruente con el modelo de confort térmico y el método de diagnóstico bioclimático utilizado, debido a que forman parte de la investigación desarrollada por los mismos autores, esta decisión se tomó a partir de la revisión teórica realizada donde se identificaron cinco autores con diferentes rangos de confort térmico para condiciones y periodos distintos (Tabla 15).

desarrollado por Gómez-Abejón et al. (1997) que muestra que la gran mayoría de las especies de aves que se reproducen en la zona de estudio son de tipo migratorio.

El modelo de temperatura usado en Aulázar (1987) es un índice de temperatura-humedad basado en la relación de 21 variables ambientales y tiene una precisión diagnóstica de 80%. El modelo de temperatura-humedad de Aulázar (1987) se basó en los datos de 1980-1985, por lo que es necesario evaluar su precisión en los años 1986-1995. En este estudio se evaluó la precisión del modelo de Aulázar (1987) en los años 1986-1995. El modelo de Aulázar (1987) se basó en los datos de 1980-1985, por lo que es necesario evaluar su precisión en los años 1986-1995. En este estudio se evaluó la precisión del modelo de Aulázar (1987) en los años 1986-1995.

Para la selección del modelo de estudio de Aulázar se usó el método de selección de Aulázar y Zúñiga (1987) que se basa en la relación de 21 variables ambientales y la precisión diagnóstica de 80%. El modelo de Aulázar (1987) se basó en los datos de 1980-1985, por lo que es necesario evaluar su precisión en los años 1986-1995. En este estudio se evaluó la precisión del modelo de Aulázar (1987) en los años 1986-1995.

El rango de confort térmico humano fue el determinado por Aulázar y Zúñiga (1987) que se basa en la relación de 21 variables ambientales y la precisión diagnóstica de 80%. El modelo de Aulázar (1987) se basó en los datos de 1980-1985, por lo que es necesario evaluar su precisión en los años 1986-1995. En este estudio se evaluó la precisión del modelo de Aulázar (1987) en los años 1986-1995.

Tabla 15 Rangos de Confort térmico.		
Autor	Rango	Observaciones
Olgay	±3.2	Periodo anual
Auliciems y Szokolay	±2	Periodo anual
	±1.75	Periodo mensual o menor
Givoni	±4.5	Personas no acostumbradas al aire acondicionado
Nicol	±2	Periodo de 24 horas
	±5	Periodos mayores a 1 semana
Roriz		Variación horaria

Fuente: Bojórquez y Luna (2012).

El modelo seleccionado permitió estimar la temperatura neutral para verano e invierno a partir de las temperaturas promedio mensuales y rangos de confort térmico de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . El modelo de confort térmico aplicado fue el siguiente:

$$T_n = 17.6 + 0.31 (T_o) \quad (3)$$

Dónde:

$T_n$  = Temperatura neutral

$T_o$  = Temperatura promedio mensual exterior

Se utilizó la hoja de cálculo de Luna (2008), realizada de acuerdo con la metodología de Docherty y Szokolay (2004), los cálculos de estimación de temperaturas de bulbo seco y humedades relativas horarias medias mensuales se obtuvieron en base a los modelos de Tejeda (Citado en Luna, 2008). A partir de lo anterior, los rangos de confort térmico obtenidos para la ciudad de Mérida, Yucatán para el verano fueron de  $24.2^{\circ}\text{C}$  a  $28.2^{\circ}\text{C}$  y en invierno de  $23.4^{\circ}\text{C}$  a  $27.4^{\circ}\text{C}$ .

Mecott (2007), menciona que las estrategias bioclimáticas se dividen en dos clasificaciones, 1) las permanentes: son aquellas que debido a su naturaleza constructiva no pueden ser removidas de la edificación, como la masa térmica; y 2) las temporales: que se utilizan conforme se requiera calentar o enfriar el edificio, como la radiación solar y la ventilación.

# THE UNIVERSITY OF CHICAGO

THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
DIVISION OF THE PHYSICAL SCIENCES  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY  
5780 SOUTH CAMPUS DRIVE  
CHICAGO, ILLINOIS 60637

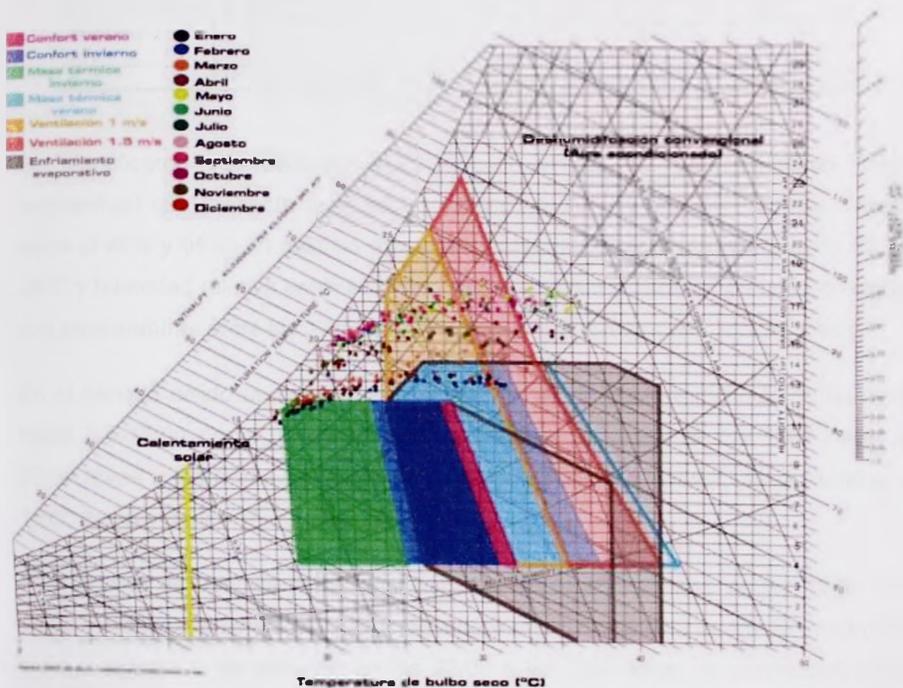
RECEIVED  
DATE

BY

FROM

REMARKS

Las estrategias de adecuación para los edificios, se definieron en una carta psicrométrica de ASHRAE (2009) que muestra las características del aire atmosférico al nivel del mar. Se identificaron cuatro estrategias para lograr condiciones de confort térmico dentro de las edificaciones, que se establecieron al ubicar en la carta psicrométrica los puntos que representan la temperatura de bulbo seco, la temperatura efectiva y la humedad relativa, la unión de estos puntos por medio de líneas delimitó cada estrategia (Figura 35).



Fuente: Elaboración propia a partir de Docherty y Szokolay (2004) y Luna (2008).

Figura 35. Estrategias bioclimáticas para edificios en carta psicrométrica ASHRAE (2009) para Mérida, Yucatán.

Se realizó una revisión de estrategias por promedio horario. Los resultados muestran que en ningún mes del año Mérida está en una zona de confort térmico dentro de los edificios, por lo que es necesario implementar alguna estrategia de mejoramiento. El

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Main body of faint, illegible text, appearing to be several paragraphs of a document.

Faint, illegible text at the bottom of the page, possibly a footer or concluding paragraph.

35.07% de las horas promedio en un año (128 días) es necesaria la deshumidificación; el 34.37% (125 días) la ventilación; 16.67% (61 días) la masa térmica y 13.89% (51 días) el aire acondicionado (Tabla 16).

**Tabla 16**

*Resultados por meses del uso de estrategias de diseño bioclimático en una edificación.*

Estrategias	Horas promedio por mes												Total	
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Hs.	%
Deshumidificación	6	6	11	9	9	9	8	9	9	10	12	7	101	35.07
Ventilación 1 m/s	2	1	6	6	5	6	6	7	7	6	7	2	61	21.18
Masa térmica	16	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	48	16.67
Aire acondicionado	0	0	1	5	7	7	6	6	6	2	0	0	40	13.89
Ventilación 1.5 m/s	0	0	6	4	4	3	4	3	3	6	5	0	38	13.19
	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	288	100

Fuente: Elaboración propia.

Se identificaron tres periodos climáticos en el año, un periodo cálido (mayo-septiembre) que presenta temperaturas entre los 20°C a 36°C y humedad relativa entre el 45% y 95%; un mes de transición (abril) con temperaturas entre los 19°C a 35°C y humedad relativa entre el 43% y 90% y un periodo templado (octubre-febrero) con temperaturas entre los 17°C a 33°C y humedad relativa entre el 43% y 94%.

En el periodo cálido es necesaria la utilización del aire acondicionado de las 10:00 hasta las 16:00 horas, la deshumidificación debe utilizarse de las 0:00 hasta las 07:00 horas y las horas restantes se requiere ventilación natural, de las 8:00 a las 10:00 horas y de las 16:00 a las 23:00 horas.

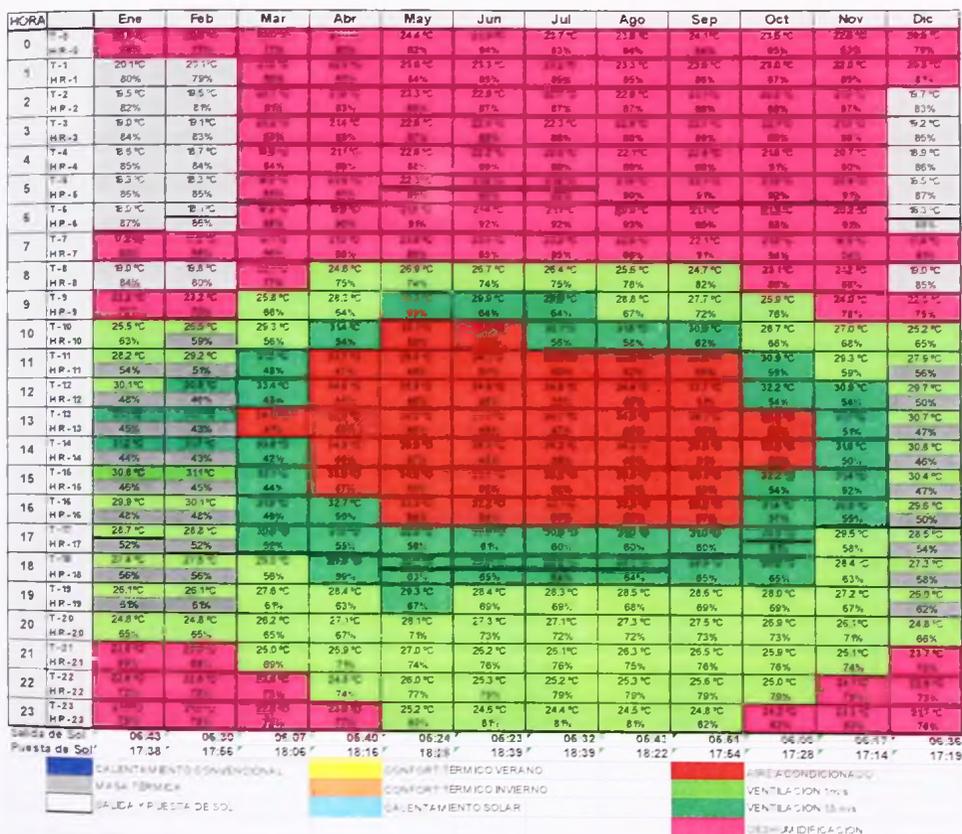
Para el mes de abril se requiere el uso del aire acondicionado de las 11:00 a las 15:00 horas; la deshumidificación es necesaria principalmente en la madrugada aunque el horario se extiende de las 23:00 a las 7:00 horas; la ventilación natural debe utilizarse en dos horarios: en la mañana de 8:00 a 10:00 y por la tarde-noche entre las 16:00 y 22:00 horas.

En el periodo templado es posible el uso de la deshumidificación de las 21:00 a las 9:00 horas y la ventilación natural de las 10:00 a las 20:00 horas, pero en los meses



de diciembre. enero y febrero se requiere de masa térmica de la 1:00 a las 20:00 horas (Figura 36).

Los resultados obtenidos mostraron que debido a las temperaturas mayores a los 17°C y la humedad relativa de más del 40%, todo el año se necesita deshumidificar el aire interior de una edificación. Sin embargo, esto implica el uso de sistemas electromecánicos de deshumidificación, que aumenta el consumo de energía eléctrica del edificio y que tiene un impacto económico en sus usuarios. lo mismo ocurre con el aire acondicionado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Resultados por meses del uso de estrategias de diseño bioclimático en la edificación.

de disolució i altres factors de control de qualitat de l'aigua (Figura 1).

Les mesures de control de qualitat de l'aigua i de l'entorn són molt importants i han de ser realitzades de manera regular i amb precisió. Els resultats de les mesures de control de qualitat de l'aigua i de l'entorn han de ser analitzats i interpretats de manera adequada i amb precisió. Els resultats de les mesures de control de qualitat de l'aigua i de l'entorn han de ser comparats amb els valors de referència i amb els valors de qualitat de l'aigua i de l'entorn de les zones de control de qualitat de l'aigua i de l'entorn.



Figura 1. Sistema de control de qualitat de l'aigua i de l'entorn. El sistema de control de qualitat de l'aigua i de l'entorn està format per un conjunt de mesures de control de qualitat de l'aigua i de l'entorn que s'apliquen de manera regular i amb precisió.

La ventilación natural es la segunda opción de adecuación pasiva que predomina en el diseño bioclimático de edificios para la ciudad de Mérida, sin embargo, es importante mencionar que esta variable meteorológica puede o no darse en determinados periodos con la velocidad necesaria para proporcionar condiciones de confort térmico y su flujo depende de la morfología urbana del sitio de estudio, la orientación del edificio, el diseño de los vanos para propiciar la ventilación cruzada o el uso de un sistema electromecánico.

Givoni (2011) menciona que la ventilación es importante en regiones con clima cálido-húmedo, ya que el incremento de la velocidad del viento sobre el cuerpo humano mejora la evaporación del sudor y reduce el disconfort resultante de la humedad y la piel mojada.

La ventilación natural necesita una velocidad del viento adecuada para poder entrar y salir de las edificaciones. En lugares con vientos sin velocidad suficiente para que se perciba este fenómeno y la ventilación cruzada no es posible debido al diseño del espacio interior, es necesario el uso de un medio electromecánico (ventilador) que permita la circulación del viento entrante del exterior por medio de ventanas abiertas (Givoni, 2011), lo anterior es conocido como ventilación forzada.

La falta de suficiente velocidad del viento en el exterior que permita su correcta circulación, es a menudo un problema en ciudades con alta densidad de construcción como Mérida, donde el viento es parcialmente bloqueado por la estructura urbana, aspecto que condiciona de manera directa el efecto de la ventilación en los espacios interiores y exteriores de los edificios.

La masa térmica, en valores porcentuales de mayor a menor, es la tercera opción como estrategia de diseño bioclimático, la cual utiliza diferentes materiales para aumentar el retraso térmico en las edificaciones. El uso de la masa térmica en edificios es una estrategia efectiva para reducir las cargas de energía por calefacción o enfriamiento y es aplicable para lugares con variaciones diarias de temperatura. La masa térmica incorporada a los edificios reduce las oscilaciones de temperatura y

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Second block of faint, illegible text, appearing as a separate paragraph.

Third block of faint, illegible text, continuing the document's content.

Fourth block of faint, illegible text, possibly a transition or a new section.

Fifth block of faint, illegible text, likely the concluding part of the page.

absorbe la energía excedente, tanto de las ganancias solares como de las ganancias internas de calor (Zhu, Hurt, Correia & Boehm, 2009).

De acuerdo con lo anterior, es posible que en clima cálido-húmedo el uso de techos verdes, pueda permitir a la vivienda económica actual, dar condiciones de confort térmico a sus habitantes al aumentar la masa térmica del edificio. La estrategia pasiva de techos verdes se fundamenta con el diagnóstico bioclimático antes descrito y resulta ser una opción de adecuación térmica para las características ambientales del caso de estudio.

### **1.3. *Periodos de estudio.***

El monitoreo térmico se realizó en tres periodos de estudio: 1) Templado, 2) Transición y 3) Cálido. Lo anterior, permitió registrar la temperatura (bulbo seco y globo negro) y humedad relativa interior y exterior en tres situaciones climáticas representativas de la ciudad de Mérida. Un periodo templado en marzo, un periodo de transición en el mes de abril y un periodo cálido que se estudió en los meses de mayo y junio (Figura 37). El monitoreo térmico se realizó durante 15 días en cada periodo de estudio, los primeros cinco días fueron de estabilización de los módulos y prueba de sensores.

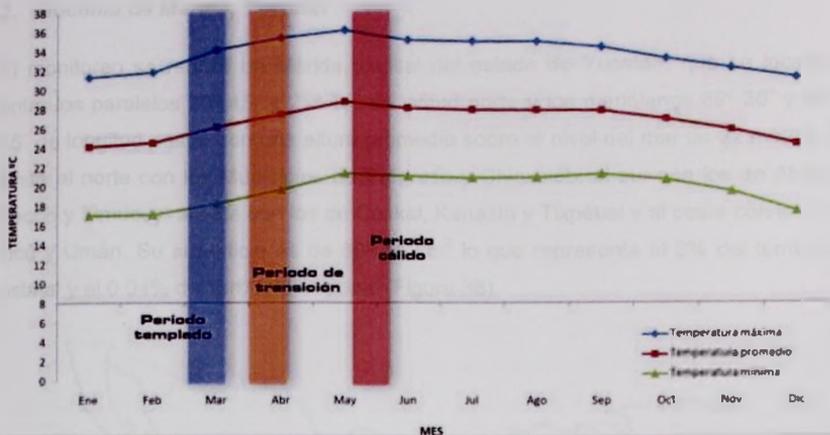
... ..

... ..

... ..

... ..

... ..



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Periodos de estudio con base en el termopreferendum de los habitantes de Mérida, Yucatán.

El periodo templado fue del 02 al 16 de marzo, el periodo de transición del 01 al 16 de abril y el periodo cálido del 20 de mayo al 04 de junio. El registro de las mediciones de temperaturas (bulbo seco y globo negro) y humedad relativa durante estos periodos permitió realizar un análisis comparativo de las condiciones térmicas del interior con el exterior en tres escenarios de monitoreo térmico con tres módulos de prueba.

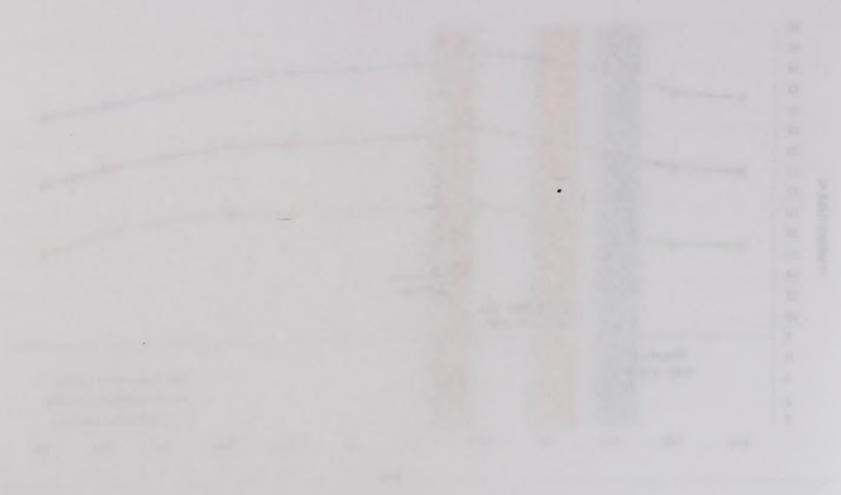
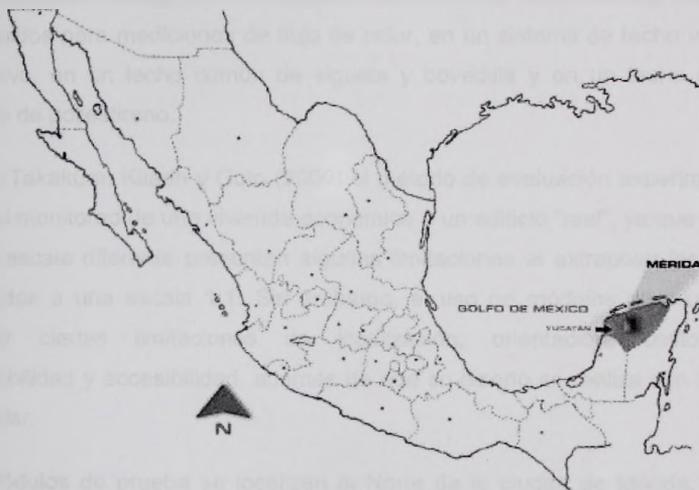


Figura 27. Evolución de la temperatura ambiente, del agua y de la arena durante el tiempo.

El proceso de enfriamiento de la arena se produce en un tiempo de 10 a 15 minutos, lo que indica que la arena tiene una capacidad térmica menor que el agua y el aire. El agua, por su parte, tiene una capacidad térmica mayor que el aire y el agua, lo que indica que el agua tiene una capacidad térmica mayor que el aire y el agua. El agua, por su parte, tiene una capacidad térmica mayor que el aire y el agua. El agua, por su parte, tiene una capacidad térmica mayor que el aire y el agua.

## 2. Bioclima de Mérida, Yucatán

El monitoreo se realizó en Mérida, capital del estado de Yucatán, que se localiza entre los paralelos  $20^{\circ} 45''$  y  $21^{\circ} 15''$  de latitud norte y los meridianos  $89^{\circ} 30''$  y  $89^{\circ} 45''$  de longitud oeste, con una altura promedio sobre el nivel del mar de 22 metros y limita al norte con los Municipios de Progreso y Chicxulub; al sur con los de Abalá, Tecoh y Timucuy; al este con los de Conkal, Kanasín y Tixpéual y al oeste con los de Ucú y Umán. Su superficie es de  $858.41 \text{ km}^2$  lo que representa el 2% del territorio estatal y el 0.04% del territorio nacional (Figura 38).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 38. Mapa de México que muestra la localización geográfica de Mérida, Yucatán.

De acuerdo con CONAGUA (2011), el clima de Mérida es sumamente cálido, con una humedad relativa media anual del 70% y máxima de 98%. Los valores de temperatura máxima, media y mínima extrema obtenidos en esta ciudad son de  $43.1^{\circ}\text{C}$ ,  $25.2^{\circ}\text{C}$  y  $2^{\circ}\text{C}$  respectivamente. La temperatura máxima promedio anual es de  $29.7^{\circ}\text{C}$  y se presenta en el mes de Mayo.

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.



Faint, illegible text at the bottom of the page, possibly a footer or concluding paragraph.

### **3. Cuasi-experimento**

El apartado del cuasi-experimento incluye las características de los módulos de prueba, los criterios utilizados para su diseño y las modificaciones realizadas. Se mencionan aspectos relacionados con la selección del techo verde y la vegetación, de los instrumentos utilizados así como de la estrategia de monitoreo que se empleó para la recolección de datos.

#### **3.1. Diseño de módulos de prueba.**

En el presente trabajo de investigación se utilizaron tres módulos de prueba ya contruidos para mediciones de flujo de calor, en un sistema de techo verde de tipo extensivo, en un techo común de vigueta y bovedilla y en un techo con aislante térmico de poliestireno.

Según Takakura, Kitade y Goto (2000) el método de evaluación experimental "ideal" sería el monitoreo de una vivienda económica o un edificio "real", ya que los módulos a una escala diferente presentan algunas limitaciones al extrapolar las mediciones realizadas a una escala 1:1. Sin embargo, el uso de módulos de prueba permite superar ciertas limitaciones de localización, orientación, costo operativo, disponibilidad y accesibilidad, además de que su diseño se realiza con un propósito particular.

Los módulos de prueba se localizan al Norte de la ciudad de Mérida, Yucatán en terrenos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) como se muestra en la figura 39. Debido a que estos modelos a escala se construyeron para estudios similares al planteado en el presente trabajo de investigación, la orientación de las fachadas principales se orienta al Sur, cuentan con paredes colindantes para representar los muros de casas vecinas y poder analizar efectos de sombras solares, vientos y radiación térmica.

The first part of the report deals with the general situation of the country and the progress of the war. It is a very interesting and detailed account of the events of the year.

THE SITUATION IN THE EAST

The situation in the East is very serious. The Russian army has made great progress in the last few months and is now in a position to take the offensive.

The Russian army has made great progress in the last few months and is now in a position to take the offensive. The situation in the East is very serious.

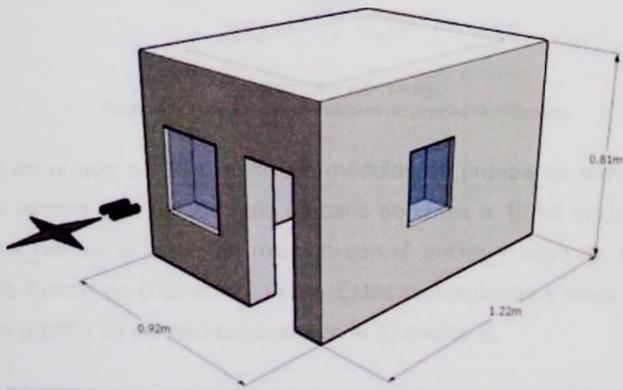
The situation in the East is very serious. The Russian army has made great progress in the last few months and is now in a position to take the offensive.



Fuente: Google Maps (2013)

**Figura 39.** Localización de los módulos de prueba.

Se utilizaron tres módulos ya existentes, contruidos con bloque de concreto común tipo hueco de 0.12 m de ancho y techo a base de vigueta y bovedilla; aplanado de mortero cemento-arena proporción 1:3. Estos módulos hacen referencia a la zona de sala-comedor de una vivienda económica. La escala es 1:4, por lo cual, los módulos tienen un ancho de 0.92 m x 1.22 m de profundidad y 0.81 m de altura que corresponden a los 3.70 m x 4.88 m x 3.20 m, dimensiones del espacio de la sala-comedor de las viviendas a escala 1:1 (Figura 40).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 40.** Vista 3-D de los módulos de prueba.

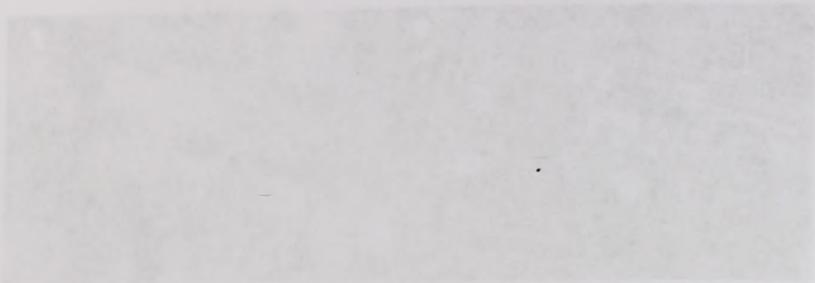


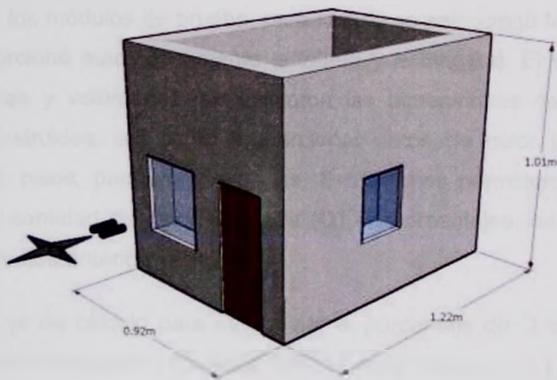
Figura 1. Vista general del sistema de medición.

El sistema de medición se compone de un sensor de imagen que captura la información de la muestra y la envía a un computador que realiza el procesamiento de la imagen. El sensor de imagen es un tipo de cámara que captura la imagen de la muestra y la envía a un computador que realiza el procesamiento de la imagen. El computador realiza el procesamiento de la imagen y genera una imagen digital que se puede almacenar o imprimir. El sistema de medición se compone de un sensor de imagen que captura la información de la muestra y la envía a un computador que realiza el procesamiento de la imagen. El sensor de imagen es un tipo de cámara que captura la imagen de la muestra y la envía a un computador que realiza el procesamiento de la imagen. El computador realiza el procesamiento de la imagen y genera una imagen digital que se puede almacenar o imprimir.



Figura 2. Diagrama tridimensional del sistema de medición.

Se realizaron diversas modificaciones a los módulos de prueba, necesarias para el estudio de los tres tipos de techos planteados anteriormente. Se colocaron pretilas de 0.20 m de alto a los módulos, acabado de pintura color blanco mate en exteriores, aplanado de mortero cemento-arena 1:3 acabado natural en interiores, se colocaron cristales de 0.003 m de espesor en ventanas, puertas de madera contrachapeada de 0.025 m de espesor. Se sellaron las ventanas y ranuras que permitieran pérdidas o ganancias de calor por infiltración o exfiltración con silicón acrílico líquido de color blanco (Figura 41).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 41.** Vista 3-D de los módulos de prueba modificados.

El entorno en el que se desplantan los módulos de prueba es terreno natural con vegetación escasa y el edificio más cercano se ubica a 15.50 m de distancia. Las dimensiones del techo verde en relación con el ancho y largo de los módulos ya modificados fueron de 0.68 m x 0.98 m. Estas dimensiones y otros detalles de los módulos de prueba se pueden consultar en el Apéndice B.

El estudio de la influencia de la temperatura en el comportamiento de los materiales se realiza mediante ensayos de tracción y compresión. En estos ensayos se somete a un material a una carga que produce una deformación y se mide la fuerza aplicada y el desplazamiento. Los resultados se representan en un gráfico de tensión versus deformación. Este gráfico permite determinar propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad, el límite elástico y el punto de fluencia. La temperatura afecta directamente estas propiedades, generalmente reduciendo el límite elástico y aumentando el alargamiento a rotura a medida que la temperatura aumenta.



Figura 1. Esquema de un ensayo de tracción en un material.

El estudio de la influencia de la temperatura en el comportamiento de los materiales se realiza mediante ensayos de tracción y compresión. En estos ensayos se somete a un material a una carga que produce una deformación y se mide la fuerza aplicada y el desplazamiento. Los resultados se representan en un gráfico de tensión versus deformación. Este gráfico permite determinar propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad, el límite elástico y el punto de fluencia. La temperatura afecta directamente estas propiedades, generalmente reduciendo el límite elástico y aumentando el alargamiento a rotura a medida que la temperatura aumenta.

### 3.2. Cálculo térmico en módulos de prueba.

El espesor del techo verde para el módulo de prueba se determinó de acuerdo con los resultados del cálculo térmico realizado, basado en el método de ASHRAE (2009) *Residential Cooling and Heating Load Calculations*. Se utilizó la herramienta en Excel de Luna, Bojórquez, Gallegos y Mata (2012), Cálculo Térmico en la Edificación (CATEDI). Esta hoja de cálculo trabaja con datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y realiza cálculos en estado estable.

El primer paso fue seleccionar la ciudad en la cual se desplanta el edificio a estudiar (en este caso, los módulos de prueba, para lo cual se seleccionó Mérida, Yucatán) y CATEDI proporcionó automáticamente la latitud y la longitud. El segundo paso fue cuantificar áreas y volúmenes, se utilizaron las dimensiones de los módulos de prueba ya construidos, así como proporcionar datos de color y materiales para techos, muros, pisos, puertas y ventanas. Estos datos permitieron calcular en un tercer paso la cantidad de calor aportada (Q) en porcentajes, de cada uno de los elementos descritos anteriormente.

Se utilizó la hoja de cálculo para determinar el porcentaje de Q en cuatro tipos de techos: 1) Techo de vigueta y bovedilla de 0.17 m de espesor, 2) Techo de vigueta y bovedilla de 0.17 m de espesor con 1" (unidad de pulgada igual a 0.0254 m) de poliestireno, 3) Techo verde de 0.10 m de espesor y 4) Techo verde de 0.15 m de espesor. Para el cálculo de los techos verdes se utilizaron los coeficientes de transferencia de calor (U) descritos en Niachou et al. (2001), quienes mencionan que para un techo verde de 0.10 m de espesor con bajo aislamiento térmico  $U=0.57 \text{ W/m}^2\text{K}$  y para un techo verde con 0.15 m de espesor con bajo aislamiento térmico  $U=0.55 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Los resultados obtenidos con la hoja de cálculo fueron los siguientes: para el techo de referencia de vigueta y bovedilla de 0.17 m de espesor  $Q=20.1\%$ , el techo de vigueta y bovedilla de 0.17 m de espesor con 1" de poliestireno tuvo un valor de

The purpose of this study is to explore the ethical implications of the use of information technology in the workplace. The study focuses on the use of email and instant messaging, and how these technologies have changed the way we communicate and work. The research is based on a survey of 100 employees from various organizations. The results show that the use of these technologies has led to a more flexible and efficient work environment, but it has also led to a loss of privacy and a blurring of the boundaries between work and home life. The study concludes that organizations should be aware of the ethical implications of these technologies and should take steps to protect the privacy of their employees.

The use of information technology in the workplace has become increasingly common in recent years. This has led to a number of ethical issues that have not been fully explored. One of the most significant issues is the loss of privacy. As more and more of our work is done on computers, our work lives are becoming more and more intertwined with our personal lives. This can lead to a loss of privacy and a blurring of the boundaries between work and home life. Another issue is the potential for discrimination. As more and more of our work is done on computers, there is a risk that those who are less technologically savvy will be at a disadvantage. This could lead to discrimination based on age or ability. Finally, there is the issue of the impact of technology on the environment. The production and use of computers and other electronic devices can have a significant impact on the environment. It is important that we consider these ethical implications when we use information technology in the workplace.

The purpose of this study is to explore the ethical implications of the use of information technology in the workplace. The study focuses on the use of email and instant messaging, and how these technologies have changed the way we communicate and work. The research is based on a survey of 100 employees from various organizations. The results show that the use of these technologies has led to a more flexible and efficient work environment, but it has also led to a loss of privacy and a blurring of the boundaries between work and home life. The study concludes that organizations should be aware of the ethical implications of these technologies and should take steps to protect the privacy of their employees.

The use of information technology in the workplace has become increasingly common in recent years. This has led to a number of ethical issues that have not been fully explored. One of the most significant issues is the loss of privacy. As more and more of our work is done on computers, our work lives are becoming more and more intertwined with our personal lives. This can lead to a loss of privacy and a blurring of the boundaries between work and home life. Another issue is the potential for discrimination. As more and more of our work is done on computers, there is a risk that those who are less technologically savvy will be at a disadvantage. This could lead to discrimination based on age or ability. Finally, there is the issue of the impact of technology on the environment. The production and use of computers and other electronic devices can have a significant impact on the environment. It is important that we consider these ethical implications when we use information technology in the workplace.

Q=5.3%, para el techo verde de 0.10 m de espesor Q= 4.9% y para un techo verde 0.15 m de espesor Q=4.7% (Ver Apéndice C).

La cantidad de calor aportada (Q) por el techo verde de 0.15 m de espesor fue 77% menor que la del techo de referencia de vigueta y bovedilla y 11% menor que la de un techo de vigueta y bovedilla con 1" de poliestireno. El valor de Q para el techo verde de 0.10 m de espesor fue 76% menor que la del techo de vigueta y bovedilla y 7.5% menor que un techo de vigueta y bovedilla con 1" de poliestireno. La diferencia entre los valores de Q para los techos verdes de 0.15 y 0.10 m de espesor fue de 4% (Tabla 17).

Por lo anterior, la aplicación de un techo verde con espesor de 0.10 m presentó ventajas térmicas similares a las de un techo verde de 0.15 m de espesor, en un módulo de prueba con las características y dimensiones descritas anteriormente. Además, al tener menor espesor este tipo de techo aporta menor peso a la estructura en comparación con un techo verde 0.15 m de espesor y representa también menor costo por volumen de sustrato utilizado.

**Tabla 17**

*Comparación de los valores obtenidos de "Q" con el programa CATEDI en cuatro tipos de techos.*

Techo	Vigueta y bovedilla común	Poliestireno	Techo verde	Techo verde
Espesor	0.17 m	Con placas de 0.0254 m	0.10 m	0.15 m
	20.1%	5.3%	4.9%	4.7%

Fuente: Elaboración propia.

0-5 3% para el lado sur de 0 m de espesor Q=1.75 (ver Tabla 7)  
 0-10 m de espesor Q=1.75 (ver Tabla 7)

La cantidad de agua que se evapora (E) por unidad de área y tiempo (E<sub>0</sub>) en un día depende de la temperatura del aire (T<sub>a</sub>), la humedad relativa (RH), la velocidad del viento (V) y la radiación solar (I<sub>0</sub>). La ecuación que describe la evaporación es:

$$E_0 = \frac{10^{-8}}{24} (I_0 - RH) V$$

donde E<sub>0</sub> es la evaporación en mm/día, I<sub>0</sub> es la radiación solar en kcal/cm<sup>2</sup>/hora, RH es la humedad relativa en %, y V es la velocidad del viento en m/s.

(Tabla 7)

Por lo anterior, la evaporación de un suelo con un espesor de 0-10 m depende de la cantidad de agua que se evapora en los 10 m de espesor. La ecuación que describe la evaporación de un suelo con un espesor de 0-10 m es:

$$E = E_0 \times 10$$

donde E es la evaporación en mm/día y E<sub>0</sub> es la evaporación por unidad de área y tiempo en mm/día.

Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Radiación Solar (kcal/cm <sup>2</sup> /hora)	Evaporación (mm/día)
0-5	25	60	2	10	0.5
5-10	20	70	1	5	0.25

(Tabla 8)

### 3.3. Selección de sistema de techo verde.

El sistema constructivo de techo verde que se utilizó fue tradicional de tipo extensivo, debido a que estos techos verdes requieren menos mantenimiento y su instalación es generalmente menos costosa en comparación con los de tipo intensivo. En este sistema se utiliza un rango reducido de plantas limitadas a hierbas, pasto, musgos y suculentas tolerantes a la sequía como el *sedum*, planta conocida por su tolerancia a condiciones extremas. Este tipo de plantas puede sostenerse en sustratos de hasta 0.025 m de espesor, por lo cual, se pueden instalar en edificios sin costos adicionales por alteraciones estructurales (ASTM E 2400, 2006).

Santamouris (2012) menciona que el espesor y las características térmicas del techo verde definen la transferencia de calor hacia el edificio, mientras que el tipo y las características de las plantas definen los niveles de sombreado y la transferencia de radiación a través de las capas. Con base en lo anterior, de acuerdo con el cálculo térmico realizado y la Norma para sistemas de naturación en el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007 el espesor del techo verde fue de 0.10 m y la altura de crecimiento de las plantas no mayor a 0.50 m.

En cuanto a la composición del techo verde, los materiales de las capas fueron reutilizados, de fácil adquisición y menos costosos en comparación con los ofertados en el mercado. De acuerdo con los criterios establecidos en la NADF-013-RNAT-2007 la composición de las capas fue la siguiente:

- 1) En la primera capa se utilizó un impermeabilizante acrílico color blanco con malla del mismo color que se aplicó sobre la estructura del techo y en el pretil (Figura 42a).
- 2) Para la capa anti-raíz se utilizaron dos pitas de rafia de 0.60 x 0.80 m (Figura 42b).
- 3) En la capa filtrante se reutilizaron moldes comúnmente usados en repostería, adaptados y perforados en las bases para permitir el flujo del agua (Figura 42c).

The first part of the paper discusses the importance of the study of the history of the United States. It is argued that a knowledge of the past is essential for a full understanding of the present. The author then proceeds to discuss the various factors that have shaped the development of the United States, including geography, economics, and politics.

In the second part of the paper, the author examines the role of the federal government in the development of the United States. It is argued that the federal government has played a crucial role in the growth and development of the country, particularly in the areas of infrastructure, education, and social welfare.

The third part of the paper discusses the challenges facing the United States in the twenty-first century. It is argued that the country must address issues such as global climate change, terrorism, and economic inequality in order to remain a leading power in the world.

In conclusion, the author argues that the study of the history of the United States is not only important for understanding the past, but also for shaping the future of the country. It is only by learning from the mistakes of the past that we can build a better future for ourselves and for the world.

- 4) La capa drenante se logró con 0.025 m<sup>3</sup> de grava de piedra caliza, colocada directamente sobre los moldes de la capa filtrante (Figura 42d).
- 5) En la capa del sustrato se utilizaron 50 kg de tierra negra vegetal colocada directamente sobre la grava de la capa drenante (Figura 42e).
- 6) En la capa de vegetación se utilizaron tres especies de plantas, distribuidas uniformemente en tres secciones transversales del techo.



(a). Capa de impermeabilizante.



(b). Capa anti-raíz.



(c). Moldes para capa drenante.

- 4) En caso de haberse producido un accidente de tránsito, ¿qué acciones se deben tomar?
- 5) En caso de haberse producido un accidente de tránsito, ¿qué acciones se deben tomar?
- 6) En caso de haberse producido un accidente de tránsito, ¿qué acciones se deben tomar?
- 7) En caso de haberse producido un accidente de tránsito, ¿qué acciones se deben tomar?

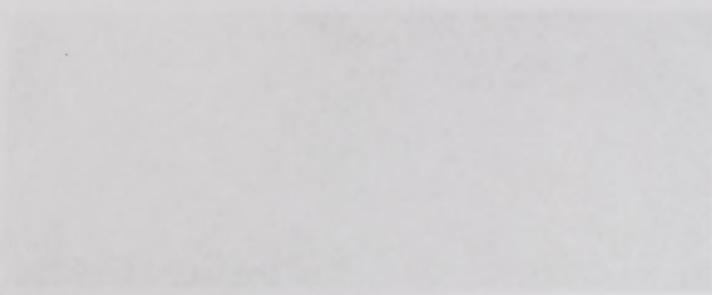


Figura 1. Descripción de la imagen.



Figura 2. Descripción de la imagen.

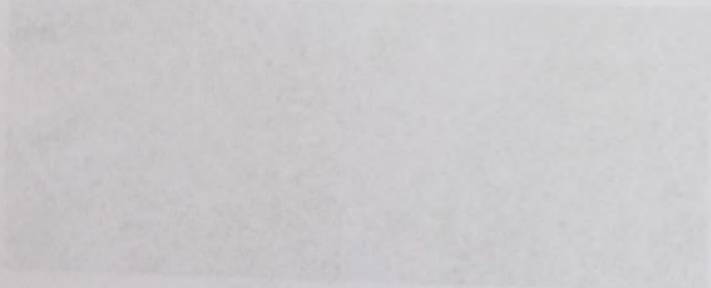


Figura 3. Descripción de la imagen.



(d). Capa filtrante.



(e). Capa de sustrato (medio de crecimiento).

Fuente: Archivo personal.

**Figura 41.** Composición de las capas del techo verde.

Debido a que es una propuesta para el sector de vivienda económica, la inversión que implica la constitución del sistema multicapa de un techo verde fue un punto relevante en su estudio, por esto, se enlistaron cada uno de los materiales utilizados con la finalidad de estimar el costo total de las capas de este tipo de techo (Tabla 18).

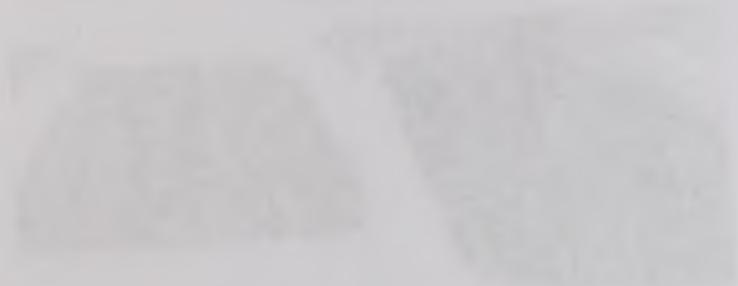
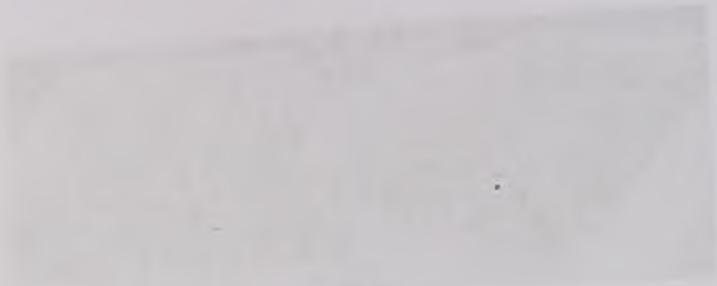


Figure 1. [Illegible text describing the diagrams]

[Illegible text block containing several lines of text, likely a description or conclusion related to the diagrams above.]

41

**Tabla 18***Costo de materiales utilizados en el techo verde.*

Materia	Precio	Cantidad	Subtotal
Impermeabilizante	\$120 (4 litros)	1 pieza	\$120
Malla p/impermeabilizar	\$20 por m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup>	\$20
Pítas	\$2	2 piezas	\$4
Moldes de plástico p/repostería	\$7	30 piezas	\$210
Grava	\$170 por m <sup>3</sup> , 1 m <sup>3</sup> =25 sacos	½ saco	\$30
Tierra negra vegetal	\$100 saco de 50 kg	1 saco	\$100
Vegetación	\$20 por especie	3 especies	\$60
<b>Total=</b>			<b>\$544</b>

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que si estos materiales se estimaran en cantidades mayores a las presentadas en la tabla anterior, el precio disminuye por venta a mayoreo. Estos precios también varían de acuerdo con la ciudad en la que sean adquiridos.



### 3.4. Criterios para selección de vegetación.

La selección de la vegetación se realizó de acuerdo con la Norma ASTM E 2400-06 *Selection, Installation, and Maintenance of Plants for Green Roof Systems* y NADF-013-RNAT-2007 Norma ambiental para el Distrito Federal, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación. La Norma ASTM menciona cinco criterios para la selección de especies de plantas de un techo verde: 1) El objetivo del diseño, 2) Estética, 3) Clima, 4) Características de las plantas y 5) Medio de crecimiento (Sustrato); La NADF-013 incluye especificaciones técnicas y requerimientos mínimos de la vegetación empleada en cubiertas.

Lo anterior, permitió establecer criterios de selección de vegetación para un techo verde de tipo extensivo en clima cálido-húmedo, los cuales sirvieron de guía para acudir a la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán y al Jardín botánico del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY), en donde se identificaron y seleccionaron las plantas que cumplen con los criterios establecidos para el techo verde (Tabla 19).

Tabla 19

*Plantas para techo verde de tipo extensivo en clima cálido-húmedo.*

Imagen	Nombre científico	Criterios de selección*
	Pilea s.p. (comelinácea)	<p><b>Hábito y origen:</b> Hierba, introducida.</p> <p><b>Altura y área de hoja:</b> 0.20 m con hojas pequeñas dentadas.</p> <p><b>Consumo de agua:</b> Bajo.</p> <p><b>Resistencia a la exposición del sol:</b> Alta.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> De baja frecuencia.</p> <p><b>Sustrato:</b> Suelos no profundos de 0.025 – 0.08 m.</p>
	Tripogandra Serrulata (comelinácea)	<p><b>Hábito y origen:</b> Hierba, introducida, cultivada.</p> <p><b>Altura y área de hoja:</b> 0.30 m con hojas alargadas de hasta 0.15 m.</p> <p><b>Consumo de agua:</b> Bajo.</p> <p><b>Resistencia a la exposición del sol:</b> Alta.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> De baja frecuencia.</p> <p><b>Sustrato:</b> Suelos no profundos de 0.025 – 0.08 m.</p>

La selección de la vegetación se realizó de acuerdo con la Norma ASTM E 2489-02. Selección Vegetación and Maintenance of Forest for Great Forest Systems y MADE-013-RMAT-2001. Entre otros, para el diseño de la vegetación, se consideraron las especificaciones técnicas para la selección de especies de plantas. La Norma ASTM menciona cinco criterios para la selección de especies de plantas en un sitio verde: 1) El estado del sitio, 2) Estado de la zona, 3) Características de las plantas y 4) Medio de crecimiento (Climático y Edafológico). Los criterios técnicos y reglamentarios mínimos de selección son los siguientes:

Lo anterior permite establecer criterios de selección de especies de plantas para la venta de las especies de plantas que se requieren para el proyecto de la Facultad de Ciencias Exactas y Agrícolas de la Universidad Autónoma de Yucatán y al tanto de los criterios de selección de plantas que Yucatán, A.C. (YUCY), se debe de considerar y seleccionar las plantas que cumplirán con los criterios establecidos para el proyecto (YUCY, 2011).

Tabla 3.4

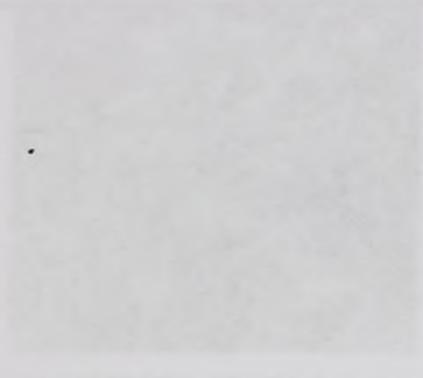
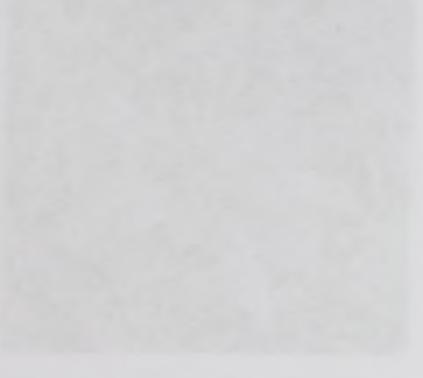
Criterios para la selección de vegetación

Criterio	Descripción	Observaciones
1. Estado del sitio	...	...
2. Estado de la zona	...	...
3. Características de las plantas	...	...
4. Medio de crecimiento	...	...

**Tabla 19**

*Plantas para techo verde de tipo extensivo en clima cálido-húmedo.*

Imagen	Nombre científico	Criterios de selección*
	<p>Tradescantia s.p. (comelinácea)</p>	<p><b>Hábito y origen:</b> Hierba, introducida, cultivada.</p> <p><b>Altura y área de hoja:</b> 0.50 m con hojas grandes alargadas con punta.</p> <p><b>Consumo de agua:</b> Bajo.</p> <p><b>Resistencia a la exposición del sol:</b> Alta.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> De baja frecuencia.</p> <p><b>Sustrato:</b> Suelos no profundos de 0.025 – 0.08 m.</p>
	<p>Tradescantia s.p. (comelinácea)</p>	<p><b>Hábito y origen:</b> Hierba, introducida, cultivada.</p> <p><b>Altura y área de hoja:</b> 0.50 m con hojas grandes alargadas.</p> <p><b>Consumo de agua:</b> Bajo.</p> <p><b>Resistencia a la exposición del sol:</b> Alta.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> De baja frecuencia.</p> <p><b>Sustrato:</b> Suelos no profundos de 0.025 – 0.08 m.</p>
	<p>Portulaca s.p.</p>	<p><b>Hábito y origen:</b> Hierba, introducida, cultivada.</p> <p><b>Altura y área de hoja:</b> 0.15 - 0.25 m con hojas pequeñas ovaladas.</p> <p><b>Consumo de agua:</b> Bajo.</p> <p><b>Resistencia a la exposición del sol:</b> Alta.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> Frecuente.</p> <p><b>Sustrato:</b> Suelos no profundos de 0.025 – 0.08 m.</p>
	<p>Tradescantia Pallida (comelinácea)</p>	<p><b>Hábito y origen:</b> Hierba, introducida.</p> <p><b>Altura y área de hoja:</b> 0.30 m con hojas pequeñas alargadas.</p> <p><b>Consumo de agua:</b> Bajo.</p> <p><b>Resistencia a la exposición del sol:</b> Alta.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> De baja frecuencia.</p> <p><b>Sustrato:</b> Suelos no profundos de 0.005 – 0.08 m.</p> <p><b>Otros:</b> Con flores en verano.</p>

<p>1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. This is essential for ensuring the integrity of the financial data and for providing a clear audit trail.</p> <p>2. The second part of the document outlines the various methods used to collect and analyze data. These methods include direct observation, interviews, and the use of specialized software tools.</p> <p>3. The third part of the document describes the results of the data collection and analysis. It shows that there are significant differences in the way that different groups of people use the system, and that these differences can have a major impact on the overall performance of the organization.</p>	<p>Methodology</p>	
<p>4. The fourth part of the document discusses the implications of the findings. It suggests that the organization should consider ways to improve the system to better meet the needs of all users, and that it should continue to monitor the system's performance over time.</p> <p>5. The fifth part of the document provides a conclusion and a list of references. It emphasizes the importance of ongoing research and development in this area, and provides a list of sources that were used in the study.</p>	<p>Results</p>	
<p>6. The sixth part of the document discusses the limitations of the study. It notes that the data was collected from a single organization, and that the results may not be generalizable to other organizations. It also notes that the study was limited to a specific time period, and that the results may change over time.</p> <p>7. The seventh part of the document provides a list of references. It includes a list of books, articles, and other sources that were used in the study.</p>	<p>References</p>	
<p>8. The eighth part of the document provides a list of references. It includes a list of books, articles, and other sources that were used in the study.</p> <p>9. The ninth part of the document provides a list of references. It includes a list of books, articles, and other sources that were used in the study.</p>	<p>References</p>	

**Tabla 19**

*Plantas para techo verde de tipo extensivo en clima cálido-húmedo.*

Imagen	Nombre científico	Criterios de selección*
	<p>Pilea s.p. (comelinácea)</p>	<p><b>Hábito y origen:</b> Hierba, introducida.</p> <p><b>Altura y área de hoja:</b> De tipo rastrero, de hojas pequeñas.</p> <p><b>Consumo de agua:</b> Bajo.</p> <p><b>Resistencia a la exposición del sol:</b> Alta.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> Frecuente.</p> <p><b>Sustrato:</b> Suelos no profundos de 0.025 – 0.08 m.</p>
	<p>Tradescantia Zebrina (comelinácea)</p>	<p><b>Hábito y origen:</b> Hierba, introducida.</p> <p><b>Altura y área de hoja:</b> 0.30 m de hojas pequeñas ovaladas.</p> <p><b>Consumo de agua:</b> Bajo.</p> <p><b>Resistencia a la exposición del sol:</b> Alta. El color de sus hojas depende de la cantidad de sol recibido.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> De baja frecuencia.</p> <p><b>Sustrato:</b> Suelos no profundos de 0.025 – 0.08 m.</p>
	<p>Callisia s.p.</p>	<p><b>Hábito y origen:</b> Hierba, introducida.</p> <p><b>Altura y área de hoja:</b> 0.15 - 0.20 m de hojas pequeñas ovaladas.</p> <p><b>Consumo de agua:</b> Bajo.</p> <p><b>Resistencia a la exposición del sol:</b> Alta.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> De baja frecuencia.</p> <p><b>Sustrato:</b> Suelos no profundos de 0.025 – 0.08 m.</p>
	<p>Mala madre (Nombre común)</p>	<p><b>Hábito y origen:</b> Hierba</p> <p><b>Altura y área de hoja:</b> 0.20 – 0.50 m con hojas alargadas.</p> <p><b>Consumo de agua:</b> Bajo.</p> <p><b>Resistencia a la exposición del sol:</b> Alta.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> De baja frecuencia.</p> <p><b>Sustrato:</b> Suelos no profundos de 0.025 – 0.08 m.</p>

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. The text is arranged in several horizontal lines across the page.



**Tabla 19**

*Plantas para techo verde de tipo extensivo en clima cálido-húmedo.*

Imagen	Nombre científico	Criterios de selección*
	Teléfono (Nombre común)	<p><b>Hábito y origen:</b></p> <p><b>Altura y área de hoja:</b> Trepadoras con hojas ovaladas de dimensiones variables.</p> <p><b>Consumo de agua:</b> Bajo.</p> <p><b>Resistencia a la exposición del sol:</b> Alta.</p> <p><b>Mantenimiento:</b> De baja frecuencia.</p> <p><b>Sustrato:</b> Suelos no profundos de 0.025 – 0.08 m.</p>

\*Basados en ASTM E 2400-06 y NADF-013-RNAT-2007

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de la revisión de las especies mencionadas, se seleccionaron tres tipos de plantas de la familia comelináceas: 1) Tripogandra Serrulata conocida como canutillo, 2) Tradescantia Pallida, de nombre común purpurina, 3) Tradescantia Zebrina conocida como matalí, las cuales se colocaron sobre un sustrato de tierra negra vegetal de 0.05 m de espesor, con el fin de conocer y comprobar su comportamiento en un techo verde de tipo extensivo (Figura 42).



Fuente: Archivo personal.

**Figura 42.** Vegetación utilizada en el techo verde.

Year	Area (ha)	Production (t)	Yield (t/ha)
1980	100	1000	10
1981	100	1000	10
1982	100	1000	10
1983	100	1000	10
1984	100	1000	10
1985	100	1000	10
1986	100	1000	10
1987	100	1000	10
1988	100	1000	10
1989	100	1000	10
1990	100	1000	10

This section describes the results of the study on the effects of the different treatments on the yield and quality of the crop. The data presented in the table above show that the yield was stable over the period of the study, with a constant yield of 10 t/ha. This indicates that the different treatments did not have a significant effect on the yield of the crop.

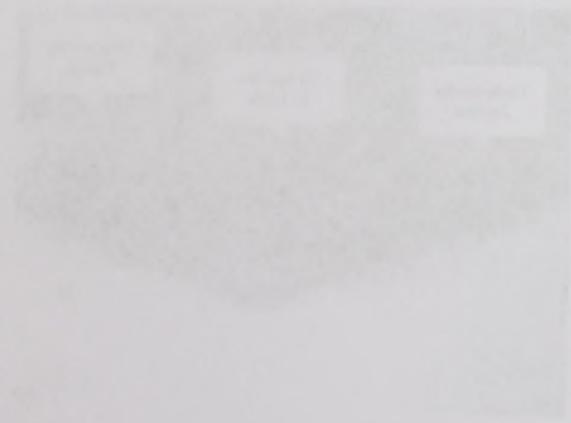


Figure 1. Yield of the crop over time for different treatments.

### 3.5. Estrategia de monitoreo térmico.

En el monitoreo térmico se utilizaron tres módulos de prueba ya construidos, en los cuales se colocaron sensores de temperatura de bulbo seco y humedad relativa, este proceso se basó en la Norma para monitoreo en sitio ASTM C-1046-95 (*In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components*) y ANSI-ASHRAE-55-2010 (*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*).

Los instrumentos para el monitoreo en sitio se eligieron de acuerdo con su precisión, disponibilidad y fácil manejo. La precisión de los instrumentos de medición de temperatura no debe tener un error mayor a los 0.5°C en ambientes con temperaturas de los 0°C – 50°C y un rango de error no mayor a  $\pm 2.5\%$  para mediciones de humedad. La cantidad de instrumentos utilizados está relacionada con la facilidad de adquisición en el mercado, así como de la cantidad de instrumentos disponibles. El fácil manejo del equipo de monitoreo es otra característica importante que condiciona la selección de los instrumentos, ya que estos deben permitir realizar mediciones en sitio y descargar datos a un equipo de cómputo.

Otro aspecto para la selección de los instrumentos de medición, son las variables que se necesitaron medir, para lo cual se hizo una revisión de las normas sobre confort térmico ANSI-ASHRAE 55-2010, ISO 7730 2005, ISO 7726 1998, ISO 10551 1995 y la norma para monitoreo en sitio ASTM C-1046-95. A partir de lo anterior, las variables meteorológicas que se estudiaron en el presente trabajo de investigación son las siguientes: temperatura del aire (°C), humedad relativa (%) y temperatura de globo negro (°C).

Se utilizaron sensores registradores de datos (Hobo U12-013 *data loggers*) marca Onset con dos salidas externas para las mediciones de temperatura de bulbo seco y humedad relativa en espacios interiores, las especificaciones técnicas de este dispositivo se presentan en la tabla 20.

En el momento de iniciar los trabajos se debe tener en cuenta lo siguiente: en las  
 etapas de calentamiento se debe tener en cuenta la temperatura de calentamiento, que  
 depende de la naturaleza del material y de la velocidad de calentamiento. En el  
 momento de enfriamiento se debe tener en cuenta la temperatura de enfriamiento y  
 la velocidad de enfriamiento.

Los instrumentos que se emplean para el estudio de los cambios en el periodo  
 de calentamiento y de enfriamiento, la velocidad de calentamiento y de enfriamiento  
 no debe ser menor de 10°C/min y de 10°C/min respectivamente. La temperatura  
 de calentamiento debe ser de 50°C a 100°C y de enfriamiento de 10°C a 50°C.  
 La velocidad de calentamiento y de enfriamiento debe ser de 10°C/min y de 10°C/min  
 respectivamente. El tiempo de calentamiento y de enfriamiento debe ser de 10 min  
 y de 10 min respectivamente. El tiempo de calentamiento y de enfriamiento debe ser  
 de 10 min y de 10 min respectivamente. El tiempo de calentamiento y de enfriamiento  
 debe ser de 10 min y de 10 min respectivamente. El tiempo de calentamiento y de  
 enfriamiento debe ser de 10 min y de 10 min respectivamente.

Este aspecto para la realización de los trabajos de laboratorio son los siguientes:  
 que se realicen los trabajos en un ambiente controlado de temperatura y humedad  
 relativa. El tiempo de calentamiento y de enfriamiento debe ser de 10 min y de 10 min  
 respectivamente. La velocidad de calentamiento y de enfriamiento debe ser de 10°C/min  
 y de 10°C/min respectivamente. El tiempo de calentamiento y de enfriamiento debe  
 ser de 10 min y de 10 min respectivamente. El tiempo de calentamiento y de  
 enfriamiento debe ser de 10 min y de 10 min respectivamente.

En el momento de iniciar los trabajos se debe tener en cuenta lo siguiente: en las  
 etapas de calentamiento se debe tener en cuenta la temperatura de calentamiento, que  
 depende de la naturaleza del material y de la velocidad de calentamiento. En el  
 momento de enfriamiento se debe tener en cuenta la temperatura de enfriamiento y  
 la velocidad de enfriamiento.

**Tabla 20**

**Especificaciones técnicas del dispositivo registrador de datos (*data logger*).**

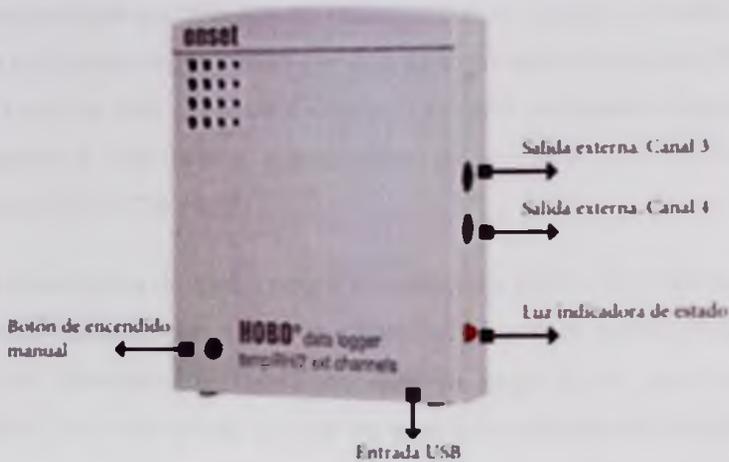
Concepto	Especificación
Rango de medición	Temperatura: -20°C-70°C
	Humedad relativa: 5%-95%
Precisión	Temperatura: $\pm 0.35^\circ\text{C}$ de 0°C a 50°C
	Humedad relativa: $\pm 2.5\%$ de 10% a 90% hasta un máximo de $\pm 3.5\%$
Tiempo de precisión	$\pm 1$ minuto por mes a 25°C
Funcionamiento	Registro: -20°C a 70°C
	Entrada/salida de datos: 0°C a 50°C
Batería	1 año de uso
Memoria	64 kb (43,000 mediciones de 12-bit)
Peso	46 g.
Dimensiones	58 x 74 x 22 mm

Fuente: Elaboración propia, tomado de *Onset Computer Corporation*.

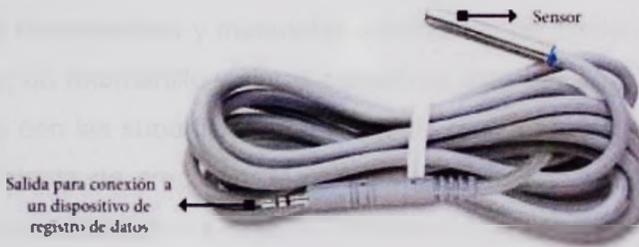
Los sensores registradores de datos (*data loggers*) pueden conectarse a una computadora por medio de un cable USB (Siglas de *Universal Serial Bus*), lo cual permitió el encendido, la descarga y el procesamiento de los datos medidos (Figura 43a).

La temperatura de superficies y del sustrato se midió con un sensor de temperatura tipo "T" que se conecta directamente a la toma de entrada externa de un *data logger*, su longitud varía de los 0.30 m hasta 15.20 m (Figura 43b). El rango de medición del termopar es de -40 °C a 50 °C en el agua o el suelo, de -40 °C a 100 °C en el aire, el tiempo de respuesta es de 2 minutos con aire en movimiento a 1 m/s y su peso es de 0.034 Kg.





(a). Sensor data logger tipo HOBO marca Onset, para mediciones de temperatura y humedad relativa.



(b). Sensor tipo TMC6-HD, marca Onset para mediciones de temperatura en superficies y el sustrato.

Fuente: *Onset Computer Corporation* en <http://www.onsetcomp.com/products/sensors/tmc6-hd>  
**Figura 43.** Sensores de temperatura de bulbo seco utilizados en el monitoreo térmico.

La temperatura radiante se midió con un sensor de temperatura de globo negro, que consiste en un sensor (puede ser un termopar, termómetro de mercurio o una sonda de resistencia) colocado en el interior de un globo cuya superficie es color negro mate, esta esfera absorbe la radiación de diversas fuentes de calor del entorno más calientes que el aire y emite radiación a los más fríos, lo cual da como resultado un valor físico de radiación que se utiliza para comprobar las condiciones de confort térmico de las personas en espacios interiores.



La temperatura radiante es definida en relación con el cuerpo humano, por lo que la forma esférica del globo negro puede ser una aproximación razonable de la forma del cuerpo, en el caso de una persona sentada. También se puede utilizar un globo en forma de elipsoide la cual da una aproximación de la forma humana de una persona de pie y sentada (ISO 7726 1998).

El sensor de temperatura de globo negro se elaboró a partir de un sensor tipo TMC6-HD marca Onset colocado en el centro geométrico de una pelota de tenis de mesa (ping pong) con diámetro de 0.045 m, que se pegó a un cono utilizado para señalización de 0.20 m de altura, al cual se le aplicó acabado de pintura color negro mate. Este instrumento fue validado con un monitor de estrés térmico que cumple con la norma ISO 7726 (1998), presentó variaciones de  $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ , las cuales se consideraron para el análisis de resultados (Figura 44).

Se utilizaron herramientas y materiales adicionales de fijación para la colocación de los sensores, un rotomartillo y cintas adhesivas para asegurar el contacto térmico de los sensores con las superficies. Para medida de longitudes se utilizó el flexómetro, como herramienta de precisión. Materiales adicionales para la mano de obra en la construcción y sellado de los módulos, colocación de puertas, ventanas y sensores.

En el interior de los módulos de prueba se colocaron 50 kg de arena cernida (Que corresponden a 0.04 m de espesor) con 5% de humedad. El proceso de secado se realizó de acuerdo con la norma ASTM C 29 *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. Para este proceso se utilizó un horno de secado a  $110^{\circ}\text{C}$ , una balanza digital y dos bandejas de aluminio con capacidad para 25 kg (Figura 44). La arena en el interior de los módulos absorbe el efecto de la humedad relativa al evitar la saturación del ambiente interior que puede causar errores en las mediciones de temperatura de bulbo seco (Gallegos, 2012).

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Second block of faint, illegible text, appearing to be a main body paragraph.

Third block of faint, illegible text, continuing the main body of the document.

Fourth block of faint, illegible text, possibly a concluding paragraph or a separate section.

Fifth block of faint, illegible text at the bottom of the page, possibly a footer or signature area.



Fuente: Archivo personal

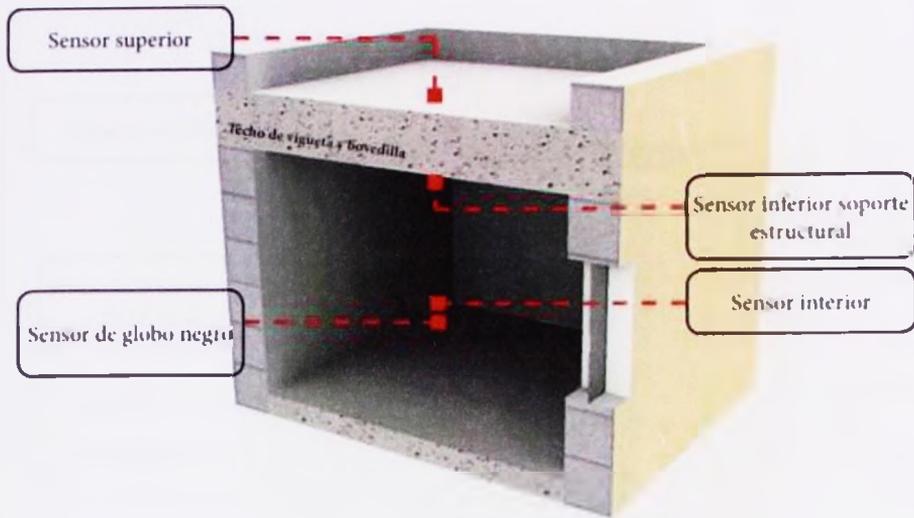
**Figura 44.** Sensor para mediciones de temperatura de globo negro y arena colocada en el interior.

El primer módulo de prueba simuló un techo común de una vivienda económica del caso de estudio, con sistema constructivo a base de vigueta y bovedilla (MVB), el segundo módulo un sistema de techo verde de tipo extensivo (MTV) y el tercero un techo con aislante térmico de poliestireno (MTP).

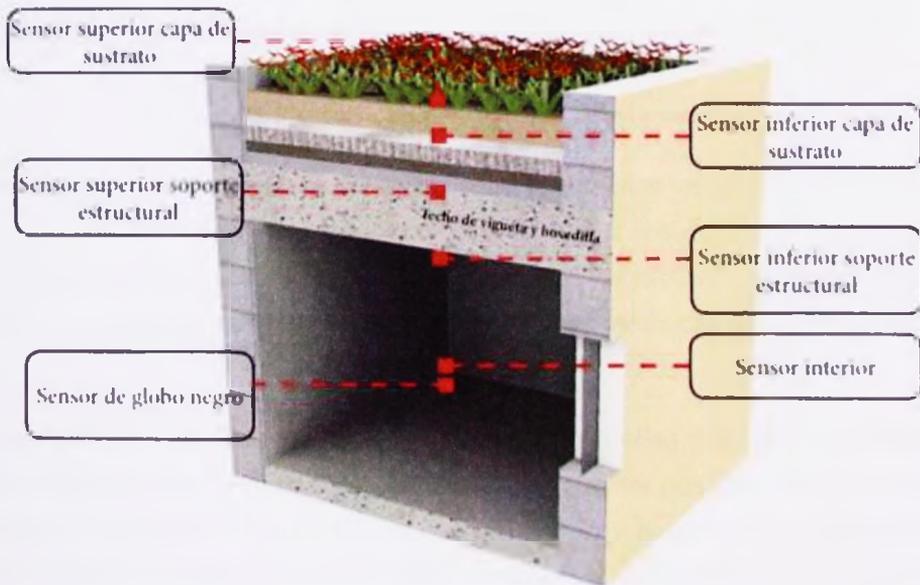
En el módulo MVB se colocaron sensores de registro de datos (*data logger*) en la superficie superior e inferior del soporte estructural del techo; un sensor *data logger* y un sensor de globo negro en el interior del módulo, en el centro geométrico del espacio (Figura 45a). En el módulo MTV, se colocaron sensores *data logger* en la superficie superior e inferior del soporte estructural de vigueta y bovedilla, en la superficie inferior y superior de la capa de sustrato y en el interior del módulo en el centro geométrico del espacio. Se colocó también un sensor de globo negro en el interior del módulo, en el centro geométrico del espacio (Figura 45b).

En el tercer módulo MTP los sensores *data logger* se colocaron en la superficie superior del techo, entre la capa aislante de poliestireno y el soporte estructural, así como en la superficie inferior del techo. Se colocó también un sensor de globo negro en el centro geométrico del espacio interior del módulo de prueba (Figura 45c).

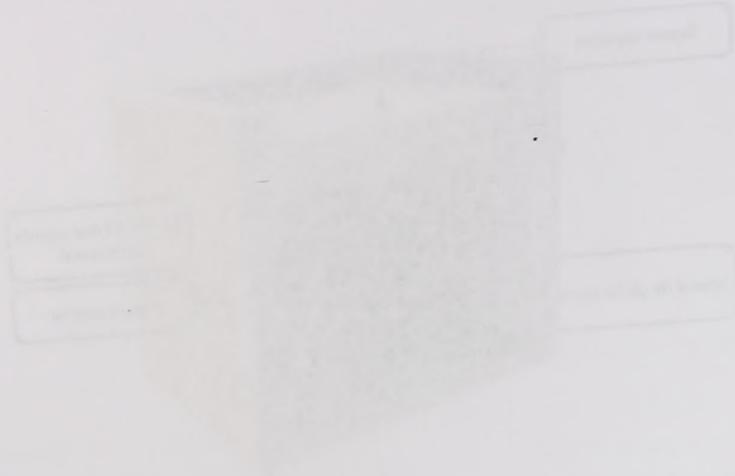




(a). Vista 3-D de corte transversal de módulo de prueba MVB, que muestra la distribución de sensores.



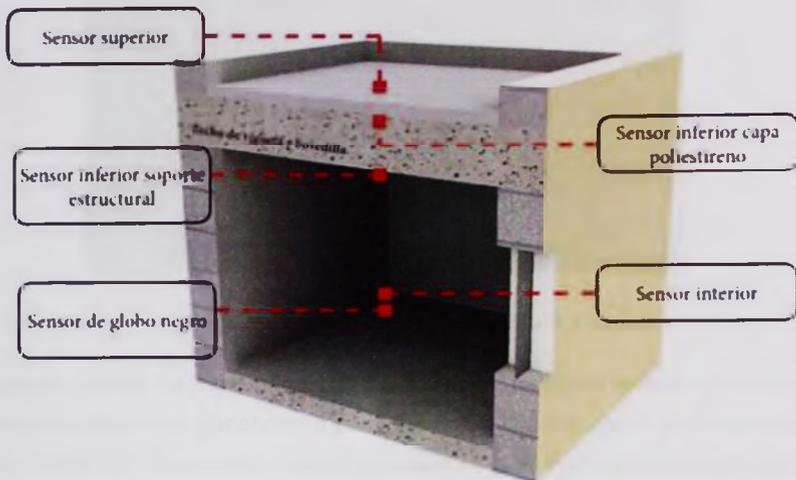
(b). Vista 3-D de corte transversal de módulo de prueba MTV, que muestra la distribución de sensores.



Illegible text line, possibly a caption or description.



Illegible text line at the bottom of the diagram area.



(c). Vista 3-D de corte transversal de módulo de prueba MTV, que muestra la distribución de sensores.

Fuente: Elaboración propia

**Figura 46.** Distribución de sensores en módulos de prueba.

Las mediciones de temperatura de bulbo seco y humedad relativa del exterior se registraron con un sensor *data logger* colocado al Sur a dos metros de distancia de los módulos de prueba para evitar ganancias térmicas por radiación de elementos del entorno y a una altura de 1.10 m sobre el suelo, de acuerdo con ANSI-ASHRAE-55-2010.

En las mediciones de temperatura de bulbo seco y humedad relativa del exterior se utilizó un escudo para la radiación solar directa para evitar posibles afectaciones en el registro de los datos (Figura 47), el cual se diseñó y ensambló específicamente para el presente trabajo de investigación. También se utilizaron tapas ciegas de plástico con acabado de pintura color blanco mate, a modo de escudos de radiación solar para los sensores colocados en las superficies de los techos (Ver apéndice D).



The text in this section is extremely faint and illegible. It appears to be several paragraphs of a document, possibly containing a list or a series of numbered points. The text is too light to transcribe accurately.



Fuente: Archivo personal.

**Figura 47.** Escudo de radiación solar para mediciones de temperatura de bulbo seco en el exterior.

Después de colocar los instrumentos de medición fue necesario realizar el sellado de los módulos para evitar ganancias o pérdidas por infiltración como se menciona en ASTM C-1046-95. El perímetro de las ventanas se selló con silicón blanco y en los contornos de las puertas se colocó cinta color gris para ductos con silicón blanco para evitar desprendimientos por acción del viento, la humedad y la radiación solar (Figura 48).



Fuente: Archivo personal.

**Figura 48.** Sellado de módulos de prueba.



Figure 48

The figure shows a rectangular object, possibly a document or a photograph, which is mostly illegible due to the quality of the scan. The text is extremely faint and difficult to read.

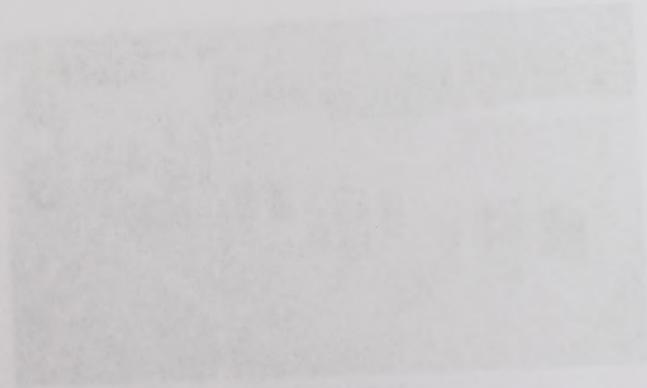


Figure 49

#### **4. Análisis de datos**

El análisis de los datos se realizó a partir de los objetivos planteados en el apartado de preliminares del presente trabajo de investigación, con base en los datos cuantitativos recolectados a través del cuasi-experimento y los datos cualitativos obtenidos en la revisión bibliográfica.

Santamouris (2012) menciona que en lo concerniente al estudio de los techos verdes, diversos son los estudios experimentales y teóricos que se han realizado para demostrar la importancia de su uso para el enfriamiento de las ciudades, para identificar su potencial de conservación de energía, para evaluar su efecto en la reducción del efecto isla de calor urbano, para evaluar la cantidad de calor latente liberado durante periodos críticos de temperatura y para evaluar su desempeño térmico en edificios.

Por lo tanto, el análisis de los datos fue estadístico correlacional, con el fin de identificar la relación entre las variables independientes y dependientes del presente trabajo de investigación, específicamente el efecto de la aplicación de un techo verde extensivo en el aumento de los periodos de confort térmico de los habitantes de la muestra de estudio.

Según Howland (1997) no se puede decir que la estadística es capaz de dar solución a todas las situaciones que impliquen inseguridad, sin embargo, cada vez se desarrollan diversos métodos para el análisis de estas situaciones con una base científica, de una forma lógica y sistemática. Los métodos estadísticos manejan una fuente de datos obtenidos de observaciones, en forma de mediciones o conteo, con el fin de obtener conclusiones respecto a dicha fuente.

De acuerdo con Triola (2009) los datos son observaciones recolectadas (como mediciones, géneros, respuestas de encuestas, entre otros), un dato estadístico es una medición numérica que describe algunas características de una muestra o población y pueden ser cuantitativos o cualitativos.

El análisis de los datos se realizó a partir de los datos obtenidos en el estudio de los resultados de los exámenes de los alumnos de la asignatura de Estadística en los cursos 2005-2006 y 2006-2007. Los datos se analizaron mediante el uso del paquete estadístico SPSS.

Según el método de análisis de los datos se realizó un estudio de los datos de los exámenes de los cursos 2005-2006 y 2006-2007. Los datos se analizaron mediante el uso del paquete estadístico SPSS. El análisis de los datos se realizó a partir de los datos obtenidos en el estudio de los resultados de los exámenes de los alumnos de la asignatura de Estadística en los cursos 2005-2006 y 2006-2007. Los datos se analizaron mediante el uso del paquete estadístico SPSS.

Por lo tanto, el análisis de los datos se realizó un estudio de los datos de los exámenes de los cursos 2005-2006 y 2006-2007. Los datos se analizaron mediante el uso del paquete estadístico SPSS. El análisis de los datos se realizó a partir de los datos obtenidos en el estudio de los resultados de los exámenes de los alumnos de la asignatura de Estadística en los cursos 2005-2006 y 2006-2007. Los datos se analizaron mediante el uso del paquete estadístico SPSS.

Según el método de análisis de los datos se realizó un estudio de los datos de los exámenes de los cursos 2005-2006 y 2006-2007. Los datos se analizaron mediante el uso del paquete estadístico SPSS. El análisis de los datos se realizó a partir de los datos obtenidos en el estudio de los resultados de los exámenes de los alumnos de la asignatura de Estadística en los cursos 2005-2006 y 2006-2007. Los datos se analizaron mediante el uso del paquete estadístico SPSS.

El análisis de los datos se realizó a partir de los datos obtenidos en el estudio de los resultados de los exámenes de los alumnos de la asignatura de Estadística en los cursos 2005-2006 y 2006-2007. Los datos se analizaron mediante el uso del paquete estadístico SPSS.

#### 4.1. Correlación y regresión.

La correlación existe entre dos variables cuando una de ellas se relaciona con la otra de alguna manera. El coeficiente de correlación lineal ( $r$ ) es la medida de la fuerza de la relación lineal entre los valores cuantitativos apareados  $x$  y  $y$  en una muestra, dentro de un diagrama de dispersión. La ecuación de regresión expresa una relación entre  $x$  (variable independiente) y  $\hat{y}$  (variable dependiente) mediante una recta de regresión (o recta del mejor ajuste), se debe utilizar la ecuación de regresión para hacer predicciones solo si existe una correlación lineal (Triola, 2009).

Se realizó la correlación de los datos para concluir si existía (o no) una relación entre la temperatura de bulbo seco interior de un módulo de prueba con techo verde y la temperatura de bulbo seco del exterior, así como para identificar la fuerza de la relación entre estas dos variables ( $R^2$ ). La correlación no implica causalidad y puede calcularse con la fórmula siguiente:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (4)$$

Dónde:

$n$  = representa el número de pares de datos presentes

$\Sigma$  = denota la suma de los elementos indicados

$\Sigma x$  = denota la suma de todos los valores de  $x$

$\Sigma x^2$  = indica que cada valor de  $x$  debe elevarse al cuadrado y después deben sumarse

$(\Sigma x)^2$  = indica que los valores de  $x$  deben sumarse y el total elevarse al cuadrado

$\Sigma xy$  = indica que cada valor de  $x$  debe multiplicarse por su valor y correspondiente y después sumarse

$r$  = representa el coeficiente de correlación lineal de una muestra

El valor de  $R^2$  denota el coeficiente múltiple de determinación, que es una medida de lo bien que se ajusta la ecuación de regresión múltiple a los datos muestrales. Si este coeficiente es igual a 1, hay una correlación perfecta en la muestra, y un ajuste muy bueno daría por resultado un valor cercano a 1 (Triola, 2009).

La combinación entre estos dos modelos puede ser de gran utilidad en algunos casos. El coeficiente de correlación  $r$  es el resultado de la combinación lineal entre los dos modelos anteriores  $y = a + bx$  y  $y = c + dx$ . La combinación lineal de un sistema de ecuaciones  $y = a + bx$  y  $y = c + dx$  resulta en un sistema de ecuaciones  $y = e + fx$  y  $y = g + hx$ . La combinación lineal de estos dos modelos puede ser de gran utilidad en algunos casos. El coeficiente de correlación  $r$  es el resultado de la combinación lineal entre los dos modelos anteriores  $y = a + bx$  y  $y = c + dx$ .

La combinación de estos dos modelos puede ser de gran utilidad en algunos casos. El coeficiente de correlación  $r$  es el resultado de la combinación lineal entre los dos modelos anteriores  $y = a + bx$  y  $y = c + dx$ . La combinación lineal de un sistema de ecuaciones  $y = a + bx$  y  $y = c + dx$  resulta en un sistema de ecuaciones  $y = e + fx$  y  $y = g + hx$ . La combinación lineal de estos dos modelos puede ser de gran utilidad en algunos casos. El coeficiente de correlación  $r$  es el resultado de la combinación lineal entre los dos modelos anteriores  $y = a + bx$  y  $y = c + dx$ .

$$r = \frac{b_1 b_2}{\sqrt{b_1^2 + b_2^2}}$$

(4)

Conclusión

La combinación de estos dos modelos puede ser de gran utilidad en algunos casos. El coeficiente de correlación  $r$  es el resultado de la combinación lineal entre los dos modelos anteriores  $y = a + bx$  y  $y = c + dx$ . La combinación lineal de un sistema de ecuaciones  $y = a + bx$  y  $y = c + dx$  resulta en un sistema de ecuaciones  $y = e + fx$  y  $y = g + hx$ . La combinación lineal de estos dos modelos puede ser de gran utilidad en algunos casos. El coeficiente de correlación  $r$  es el resultado de la combinación lineal entre los dos modelos anteriores  $y = a + bx$  y  $y = c + dx$ .

#### IV. RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos con el monitoreo térmico realizado en los tres módulos de prueba descritos en la Metodología. El análisis de los datos registrados incluye tres periodos de estudio: 1) Templado, 2) Transición y 3) Cálido, cada uno de estos periodos se dividió en cuatro apartados: 1) Temperaturas interiores, 2) Techo verde, 3) Confort térmico y 4) Correlación.

En el periodo cálido se realizaron dos pruebas de monitoreo térmico adicionales para tener mediciones que permitieran comparar valores en distintas condiciones, la primera sin los vidrios en las ventanas para imitar el efecto de las ventanas abiertas y la segunda prueba con las puertas de los módulos abiertas, acciones que responden al modo de uso de los habitantes de viviendas de tipo económico de la ciudad de Mérida, Yucatán. Estas pruebas tuvieron como finalidad conocer el efecto del viento en el desempeño térmico de los tres tipos de techos y en las temperaturas del interior de los módulos de prueba.

Se realizó un estudio comparativo de las temperaturas de bulbo seco registradas en el interior de los módulos de prueba con las temperaturas de bulbo seco del exterior, de las temperaturas de bulbo seco de un techo verde de tipo extensivo con los rangos de confort térmico para Mérida, Yucatán y un análisis de correlación y regresión que permitió estimar la relación estadística de los datos obtenidos.

Se colocaron siete sensores registradores de datos (*data logger*) para mediciones de temperatura de bulbo seco y humedad relativa: cuatro con dos salidas externas, uno con una salida externa y dos sin salida externa. En las nueve salidas externas se conectaron sensores tipo TMC6-HD: seis para mediciones de temperatura de bulbo seco y tres para mediciones de temperatura de globo negro. En total se utilizaron 16 sensores, 15 colocados en los tres módulos de prueba y uno para registro de datos en el exterior.

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en el presente trabajo. Se analizaron los datos de los módulos de prueba obtenidos en la Metodología de Pruebas y los datos registrados sobre los puntos de control. El primer grupo de datos se obtuvo en el módulo de prueba de la Metodología de Pruebas y el segundo grupo de datos se obtuvo en el módulo de prueba de la Metodología de Pruebas. Los datos se analizaron en los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas y el segundo grupo de datos se obtuvo en el módulo de prueba de la Metodología de Pruebas.

En el presente trabajo se analizaron los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas y los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas. Se analizaron los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas y los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas. Se analizaron los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas y los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas. Se analizaron los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas y los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas.

Se analizaron los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas y los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas. Se analizaron los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas y los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas. Se analizaron los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas y los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas.

Se analizaron los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas y los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas. Se analizaron los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas y los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas. Se analizaron los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas y los datos de los módulos de prueba de la Metodología de Pruebas.

Los sensores permitieron el registro de 13 mediciones de temperatura de bulbo seco, siete mediciones de humedad relativa y tres mediciones de temperatura de globo negro, en intervalos de cinco minutos durante 15 días en tres periodos de estudio, en total se obtuvieron más de 200,000 mediciones. Aunque los datos se registraron cada cinco minutos, las gráficas de este capítulo se realizaron con el promedio obtenido cada 60 minutos, para evitar la saturación de las mismas.

Los sensores permitieron a finales de 19 los centros de investigación de la zona de  
esta medición de las zonas de estudio y las mediciones de las zonas de estudio  
regio, en intervalos de tiempo de 10 minutos, se tomaron las mediciones de la zona  
total se observaron los datos de 10000 mediciones. Después de haberse registrado  
cada cinco minutos, los datos de cada punto se tomaron con el intervalo  
de cinco minutos, con estos resultados de las mediciones.

10000 mediciones de la zona

## 1. Periodo templado

En el periodo templado se analizaron más de 80,000 datos de temperatura (bulbo seco y globo negro) y humedad relativa, registrados del 02 al 16 de marzo de 2013, durante ese tiempo se regó el techo verde con 20 litros de agua, 10 litros cada siete días.

### 1.1. Temperatura en interiores.

En este apartado se presentan los resultados de las temperaturas de bulbo seco (TBS) registradas en el interior de los módulos de prueba en comparación con la temperatura de bulbo seco del exterior así como el amortiguamiento térmico de cada módulo de prueba.

En el periodo templado se observó que las TBS máximas fueron menores en el interior de los módulos que en el exterior, mientras que las TBS promedio y mínimas en los módulos fueron mayores a las registradas en el exterior (Tabla 21). En relación a las TBS máximas, se obtuvo que la TBS máxima interior del módulo con techo verde fue 11.40% menor que la TBS máxima exterior, en el módulo de techo con poliestireno 11.53% menor y en el módulo de vigueta y bovedilla 8.98% menor.

**Tabla 21**  
*Periodo templado. Temperaturas máximas, promedio y mínimas.*

Temperaturas (°C)	Módulo techo vigueta y bovedilla (MVB)	Módulo techo verde (MTV)	Módulo techo de poliestireno (MTP)	Exterior
Máxima	32.74	31.87	31.82	35.97
Promedio	24.71	24.72	24.64	22.69
Mínima	16.03	17.13	16.68	8.78

Fuente: Elaboración propia.

## 1. Período de prueba

En el período de prueba se analizaron más de 50000 datos de sensores de temperatura y humedad y se registraron los siguientes resultados: se registraron 10000 datos de temperatura y 10000 datos de humedad. El tiempo de prueba fue de 10 días y se registraron los siguientes resultados: se registraron 10000 datos de temperatura y 10000 datos de humedad.

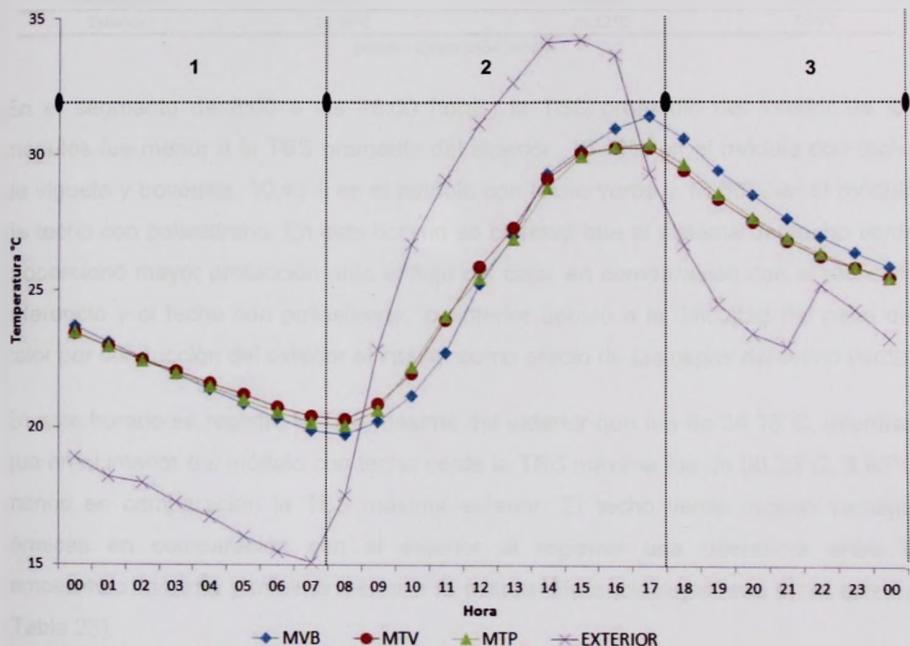
### 1.1. Temperatura en interiores

En este apartado se presentan los resultados de los sensores de temperatura (TDS) registrados en el interior de las viviendas en el período de prueba. La temperatura de prueba fue de 20°C y se registraron los siguientes resultados: se registraron 10000 datos de temperatura y 10000 datos de humedad.

En el período de prueba se registraron los siguientes resultados: se registraron 10000 datos de temperatura y 10000 datos de humedad. El tiempo de prueba fue de 10 días y se registraron los siguientes resultados: se registraron 10000 datos de temperatura y 10000 datos de humedad.

Variable	Valor
Temperatura (TDS)	20.0
Humedad	60.0
Temperatura (TDS)	20.0
Humedad	60.0

Con los datos medidos en un día representativo (09/03/2013), se realizó la comparación de las TBS registradas en el interior de los módulos con las TBS del exterior en tres segmentos del día, que se definieron en función de la oscilación de la temperatura de bulbo seco exterior, de tal forma que se analizaran los momentos en los que la temperatura ascendía o descendía. En este día representativo del periodo templado se analizaron tres segmentos del día: 1) de 24:00 a las 8:00 horas, 2) de 8:00 a las 18:00 horas y 3) de 18:00 a las 24:00 horas (Figura 49).



MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla, MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 49. Temperatura de bulbo seco (TBS) interior de módulos de prueba y temperatura exterior. Segmentos de estudio en un día representativo (09/03/2013).

En el horario de las 24:00 a las 8:00 horas se observó que la TBS promedio del interior de los módulos fue mayor a la TBS promedio del exterior: 26.17% en el módulo de referencia, 27.29% en el módulo con techo verde y 26.64% mayor en el

Con los datos medidos en los experimentos (TABLA 1), se realizó la comparación de los TSS obtenidos en el método de los mínimos cuadrados con los TSS obtenidos en los experimentos. Los resultados se muestran en la figura 10. Se puede observar que los resultados obtenidos en el método de los mínimos cuadrados son muy similares a los obtenidos en los experimentos. Esto indica que el método de los mínimos cuadrados es adecuado para determinar los TSS en los experimentos.



Figura 10. Comparación de los TSS obtenidos en el método de los mínimos cuadrados con los TSS obtenidos en los experimentos. (TABLA 1)

En el horario de los 14:00 a las 15:00 horas se observó que la TSS presentada en el interior de las rocas fue mayor a la TSS presentada en el exterior. Esto se debe a que el método de los mínimos cuadrados, 27.5%, en el método con factor de ajuste y 25.5% mayor en el

módulo de techo con poliestireno. En este horario, en el que se registró la TBS mínima exterior, los resultados indicaron que el módulo con techo verde mostró mayores ventajas térmicas por efecto de la masa térmica aplicada, al evitar un cambio de temperaturas con una diferencia de 7.74°C del exterior a 1.74°C en el interior, una diferencia de 6°C (Tabla 22).

**Tabla 22**

*Diferencia de temperaturas, de las 24:00 a las 8:00 horas.*

Ubicación de medición	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Diferencia
Interior MTV	22.06°C	20.32°C	1.74°C
Exterior	22.86°C	15.12°C	7.74°C

Fuente: Elaboración propia.

En el segmento de 8:00 a las 18:00 horas, la TBS promedio del interior de los módulos fue menor a la TBS promedio del exterior: 10.49% en el módulo con techo de vigueta y bovedilla, 10.43% en el módulo con techo verde y 10.66% en el módulo de techo con poliestireno. En este horario se observó que el sistema del techo verde proporcionó mayor protección ante el flujo del calor en comparación con el techo de referencia y el techo con poliestireno, lo anterior debido a la dificultad del paso del calor por conducción del exterior al interior como efecto de las capas del techo verde.

En este horario se registró la TBS máxima del exterior que fue de 34.18°C, mientras que en el interior del módulo con techo verde la TBS máxima fue de 30.23°C, 3.95°C menos en comparación la TBS máxima exterior. El techo verde mostró ventajas térmicas en comparación con el exterior al registrar una diferencia entre la temperatura máxima y mínima menor a la misma diferencia registrada en el exterior (Tabla 23).

**Tabla 23**

*Diferencia de temperaturas, de las 8:00 a las 18:00 horas.*

Ubicación de medición	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Diferencia
Interior MTV	30.23°C	20.87°C	9.36°C
Exterior	34.18°C	22.86°C	11.32°C

Fuente: Elaboración propia.

módulo de hecho con posterioridad. En este sentido, en el que se refiere a la TBE  
 mínima exterior, las mediciones indican que el módulo con hecho viene siendo  
 mayores ventosas brisas por efecto de la masa térmica exterior, al existir un  
 cambio de temperatura con una diferencia de 7.24°C del exterior a 7.24°C en el  
 interior, una diferencia de 4.4°C (Tabla 20).



En el segmento de 0.01 a las 15.00 horas, en las primeras dos horas se ha  
 mantenido la menor a la TBE durante la estancia, 10.00°C en el exterior con hecho  
 de agua y bovedilla, 10.45°C en el exterior con hecho verde y 10.00°C en el módulo  
 de hecho con bovedilla. En este tiempo se observa que el sistema del agua verde  
 proporciona mayor protección, más el tipo del color en comparación con el hecho de  
 bovedilla y el hecho con posterioridad. El exterior cambia a la diferencia del país del  
 agua por conducción del exterior al interior como efecto de las capas del hecho verde.

En este horario se registra a TBE exterior del exterior que fue de 34.18°C cuando  
 fue en el interior del módulo con hecho verde la TBE interior fue de 30.23°C a las 10.  
 minutos en comparación a TBE interior exterior. El hecho verde muestra mayor  
 protección en comparación con el exterior al registrar una diferencia entre la  
 temperatura máxima y mínima menor a la mayor diferencia registrada en el exterior.



La TBS promedio interior de los módulos registrada de las 18:00 a las 24:00 horas, fue mayor en comparación a la registrada en el exterior: La TBS promedio fue 14.66% mayor en el módulo de vigueta y bovedilla, 11.52% en el módulo con techo verde y 11.94% en el módulo de techo con poliestireno.

En el módulo con techo verde la diferencia de temperaturas registradas fue 22.49% mayor a la diferencia de temperaturas registrada en el exterior, esto debido a un descenso de la humedad en este horario, que se reflejó en un aumento de la TBS exterior a las 22:00 horas (Tabla 24).

**Tabla 24**

*Diferencia de temperaturas, de las 18:00 a las 24:00 horas.*

Espacio de medición	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Diferencia
Interior MTV	28.34°C	25.45°C	2.89°C
Exterior	25.19°C	22.95°C	2.24°C

Fuente: Elaboración propia.

En un día representativo (09/03/2013) se calculó el amortiguamiento de las curvas de la TBS registradas en el interior de los módulos de prueba, se consideró el oscilamiento de la temperatura de bulbo seco del exterior y de la temperatura de bulbo seco del interior. De acuerdo con Caballero (2012) se determinó el amortiguamiento térmico con la ecuación siguiente:

$$\mu = \frac{\text{Temp. Int.}}{\text{Temp. Ext.}} \quad (5)$$

Dónde:

$\mu$  = Amortiguamiento térmico: A menor valor mayor es el amortiguamiento

Temp. Int. = Oscilamiento de temperatura interior de un cerramiento durante el día

Temp. Ext. = Oscilamiento de temperatura exterior

La oscilación de la temperatura de bulbo seco exterior fue de 19.06°C, mientras que la oscilación de la temperatura de bulbo seco registrada en los módulos de prueba para un día representativo fue de 11.61°C en el módulo con techo de vigueta y bovedilla, 10.29°C en el módulo de techo con poliestireno y de 9.91°C en el módulo con techo verde. En este día representativo también se observó que en relación a las

La TBS promedio interior de los módulos registrada de las 12:00 a las 12:30 horas fue mayor en comparación a la registrada en el exterior. La TBS promedio de las 12:30 a las 13:00 horas en el módulo de vivienda fue de 11.52°C en el interior y 11.94°C en el exterior.

En el módulo con tanto como la diferencia de temperatura registrada en el interior y exterior, la diferencia de temperatura registrada en el exterior fue de 1.42°C en promedio en la totalidad de los módulos. Esto se debe a que el promedio de la TBS exterior a las 12:00 horas (Tabla 2).

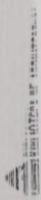
Tabla 2	Temperatura promedio (TBS) en el interior y exterior de los módulos de vivienda y oficina en las 12:00 horas.	
Módulo	Interior (TBS)	Exterior (TBS)
Vivienda	11.52	11.94
Oficina	11.52	11.94
Promedio	11.52	11.94

En los días de invierno (días 101-102) se realizó el seguimiento de las temperaturas registradas en el interior de los módulos de vivienda y oficina en comparación con la temperatura de referencia de 12°C. Los resultados de la temperatura de referencia de 12°C en el interior de los módulos de vivienda y oficina se muestran en la Tabla 3. Los resultados de la temperatura de referencia de 12°C en el interior de los módulos de vivienda y oficina se muestran en la Tabla 3.

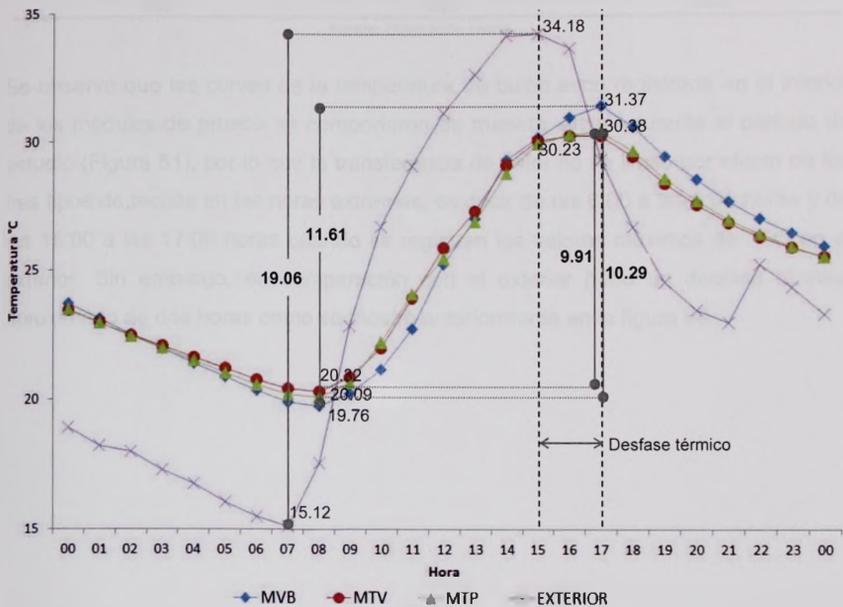
En los días de invierno (días 101-102) se realizó el seguimiento de las temperaturas registradas en el interior de los módulos de vivienda y oficina en comparación con la temperatura de referencia de 12°C. Los resultados de la temperatura de referencia de 12°C en el interior de los módulos de vivienda y oficina se muestran en la Tabla 3.

En los días de invierno (días 101-102) se realizó el seguimiento de las temperaturas registradas en el interior de los módulos de vivienda y oficina en comparación con la temperatura de referencia de 12°C. Los resultados de la temperatura de referencia de 12°C en el interior de los módulos de vivienda y oficina se muestran en la Tabla 3.

En los días de invierno (días 101-102) se realizó el seguimiento de las temperaturas registradas en el interior de los módulos de vivienda y oficina en comparación con la temperatura de referencia de 12°C. Los resultados de la temperatura de referencia de 12°C en el interior de los módulos de vivienda y oficina se muestran en la Tabla 3.



TBS máximas registradas tanto en el exterior como en el interior de los módulos, se presentó un desfase térmico aproximado de dos horas en el módulo con techo verde y que fue similar en los otros dos módulos (Figura 50).



MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 50. TBS interior de módulos de prueba y temperatura exterior. Día representativo (09/03/2013).

Los resultados mostraron que el mayor amortiguamiento térmico se obtuvo en el módulo con techo verde, mientras que el valor menor se obtuvo en el módulo con techo de vigueta y bovedilla (Tabla 25), lo cual indica que el techo verde proporcionó una mayor resistencia térmica al flujo de calor, 3.85% mayor en comparación con el módulo de techo con poliestireno y 17.31% mayor que el módulo con techo de vigueta y bovedilla.

186 máximas registradas en el estudio con el fin de determinar el momento en el que se produce un desastre térmico durante el día en el momento de máxima actividad solar (Figura 2) y sus efectos en los otros dos meses (Figura 3).

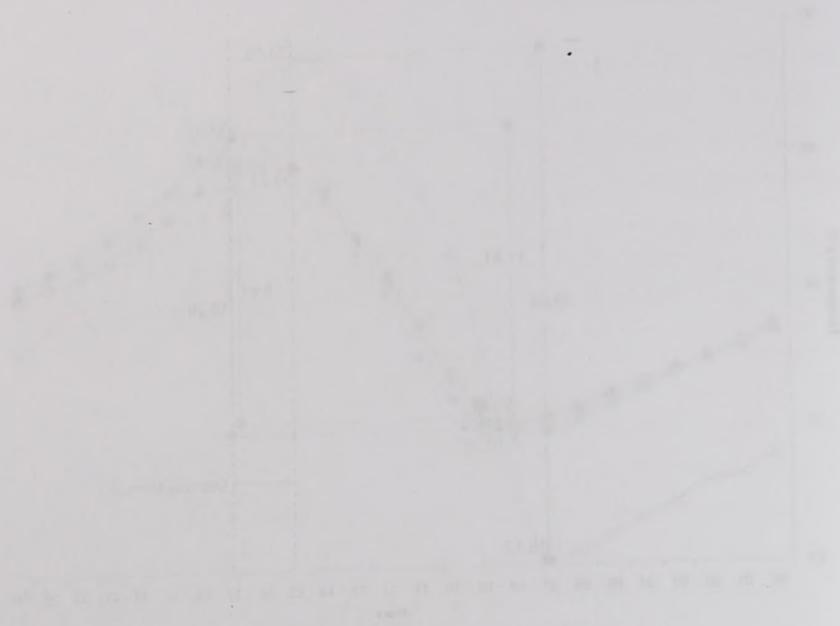


Figura 2. Variación de la temperatura durante el día en los meses de enero, febrero y marzo.

Los resultados muestran que el mayor calentamiento térmico se dio en el mes de enero, mientras que el menor se dio en el mes de marzo (Tabla 1), lo cual indica que el efecto de la radiación solar es mayor en el mes de enero que en el mes de marzo.

Los resultados muestran que el mayor calentamiento térmico se dio en el mes de enero, mientras que el menor se dio en el mes de marzo (Tabla 1), lo cual indica que el efecto de la radiación solar es mayor en el mes de enero que en el mes de marzo. Esto se debe a que en enero el ángulo de incidencia de los rayos solares es mayor que en marzo, lo que genera una mayor radiación solar por unidad de área.

**Tabla 25***Amortiguamiento de las curvas de temperatura interior en módulos de prueba (Día representativo).*

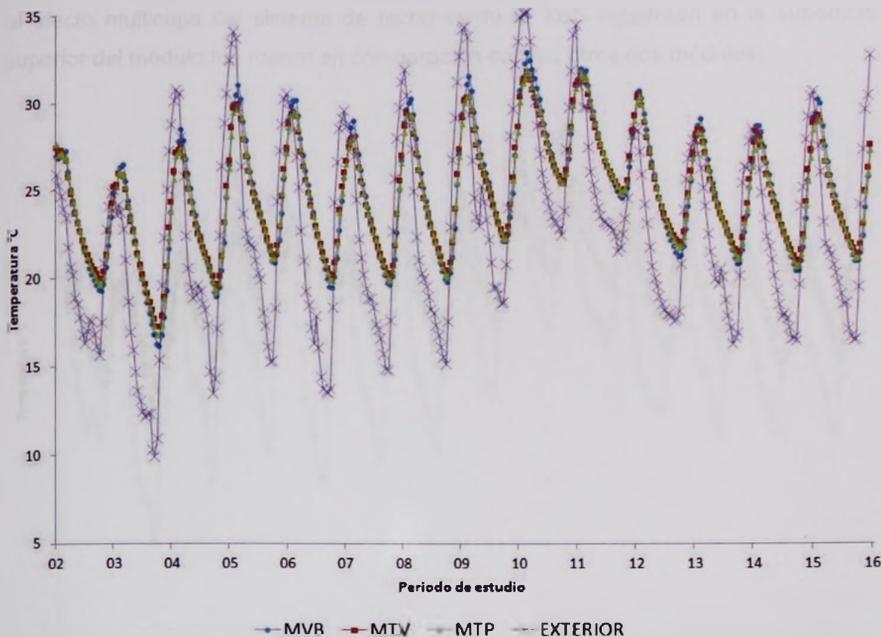
Temperatura interior	Temperatura exterior	Temperatura interior	Temperatura exterior	Temperatura interior	Temperatura exterior
11.61	19.06	9.91	19.06	10.29	19.06
0.61		0.52		0.54	

Fuente: Elaboración propia.

Se observó que las curvas de la temperatura de bulbo seco registrada en el interior de los módulos de prueba se comportaron de manera similar durante el periodo de estudio (Figura 51), por lo que la transferencia de calor no se limitó por efecto de los tres tipos de techos en las horas extremas, es decir de las 6:00 a las 8:00 horas y de las 15:00 a las 17:00 horas cuando se registran los valores máximos de TBS en el exterior. Sin embargo, en comparación con el exterior hubo un desfase térmico aproximado de dos horas como se mostró anteriormente en la figura 50.

Variable	Unidad	Valor
Temperatura ambiente	°C	25.0
Temperatura de la muestra	°C	25.0
Temperatura de la cámara	°C	25.0
Temperatura de la sonda	°C	25.0
Temperatura de la referencia	°C	25.0
Temperatura de la muestra	°C	25.0
Temperatura de la cámara	°C	25.0
Temperatura de la sonda	°C	25.0
Temperatura de la referencia	°C	25.0
Temperatura de la muestra	°C	25.0
Temperatura de la cámara	°C	25.0
Temperatura de la sonda	°C	25.0
Temperatura de la referencia	°C	25.0

El objetivo de este trabajo es determinar la influencia de la temperatura ambiente en los resultados de las mediciones de la conductividad térmica de los materiales. Para ello se realizaron mediciones de la conductividad térmica de un material a diferentes temperaturas ambiente, manteniendo constante la temperatura de la muestra y de la cámara. Los resultados obtenidos se compararon con los valores teóricos de la conductividad térmica del material. Se encontró que la conductividad térmica de los materiales aumenta con la temperatura ambiente, lo que se debe a la mayor movilidad de los portadores de carga en los materiales conductores.



Período de estudio: del 02 al 16 de marzo. MVR= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 51. TBS interior de los tres módulos de prueba y TBS exterior.

En este periodo de estudio se observó que la TBS promedio de la superficie inferior del soporte estructural del módulo de referencia fue de 24.52°C, 24.55°C en el módulo con techo verde y de 24.97°C en el módulo de techo con poliestireno (Figura 52a), lo cual indicó que en esa superficie del módulo con techo verde la TBS se mantuvo con menores oscilaciones en comparación con los otros dos módulos de prueba.

En la superficie superior del soporte estructural del módulo con techo verde la TBS promedio registrada fue de 23.09°C, 23.59°C en el módulo de techo con poliestireno y de 23.46°C en el módulo de referencia (Figura 52b), lo anterior mostró que debido

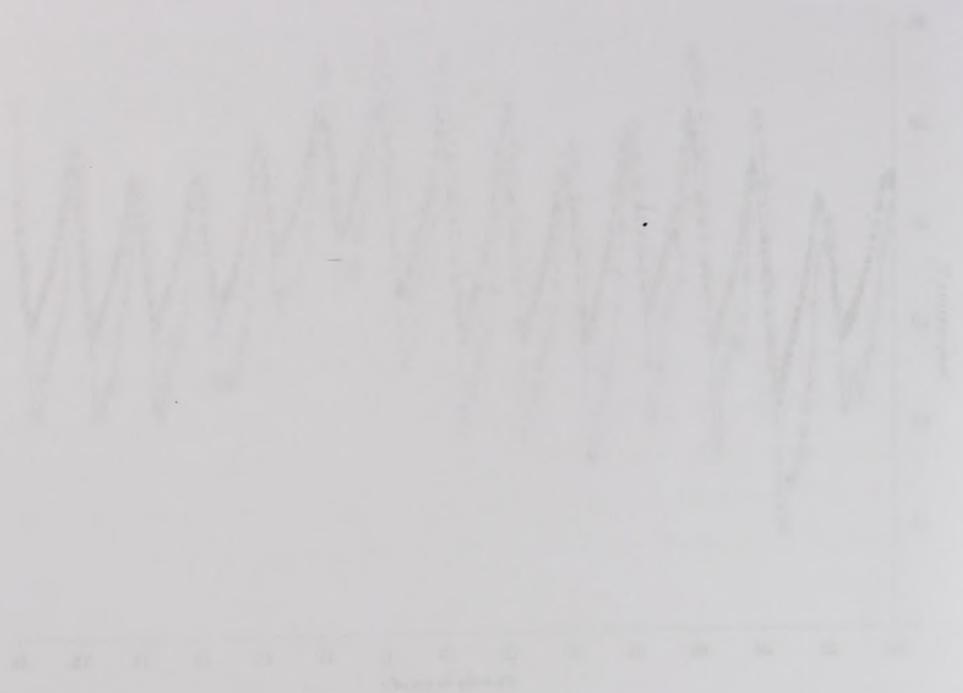
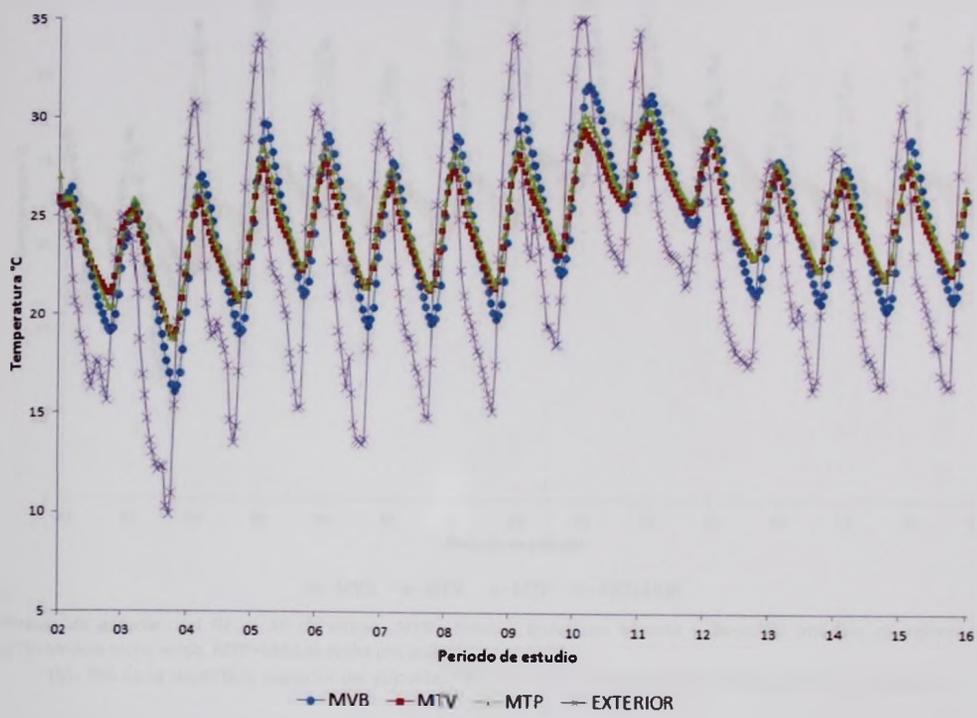


Figura 21. Señal de entrada de la planta de control.

En este periodo de estudio se observó que la TBS promedio de la superficie inferior del espaldar estructural del módulo de tránsito fue de  $24.33^{\circ}\text{C}$ ,  $24.53^{\circ}\text{C}$  en el punto con viento y de  $24.87^{\circ}\text{C}$  en el módulo de viento con poliestireno. Por lo tanto se puede decir que en esta superficie del módulo con aislamiento la TBS es menor con menores variaciones en comparación con los otros dos módulos de estudio.

En la superficie superior del espaldar estructural del módulo con viento la TBS promedio registrada fue de  $23.06^{\circ}\text{C}$ ,  $23.58^{\circ}\text{C}$  en el módulo de viento con poliestireno y de  $23.46^{\circ}\text{C}$  en el módulo de referencia (Figura 22), lo cual es menor que el de

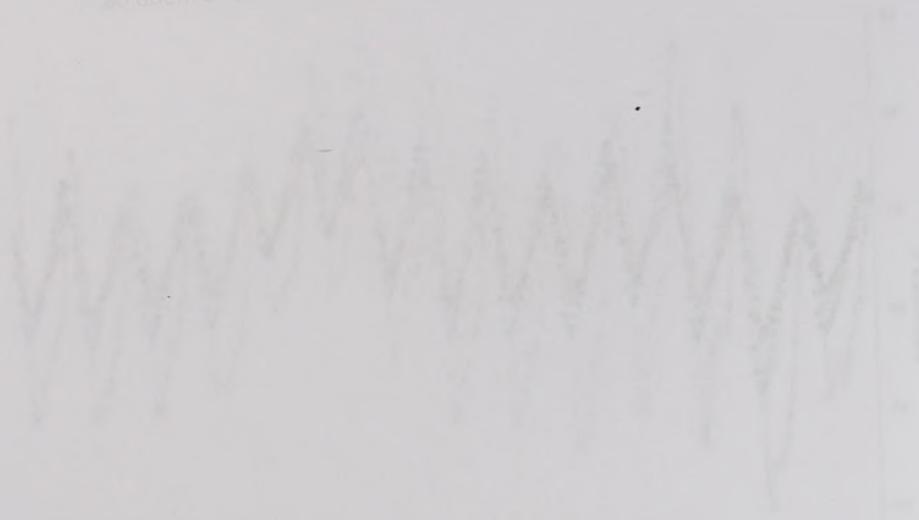
al efecto multicapa del sistema de techo verde la TBS registrada en la superficie superior del módulo fue menor en comparación con los otros dos módulos.



Periodo de estudio: del 02 al 16 de marzo. MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

(a). TBS de la superficie inferior del soporte estructural de los módulos de prueba y TBS del exterior.

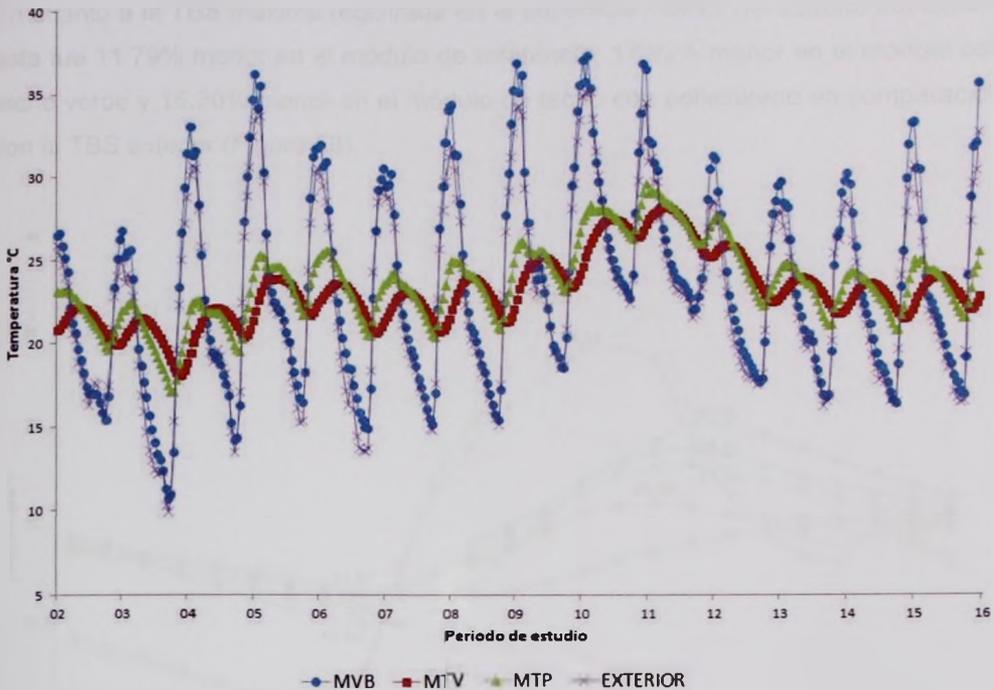
al efecto multiplicado por el número de lecturas a 185 registradas en la estación superior del motor, las más bajas en comparación con las otras dos estaciones.



INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
LABORATORIO DE FÍSICA DE LA ATMÓSFERA

El presente informe es el resultado de un estudio de campo realizado en la estación superior del motor, las más bajas en comparación con las otras dos estaciones. Los datos fueron registrados durante un periodo de 185 lecturas. El análisis de los datos muestra una gran variabilidad en los valores registrados, lo que puede deberse a factores ambientales o técnicos. Se recomienda continuar con el monitoreo y el análisis de los datos para determinar las causas de esta variabilidad.

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
LABORATORIO DE FÍSICA DE LA ATMÓSFERA



Periodo de estudio: del 02 al 16 de marzo. MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

(b). TBS de la superficie superior del soporte estructural de los módulos de prueba y TBS del exterior.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 52. Comparación de la TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural de los módulos de prueba con la TBS del exterior.

En un día representativo se realizó una comparación de la TBS registrada en las dos superficies del soporte estructural de los módulos con la TBS exterior. Se observó que la TBS máxima de la superficie superior del módulo de referencia fue 6.87% mayor en comparación con la TBS exterior, 26.54% menor en el módulo con techo verde y 23.67% menor en el módulo de techo con poliestireno.

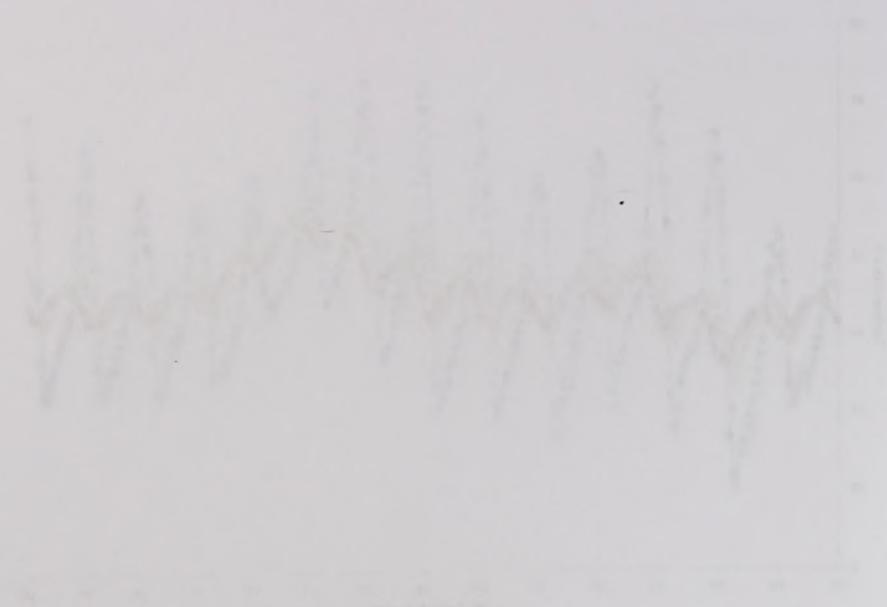
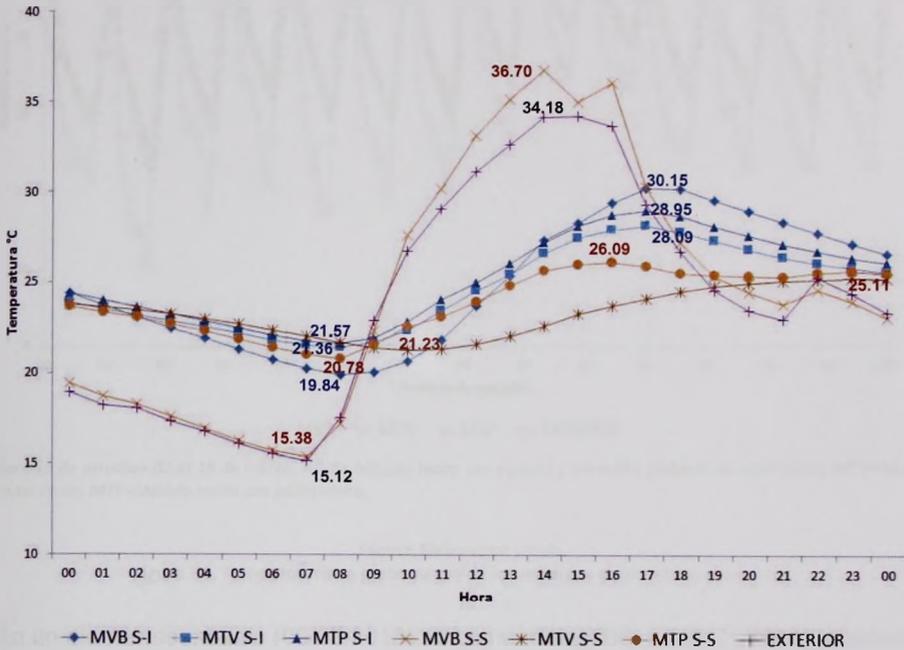


Figura 1. Señal de salida del sistema de control en tiempo real. La amplitud de la señal oscila entre 2V y 10V, lo que indica un comportamiento no lineal del sistema. El eje de tiempo está en segundos y el eje de amplitud en voltios.

En un día de experimentación se realizaron tres ensayos con los resultados que se muestran en las figuras 1, 2 y 3. En todos los casos se observó un comportamiento similar, con una amplitud de oscilación que varía entre 2V y 10V, lo que indica un comportamiento no lineal del sistema. El tiempo de respuesta del sistema es de aproximadamente 10 segundos.

En cuanto a la TBS máxima registrada en la superficie inferior del soporte estructural esta fue 11.79% menor en el módulo de referencia, 17.82% menor en el módulo con techo verde y 15.30% menor en el módulo de techo con poliestireno en comparación con la TBS exterior (Figura 53).



S-I=Superficie inferior de soporte estructural, S-S= Superficie superior de soporte estructural, MVB= Módulo techo con viga y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

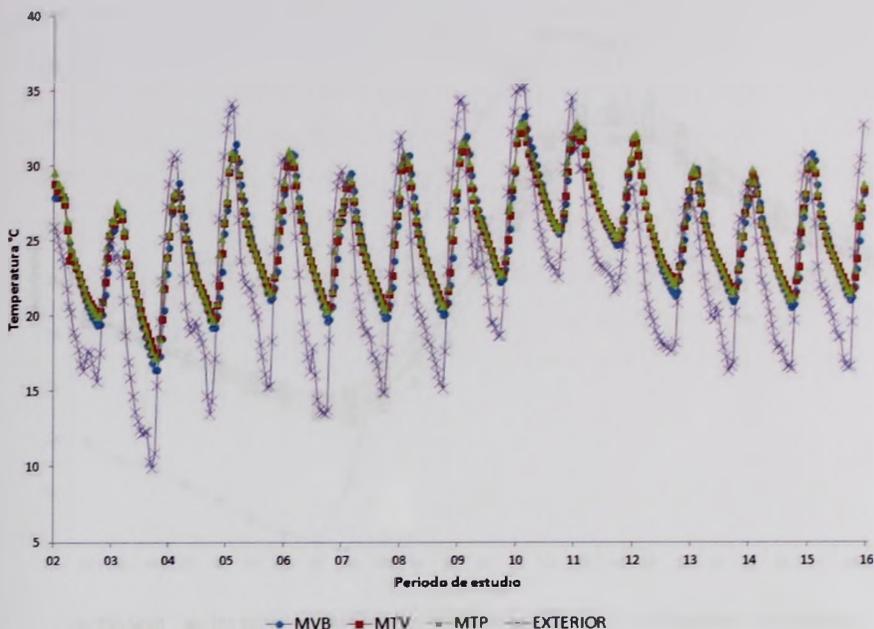
Figura 53. Comparación de la TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural de los módulos de prueba y TBS del exterior. Día representativo (09/03/2013).

En cuanto a la temperatura de globo negro (TGN), en la figura 54 se observa que en el periodo templado la TGN registrada fue similar en los tres módulos de prueba, particularmente en los módulos con techo verde y con poliestireno, esto debido al efecto de sus envolventes como controladores térmicos.

En cuanto a la TGR máxima registrada en la subzona 2B, se observó que esta fue 11.72%, menor en el período de referencia 17.92% a diferencia de la TGR de fondo y 13.30% menor en el período de referencia de 1998-2000 con la TGR exterior (13.94%).



La evolución de la TGR en la subzona 2B, se observa que en el período de referencia 1998-2000, la TGR de fondo y la TGR exterior, se incrementaron, lo que indica un aumento de la temperatura en la zona estudiada. En cuanto a la TGR de la subzona 2B, se observa que en el período de referencia 1998-2000, la TGR de fondo y la TGR exterior, se incrementaron, lo que indica un aumento de la temperatura en la zona estudiada. En cuanto a la TGR de la subzona 2B, se observa que en el período de referencia 1998-2000, la TGR de fondo y la TGR exterior, se incrementaron, lo que indica un aumento de la temperatura en la zona estudiada.



Periodo de estudio= 02 al 16 de marzo, MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 54. Temperatura de globo negro de los módulos de prueba y el exterior.

En un día representativo (09/03/2013) se comparó la TBS con la TGN registradas en el interior de los módulos de prueba (Figura 55). Se observó que en el módulo de referencia la TGN promedio fue 0.87% mayor en comparación con la TBS promedio, 1.38% mayor en el módulo con techo verde y 2.77% mayor en el módulo de techo con poliestireno. Los datos anteriores indicaron que en los tres módulos la TGN promedio fue mayor a la TBS promedio, por lo que en este periodo de estudio las envolventes emitieron radiación de calor hacia el interior.

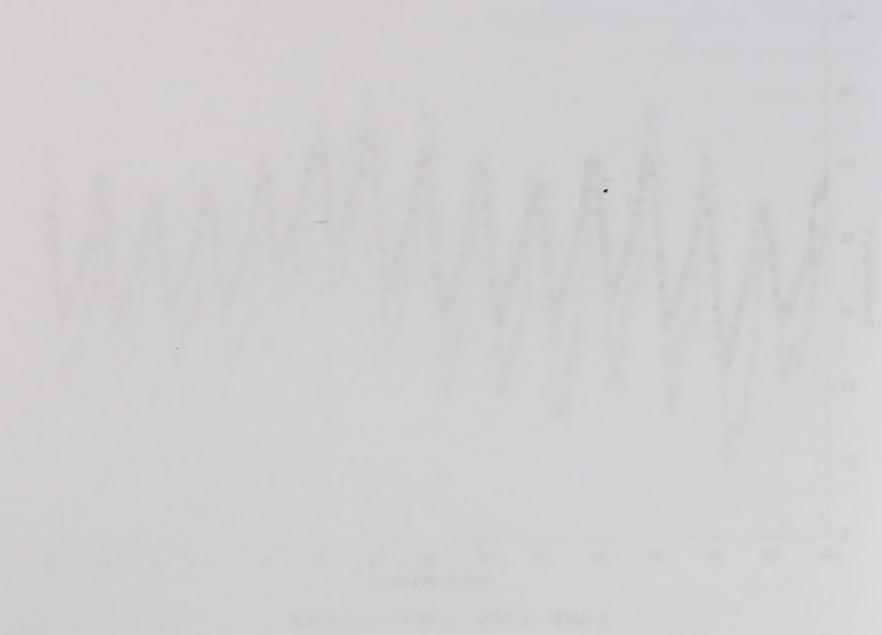
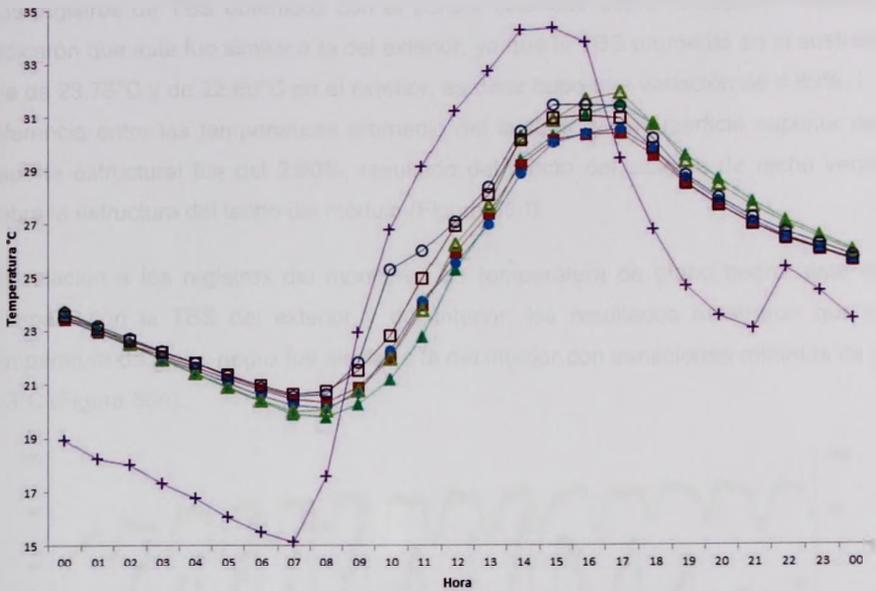


Figura 1: Gráfico da tensão elétrica em função do tempo para o sistema de controle de velocidade.

Os dados apresentados no gráfico da Figura 1 mostram que a tensão elétrica varia entre 2V e 8V ao longo do tempo, indicando um sistema de controle de velocidade que mantém a velocidade dentro de uma faixa específica.

Em um dia experimental (08/05/2014) realizado em 198 com a LOM registrada em 198, observamos que a velocidade média do veículo foi de 2,17 m/s, com uma aceleração máxima de 0,17 m/s<sup>2</sup>. Os dados experimentais mostram que a velocidade média do veículo foi de 2,17 m/s, com uma aceleração máxima de 0,17 m/s<sup>2</sup>. Os dados experimentais mostram que a velocidade média do veículo foi de 2,17 m/s, com uma aceleração máxima de 0,17 m/s<sup>2</sup>.



▲ TBS MVB    ■ TBS MTV    ● TBS MTP    ▲ TGN MVB    □ TGN MTV    ○ TGN MTP    + EXTERIOR  
 TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 55. Comparación de TBS con TGN del interior de los módulos de prueba y con la TBS exterior. Día representativo (09/03/2013).

## 1.2. Techo verde.

El monitoreo térmico del módulo de prueba con un sistema multicapa de techo verde (Figura 46) mostró que durante el periodo templado la temperatura de bulbo seco (TBS) del interior fue 11.40% menor y varió 45.79% menos en comparación con los datos de TBS registrados en el exterior (Figura 56a). Se observó también que la TBS promedio de la superficie superior del soporte estructural fue 5.94% menor que la del soporte inferior (Figura 56b). La TBS entre la capa de grava y la del sustrato presentó mayor estabilidad en comparación con la temperatura registrada en la parte superior del sustrato (Figura 56c).



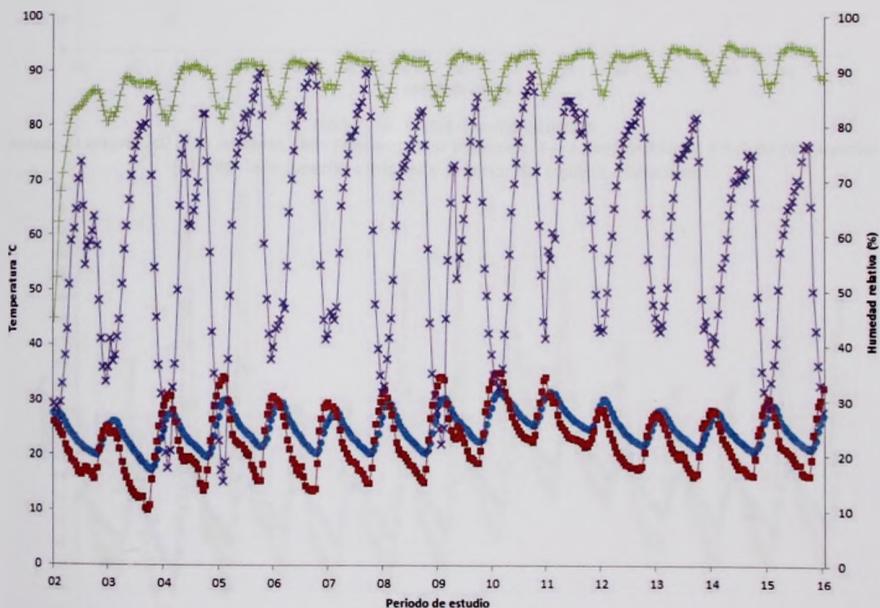
Gráfico: Temperatura mensual en Santiago de Chile (1990-1991).  
 Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de Chile.  
 El gráfico muestra la temperatura mensual en Santiago de Chile durante el período 1990-1991. Se observan dos series de datos: la superior (cuadrados) y la inferior (círculos). Ambas series muestran una clara estacionalidad, con máximos en julio y mínimos en enero/febrero.

### 3.3. Tercer año

El tercer año de estudio se realizó en el mes de julio de 1991. En este mes se registró una temperatura máxima de 30°C y una mínima de 10°C. La precipitación fue de 15 mm. El viento predominante fue el viento del sur, con velocidades máximas de 15 km/h. El nivel de humedad relativa fue de 60%. La presión atmosférica fue de 1013 hPa. El nivel de contaminación atmosférica fue de 150 µg/m³. El nivel de ruido fue de 55 dB. El nivel de vibración fue de 0.1 m/s². El nivel de iluminación fue de 100 lux. El nivel de sonido fue de 100 dB. El nivel de radiación fue de 0.1 µSv/h. El nivel de actividad física fue de 100 kcal/h. El nivel de consumo de agua fue de 100 litros/h. El nivel de consumo de energía fue de 100 kWh/h. El nivel de consumo de alimentos fue de 100 g/h. El nivel de consumo de medicamentos fue de 100 mg/h. El nivel de consumo de alcohol fue de 100 ml/h. El nivel de consumo de tabaco fue de 100 cigarrillos/h. El nivel de consumo de drogas fue de 100 mg/h. El nivel de consumo de otros productos fue de 100 mg/h. El nivel de consumo de otros servicios fue de 100 unidades/h. El nivel de consumo de otros recursos fue de 100 unidades/h. El nivel de consumo de otros bienes fue de 100 unidades/h. El nivel de consumo de otros servicios fue de 100 unidades/h. El nivel de consumo de otros recursos fue de 100 unidades/h. El nivel de consumo de otros bienes fue de 100 unidades/h.

Los registros de TBS obtenidos con el sensor colocado sobre la capa de sustrato indicaron que esta fue similar a la del exterior, ya que la TBS promedio en el sustrato fue de 23.78°C y de 22.69°C en el exterior, es decir hubo una variación de 4.80%. La diferencia entre las temperaturas promedio del sustrato y la superficie superior del soporte estructural fue del 2.90%, resultado del efecto del sistema de techo verde sobre la estructura del techo del módulo (Figura 56d).

En relación a los registros del monitoreo de temperatura de globo negro, esta se comparó con la TBS del exterior y del interior, los resultados mostraron que la temperatura de globo negro fue similar a la del interior con variaciones mínimas de 2 a 3°C (Figura 56e).



● TBS INTERIOR   ● TBS EXTERIOR   + HR. MTV   \* HR. EXTERIOR

Periodo de estudio= 02 al 16 de marzo, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa, MTV=Módulo techo verde.

(a). Comparación de la TBS interior del MTV, TBS exterior, HR interior de MTV y HR exterior.

Los registros de TDS obtenidos con el sistema de control de calidad de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Chile, en el periodo de 2012 a 2014, muestran un comportamiento similar al de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Chile, en el periodo de 2012 a 2014. La diferencia entre las temperaturas promedio de verano y la temperatura promedio del invierno se encuentra en el rango de 10°C a 15°C, lo que indica que el sistema de control de calidad de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Chile es capaz de mantener un nivel de calidad similar al de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Chile, en el periodo de 2012 a 2014.

En relación a los registros de temperatura de las aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Chile, en el periodo de 2012 a 2014, se puede observar que la temperatura promedio de las aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Chile, en el periodo de 2012 a 2014, es similar a la temperatura promedio de las aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Chile, en el periodo de 2012 a 2014. Esto indica que el sistema de control de calidad de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Chile es capaz de mantener un nivel de calidad similar al de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Chile, en el periodo de 2012 a 2014.

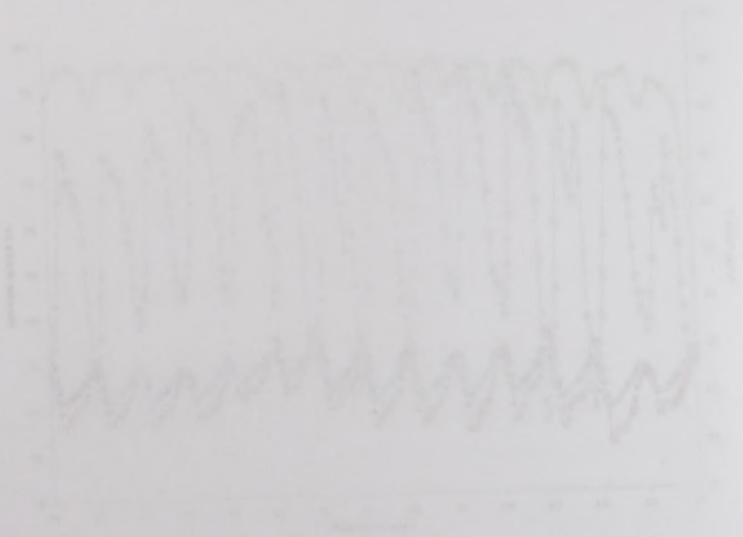
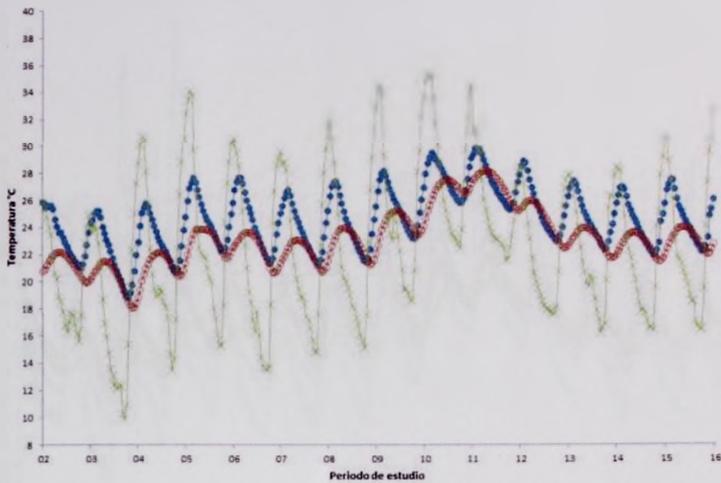
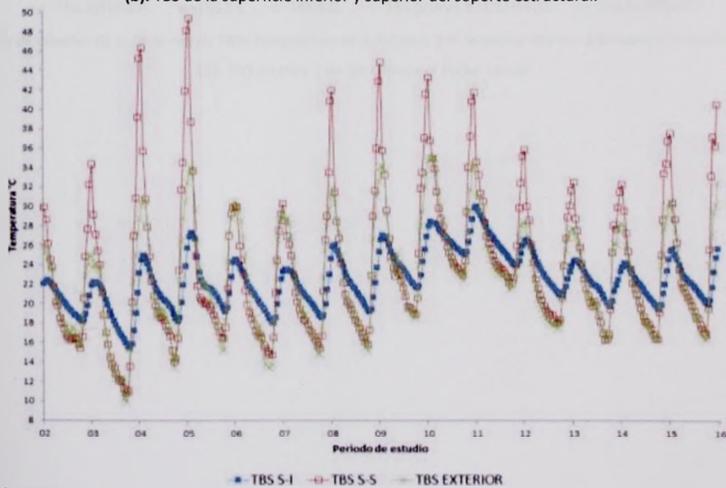


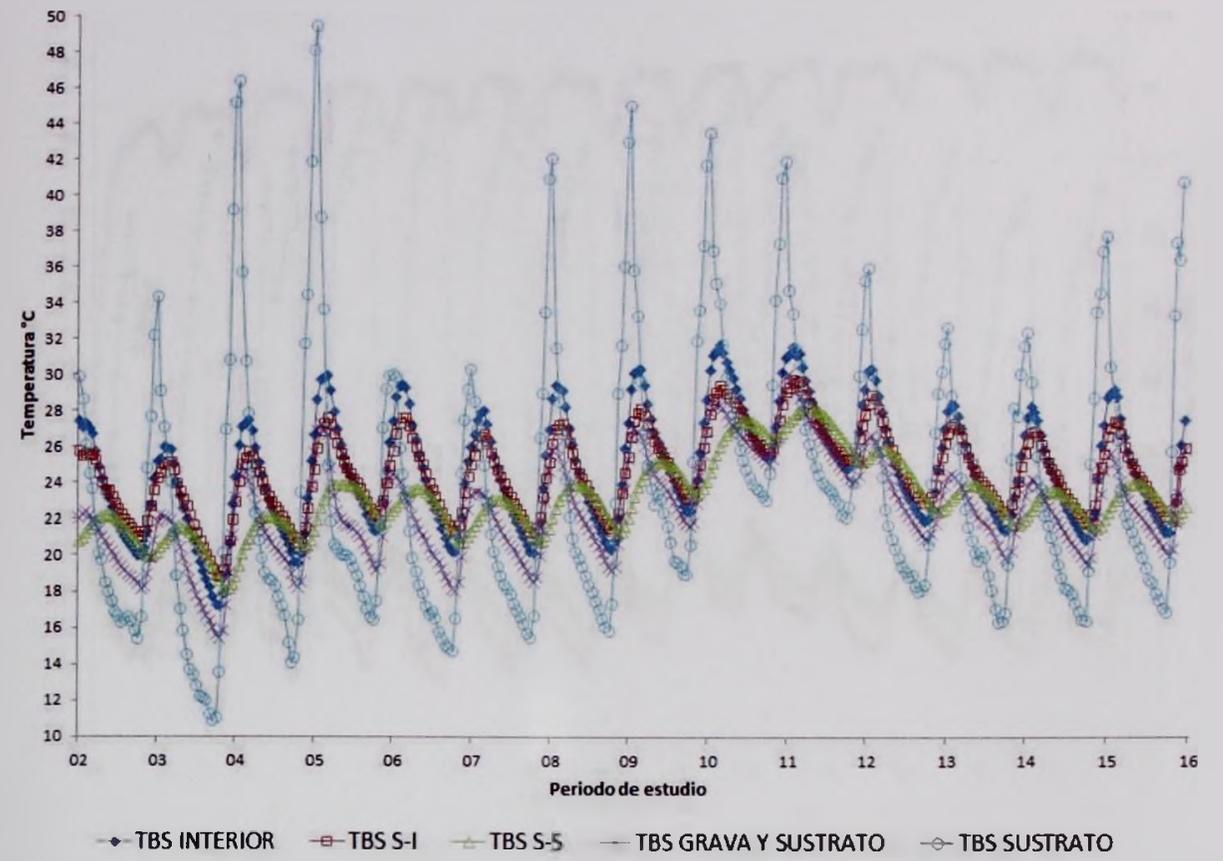
Figura 1. Evolución de la temperatura de las aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Chile, en el periodo de 2012 a 2014. La temperatura promedio de las aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Chile, en el periodo de 2012 a 2014, es similar a la temperatura promedio de las aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Chile, en el periodo de 2012 a 2014.



● TBS S-I    ■ TBS S-S    ▲ TBS EXTERIOR  
 Periodo de estudio= 02 al 16 de marzo, TBS= Temperatura de bulbo seco, S-I= Superficie inferior, S-S=Superficie superior.  
**(b).** TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural.



● TBS S-I    ■ TBS S-S    ▲ TBS EXTERIOR  
 Periodo de estudio= 02 al 16 de marzo, TBS= Temperatura de bulbo seco, S-I= Superficie inferior, S-S=Superficie superior.  
**(c).** TBS de la capa de sustrato.



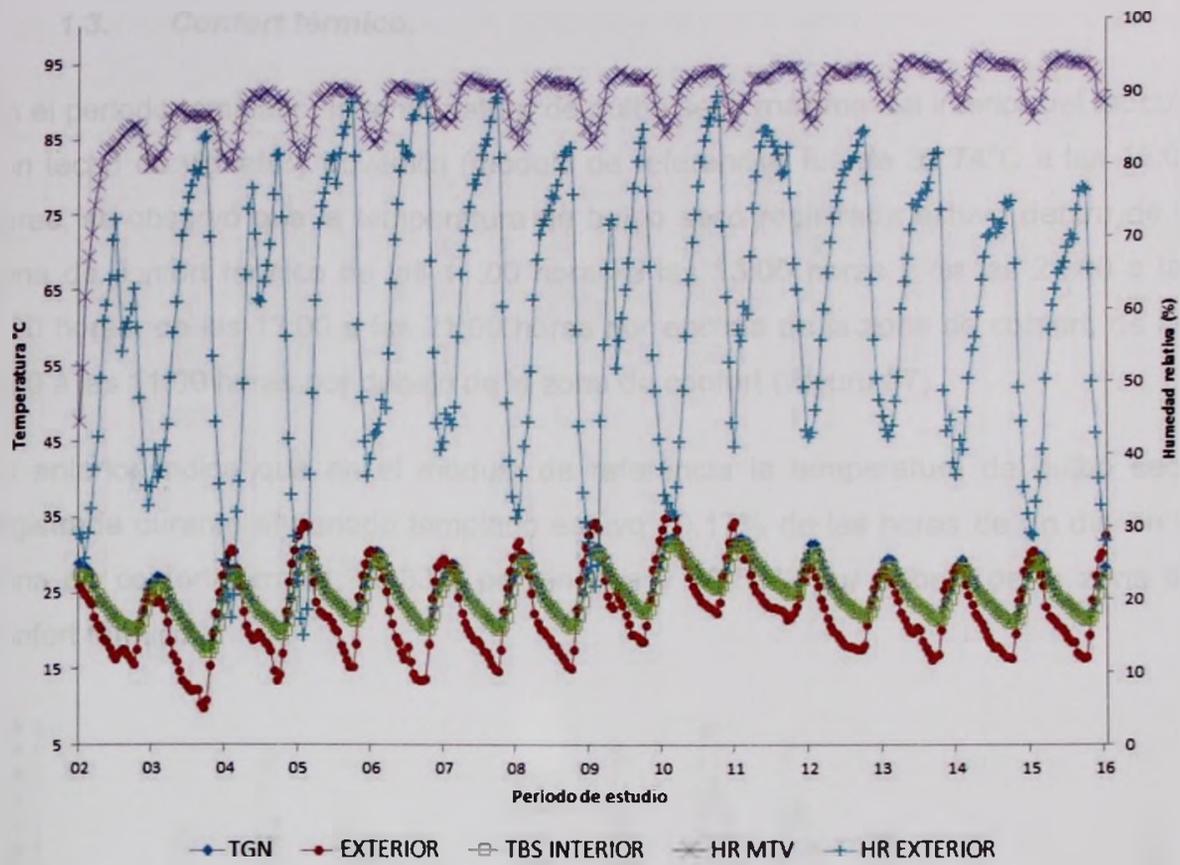
Periodo de estudio= 02 al 16 de marzo, TBS= Temperatura de bulbo seco, S-I= Superficie inferior, S-S=Superficie superior.

(d). TBS interior y de las capas del techo verde.

REPRODUCTION OF ORIGINAL IMAGE



FIGURE 1. A typical example of a periodic waveform. The waveform is a sawtooth pattern with a period of 10 units. The amplitude of the waveform is 60 units. The waveform is plotted against time (x-axis) and amplitude (y-axis).

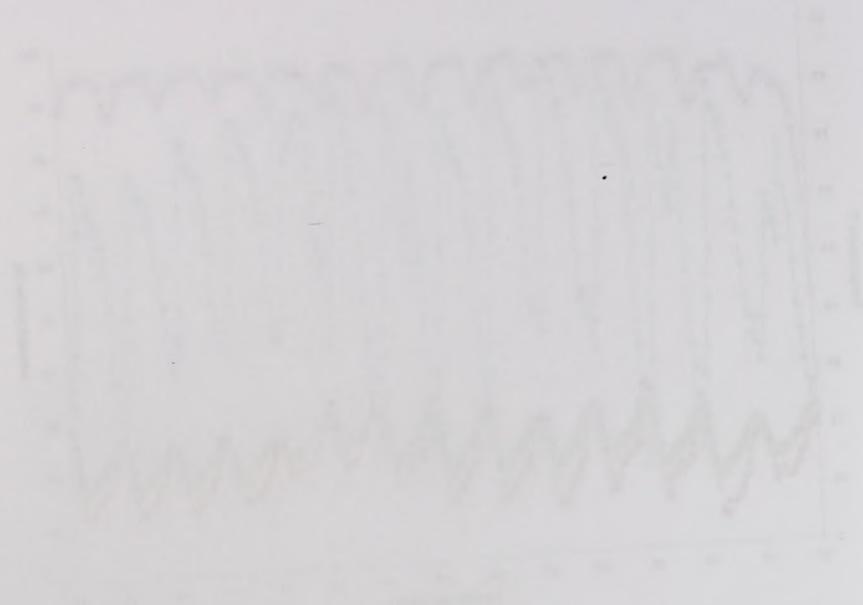


Periodo de estudio= 02 al 16 de marzo, TGN= Temperatura de globo negro, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa.

(e). TGN, TBS y HR exterior e interior.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 56. Desempeño térmico del módulo con techo verde.



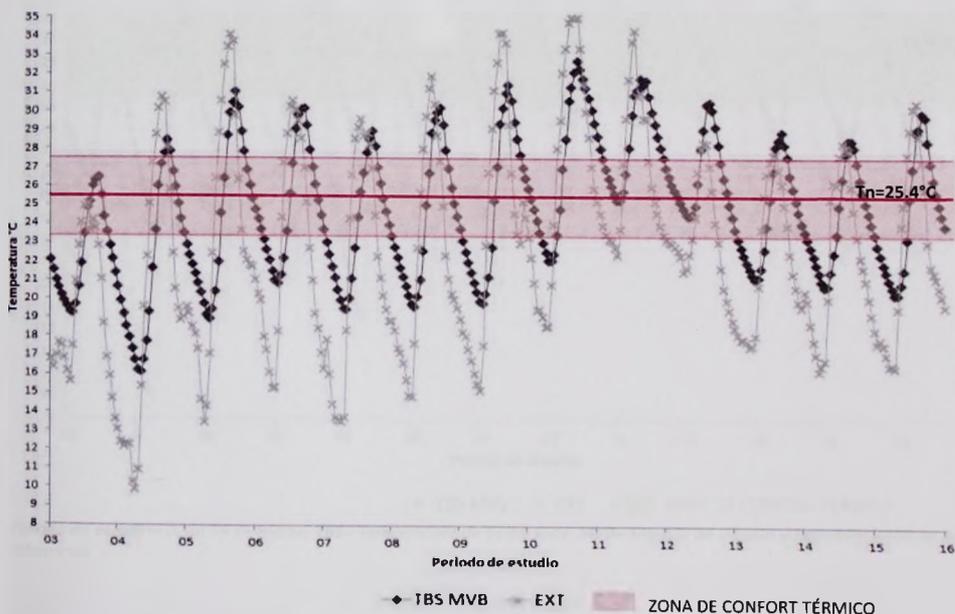
*[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.]*

ALL INFORMATION CONTAINED  
HEREIN IS UNCLASSIFIED  
DATE 08-14-2010 BY 60322 UCBAW/STP

### 1.3. Confort térmico.

En el periodo templado, la temperatura de bulbo seco máxima del interior del módulo con techo de vigueta y bovedilla (módulo de referencia) fue de 32.74°C a las 16:00 horas, se observó que la temperatura de bulbo seco registrada estuvo dentro de la zona de confort térmico de las 11:00 horas a las 13:00 horas y de las 21:00 a las 2:00 horas, de las 13:00 a las 21:00 horas por encima de la zona de confort, de las 2:00 a las 11:00 horas por debajo de la zona de confort (Figura 57).

Lo anterior indica que en el módulo de referencia la temperatura de bulbo seco registrada durante el periodo templado estuvo 29.17% de las horas de un día en la zona de confort térmico, 33.33% por encima y 37.50% por debajo de la zona de confort térmico.



Período de estudio= 02 al 16 de marzo, TBS= Temperatura de bulbo seco, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. Temperatura de bulbo seco interior de MVB y zona de confort térmico.

Este periodo también se caracterizó por el hecho de que, a partir del mes de agosto con fecha de vigilia y bendición (fecha de registro) por las 22:30 a las 19:00 horas se observó que la temperatura de los ambientes se elevó considerablemente, así como de control térmico de las 17:00 horas a las 19:00 horas y de las 19:00 a las 21:00 horas, de las 19:00 a las 21:00 horas por separado, se tuvo de control de las 21:00 a las 17:00 horas por debajo de la temperatura de control térmico.

En otros índices que en el ámbito de referencia, la temperatura de los ambientes durante el periodo de control térmico de las 17:00 a las 19:00 horas de un día en la zona de control térmico, 22:30 por encima y 21:00 por debajo de la zona de control térmico.

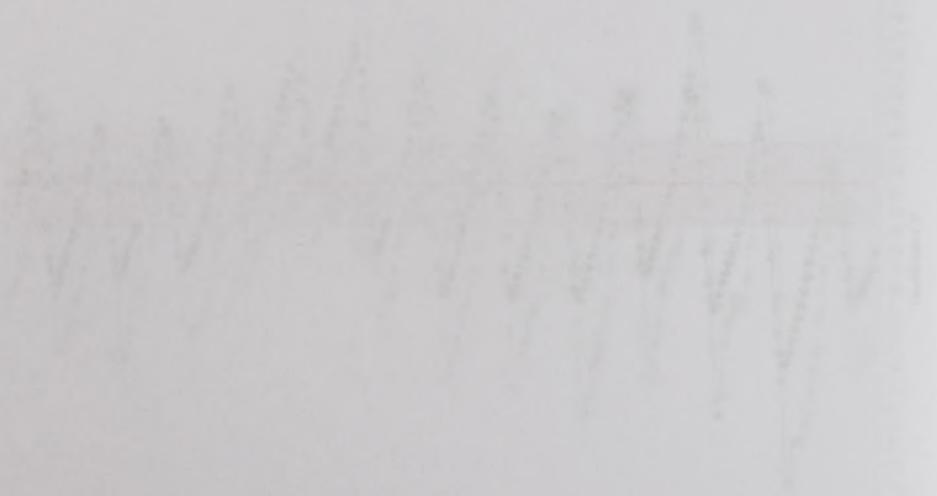
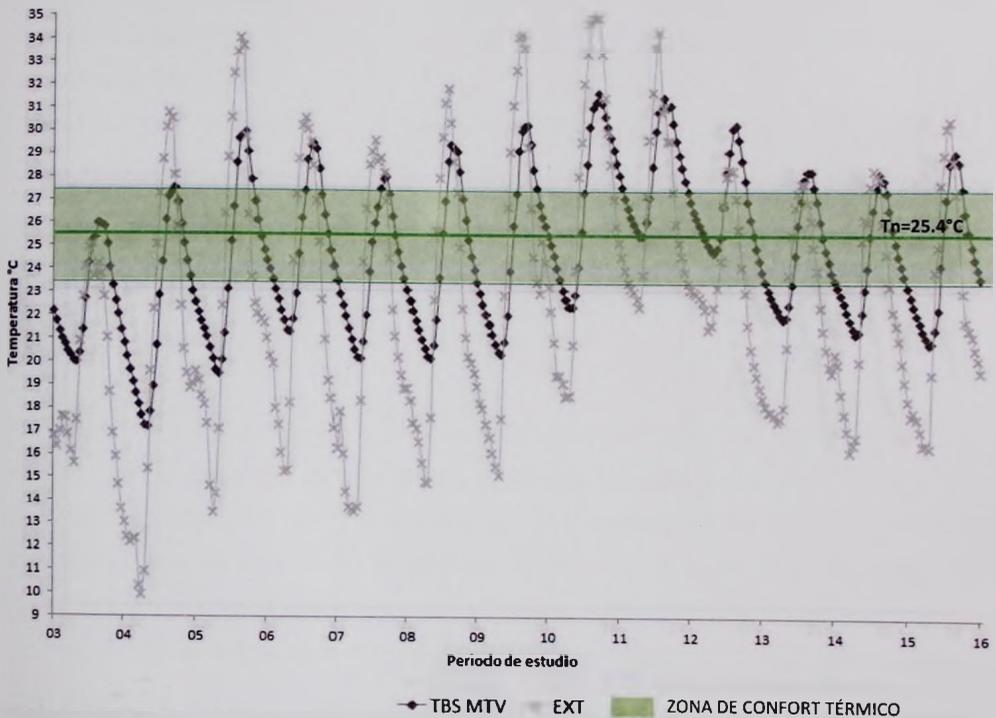


Figura 33. Temperaturas de los ambientes en la zona de control térmico.



En el módulo con techo verde, la temperatura de bulbo seco interior máxima fue de 31.8°C a las 16:00 horas del día, los datos registrados indicaron que la temperatura estuvo dentro de la zona de confort de las 10:00 a las 12:30 horas y de las 20:00 a las 3:00 horas, de las 12:30 a las 20:00 horas por encima de la zona de confort, de las 3:00 a las 10:00 horas por debajo de la zona de confort térmico (Figura 58). Un 39.58% de las horas la temperatura de bulbo seco del interior estuvo en la zona de confort térmico, 31.25% por encima y 29.17% por debajo de la zona de confort térmico.



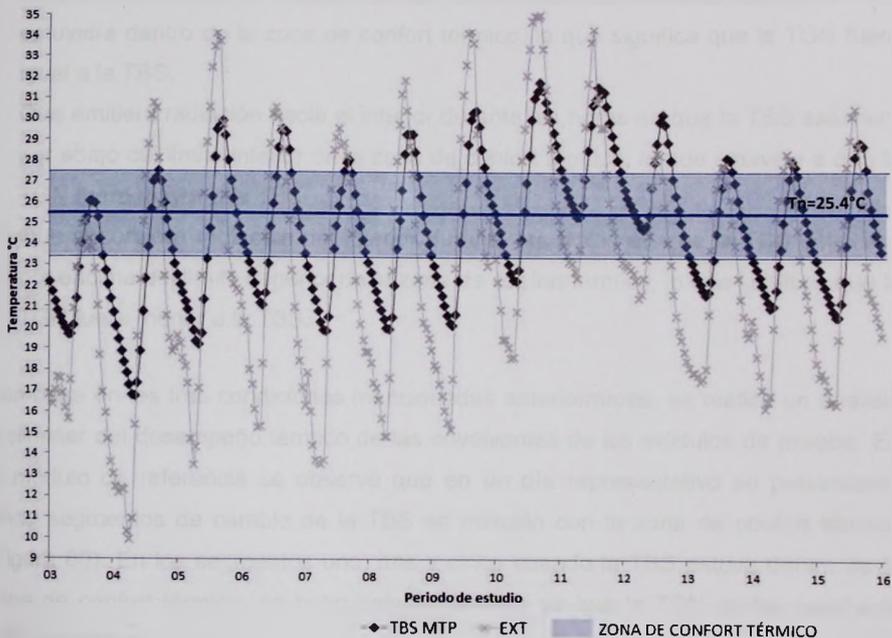
Periodo de estudio= 02 al 16 de marzo, TBS= Temperatura de bulbo seco, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. Temperatura de bulbo seco interior de MTV y zona de confort térmico.



La temperatura de bulbo seco máxima del interior del módulo con techo de poliestireno fue de 31.8°C registrada a las 16:00 horas. Durante este periodo se observó que de las 3:00 a las 10:00 horas la temperatura del interior estuvo por debajo de la zona de confort térmico, de las 10:00 a las 13:00 horas y de las 19:00 a las 3:00 horas en la zona de confort térmico y de las 13:00 a las 19:00 horas por encima de la zona de confort térmico (Figura 59). Un 45.83% de las horas en la zona de confort térmico, 25.00% por encima y 29.17% por debajo de la zona de confort térmico.



Período de estudio= 02 al 16 de marzo, TBS= Temperatura de bulbo seco, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 59. Temperatura de bulbo seco interior de MTP y zona de confort térmico.

Con base en los horarios o segmentos del día mencionados anteriormente se puede analizar la cantidad de horas que la temperatura de bulbo seco del interior estuvo

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

La temperatura de la muestra se mantuvo constante en 37.5°C durante el tiempo de la prueba. Los datos de la temperatura de la muestra se muestran en la figura 1. Se puede observar que la temperatura de la muestra se mantuvo constante en 37.5°C durante el tiempo de la prueba.

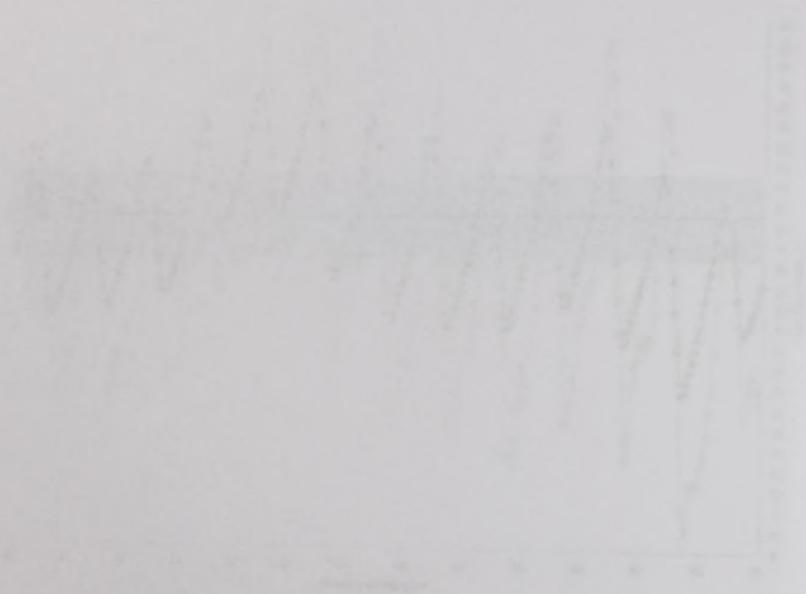


Figura 1. Temperatura de la muestra durante el tiempo de la prueba.

Con base en los resultados obtenidos en la prueba se puede concluir que la temperatura de la muestra se mantuvo constante en 37.5°C durante el tiempo de la prueba.

dentro de la zona de confort térmico para cada módulo. En el módulo con techo verde la temperatura de bulbo seco estuvo 26.30% más horas del día dentro de la zona de confort térmico en comparación con la temperatura de bulbo seco registrada en el módulo de referencia y 15.79% menos horas en comparación con el módulo de techo con poliestireno.

De acuerdo con Romero et al. (2007), la edificación con un desempeño térmico adecuado sería aquella que presentara las tres condiciones siguientes:

1. Que se mantuviera en balance térmico cero durante las horas en las que la TBS estuviera dentro de la zona de confort térmico, lo que significa que la TGN fuera igual a la TBS.
2. Que emitiera radiación hacia el interior durante las horas en que la TBS estuviera por abajo del límite inferior de la zona de confort térmico, lo que equivale a que la TGN fuera mayor a la TBS.
3. Que absorbiera radiación del interior durante las horas en que la TBS estuviera por encima del límite superior de la zona de confort térmico, lo que significa que la TGN fuera menor a la TBS.

Con base en las tres condiciones mencionadas anteriormente, se realizó un análisis preliminar del desempeño térmico de las envolventes de los módulos de prueba. En el módulo de referencia se observó que en un día representativo se presentaron cinco segmentos de cambio de la TBS en relación con la zona de confort térmico (Figura 60). En los segmentos uno, tres y cinco cuando la TBS estuvo dentro de la zona de confort térmico, no hubo balance térmico ya que la TGN no fue igual a la TBS registrada.

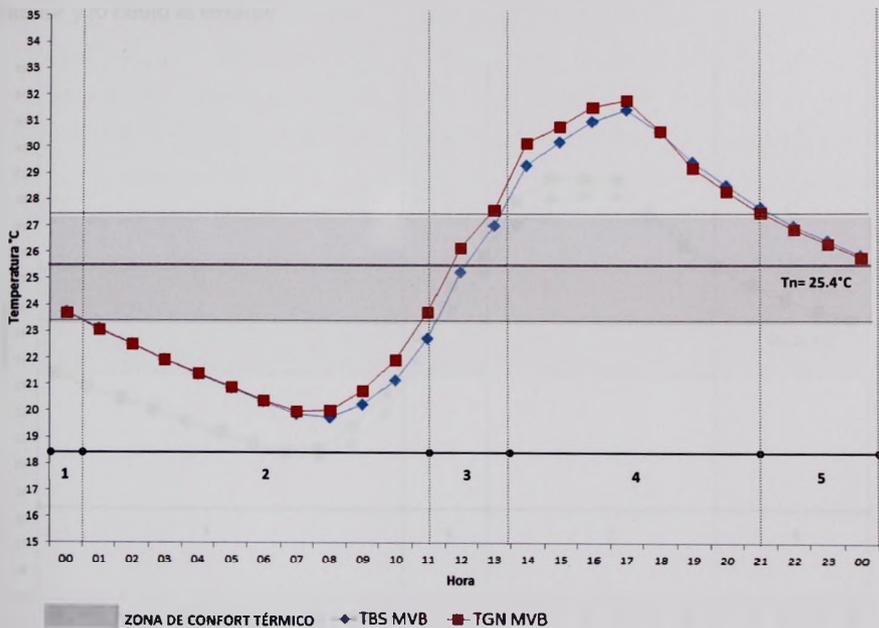
dentro de la zona de confort térmico para cada modelo. En el modelo con termo  
ventil la temperatura de fondo bajo estado 20-25°C nos permite del 50% dentro de la  
zona de confort térmico en comparación con la temperatura de fondo con estado 20-25°C  
en el módulo de referencia y 10-15°C. Menos horas en confort térmico con el modelo con  
termo con ventilación.

De acuerdo con Romano et al. (2007), se relaciona con un desarrollo térmico  
adecuado esta especie que proporciona las tres condiciones siguientes:

1. Que se mantenga en estado térmico cómodo durante las horas en las que la TBS  
estuviera dentro de la zona de confort térmico, lo que significa que la TGN fuera  
igual a la TBS.
2. Que existiera también fuera el límite superior de la zona de TBS adecuada  
por abajo del límite inferior de la zona de confort térmico, lo que significa que la  
TGN fuera mayor a la TBS.
3. Que existiera también dentro del límite inferior de la zona de TBS adecuada  
por encima del límite superior de la zona de confort térmico, lo que significa que la  
TGN fuera menor a la TBS.

Con base en las tres condiciones mencionadas anteriormente se realizó un análisis  
del comportamiento térmico de las viviendas de las ciudades de Xalapa. En  
el módulo de referencia se observó que en su comportamiento se presentaban  
estos segmentos de cambio de la TBS en relación con la zona de confort térmico  
(Figura 00). En los segmentos que las y cinco ciudades TBS estuvo dentro de la  
zona de confort térmico, no hubo cambios térmicos ya que la TGN se fue igual a la  
TBS registradas.

Sin embargo, el 30% de las horas del segmento dos cuando la TBS estuvo por debajo de la zona de confort térmico la TGN fue mayor, lo cual indicó que en este horario la envolvente emitió radiación hacia el interior. En el segmento cuatro cuando la TBS estuvo por encima de la zona de confort térmico, la TGN fue menor el 40% de las horas de este segmento, lo cual se traduce que solo en esas horas la envolvente absorbió la radiación del interior para cederla al exterior, en el 60% de las horas de este segmento no se presentó el efecto anterior esperado (Figura 60).



TBS= Temperatura de bulbo seco, Tn= Temperatura neutral, TGN= Temperatura de globo negro, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. TGN y rangos de confort térmico. MVB en un día representativo (09/03/2013).

En el módulo con techo verde se presentaron cuatro segmentos de cambio de la TBS en relación con la zona de confort térmico (Figura 61). En los segmentos dos y cuatro la TBS estuvo dentro de la zona de confort térmico y solo en las horas del segmento

En el estudio se analizaron los datos de los registros de los sensores de temperatura y humedad en la zona de cultivo durante el periodo de estudio. Los datos se analizaron mediante el uso de un software de procesamiento de datos, el cual permitió obtener los valores promedio de temperatura y humedad en cada punto de medición. Los resultados se muestran en el gráfico adjunto.



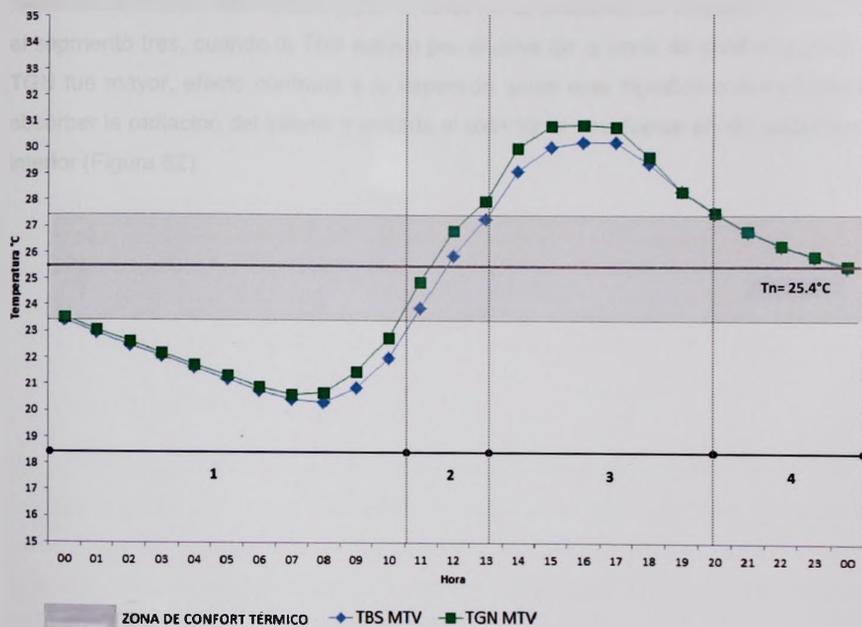
Gráfico 1. Evolución de la temperatura y humedad en la zona de cultivo durante el periodo de estudio. El eje X representa el tiempo en horas y el eje Y el porcentaje de temperatura y humedad.

Los resultados obtenidos en el estudio muestran que la temperatura en la zona de cultivo aumenta durante el día y disminuye durante la noche. Asimismo, la humedad en la zona de cultivo aumenta durante la noche y disminuye durante el día. Estos resultados son similares a los obtenidos en otros estudios realizados en zonas de cultivo.

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 DIVISIÓN DE INVESTIGACIONES AGRARIAS Y PISCICULTIVAS  
 LABORATORIO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

cuatro se observó que la TBS y la TGN fueron iguales, por lo que se presentó el efecto de balance térmico.

En el segmento uno cuando la TBS estuvo por debajo de la zona de confort térmico la TGN fue mayor, efecto esperado y que se traduce en que la envolvente aportó en este horario radiación al interior. La TGN fue menor en el 30% de las horas del segmento tres cuando la TBS estuvo por encima de la zona de confort térmico, solo en este horario se observó que la envolvente absorbió el calor por radiación del interior y lo cedió al exterior.



TBS= Temperatura de bulbo seco, Tn= Temperatura neutral, TGN= Temperatura de globo negro, MTV= Módulo con techo verde.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 61. TGN y rangos de confort térmico. MTV en un día representativo (09/03/2013).

cuando se observa que la TBS y la TCR tienen valores casi iguales se presenta el efecto de balance térmico.

En el segmento uno cuando la TBS muestra un valor de 12°C es cuando termina la TCR las mayor, viene después y que se forma en el momento de la salida de la TCR en esta forma radiación la TCR se reduce a 10°C de la zona del segmento tres cuando la TBS estuvo por encima de la zona de confort térmico y en esta forma se observa que la evolución térmica al salir por radiación del interior y lo cobija al exterior.

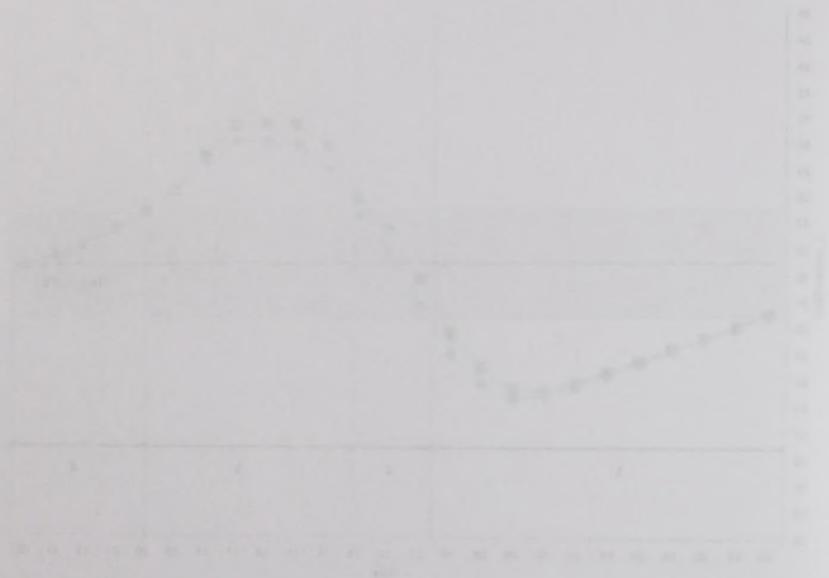


Figura 10. Evolución térmica de la zona de confort térmico en un día de invierno. Se observa que la TBS y la TCR tienen valores casi iguales se presenta el efecto de balance térmico.

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 DIVISIÓN DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS BÁSICAS  
 LABORATORIO DE CLIMATOLOGÍA Y ENERGÍA TÉRMICA

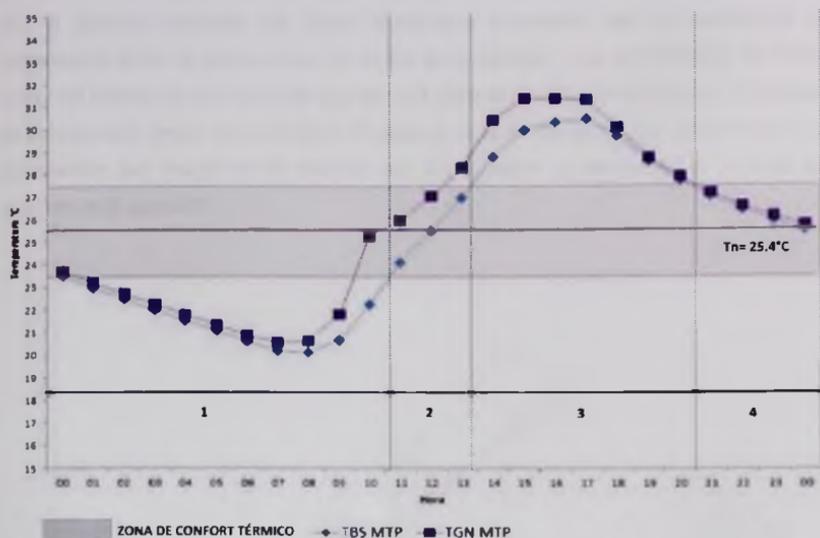
En cuanto al módulo de techo con poliestireno la TBS cambió en relación con la zona de confort térmico en cuatro segmentos (Figura 62). En el segmento uno la TBS estuvo por debajo del límite inferior de la zona de confort térmico y en estas horas la TGN fue mayor, efecto que indicó que la envolvente del módulo emitió radiación hacia el interior y se traduce en que las personas tendrían que añadir esos valores de ganancia de temperatura a su propio balance térmico fisiológico.

En los segmentos dos y cuatro cuando la TBS estuvo dentro de la zona de confort térmico la TGN fue mayor, efecto que indicó que la envolvente emitió en esas horas radiación al interior del módulo y por lo tanto no se presentó un balance térmico. En el segmento tres, cuando la TBS estuvo por encima de la zona de confort térmico la TGN fue mayor, efecto contrario a lo esperado, pues esto significó que en lugar de absorber la radiación del interior y cederla al exterior la envolvente emitió radiación al interior (Figura 62).

En cuanto al modo de medir los resultados de las pruebas de los  
de control térmico en cuatro segmentos (Figura 22) en el segmento que se  
estuvo por debajo del límite inferior de la zona de confort térmico y en estos casos se  
TGM fue mayor, esto es que indica que el segmento del motor está caliente  
frente al interior y se verifica en que las personas trabajan que están en el  
de garantía de temperatura a su propio ritmo de trabajo.

En los segmentos dos y cuatro como se TGM estuvo dentro de la zona de confort  
frente al TGM fue mayor, esto es que indica que el segmento del motor está caliente  
frente al interior del vehículo y por lo tanto las personas que trabajan dentro de  
el segmento fue cuando se TGM estuvo por encima de la zona de confort térmico, lo  
TGM fue mayor, esto es que indica que el segmento del motor está caliente  
frente al interior del vehículo y cuando se TGM estuvo por encima de la zona de confort térmico.

Figura 22



TBS= Temperatura de bulbo seco, Tn= Temperatura neutral, TGN= Temperatura de globo negro, MTP= Módulo de techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 62. TGN y rangos de confort térmico. MTP en un día representativo (09/03/2013).

#### 1.4. Correlación.

En el análisis de correlación se realizaron gráficas de dispersión para determinar la relación estadística de las temperaturas de bulbo seco registradas en el interior de los módulos de prueba (Variable dependiente) con la temperatura de bulbo seco del exterior (Variable independiente). Se analizaron cuatro tipos de línea de tendencia: 1) Lineal, 2) Logarítmica, 3) Polinómica y 4) Exponencial que dieron como resultado cuatro fórmulas de regresión.



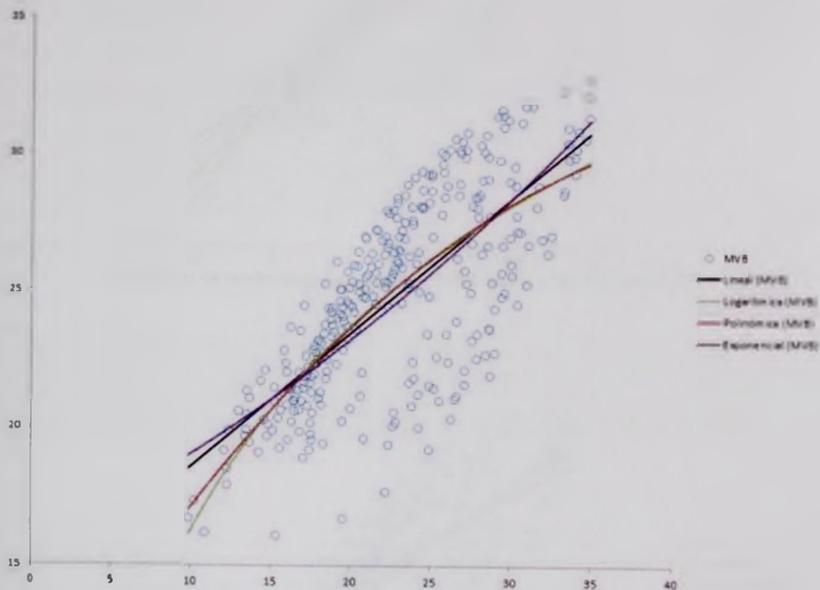
Figura 1. Resistencia eléctrica en función de la temperatura para un conductor de cobre. La resistencia eléctrica de un conductor de cobre aumenta con la temperatura.

### 1.4. Correlación

En el análisis de correlación se relacionan dos variables cuantitativas para determinar la relación estadística de las temperaturas de los cables eléctricos en el tiempo de los cables de prueba eléctrica. Se trata de un estudio de correlación de tipo simple (una variable independiente). Se trata de un estudio de tipo de prueba (1) (nivel 2), Logística, 3) Probabilidad y 4) Estadística que debe tener en cuenta las fórmulas de regresión.

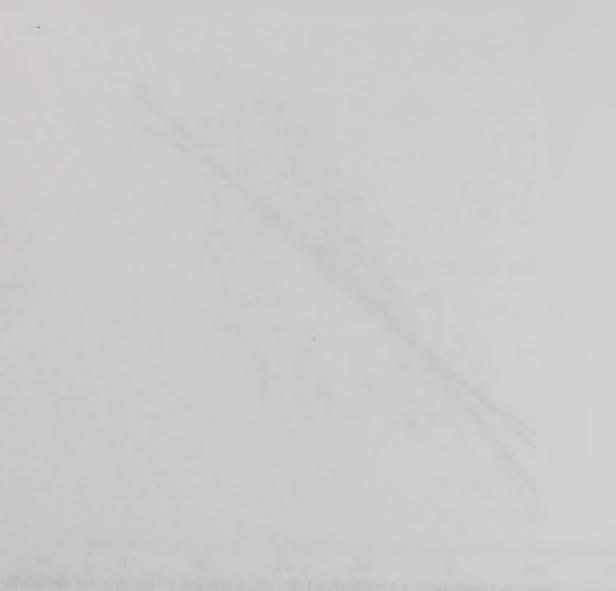
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 DIVISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 LABORATORIO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

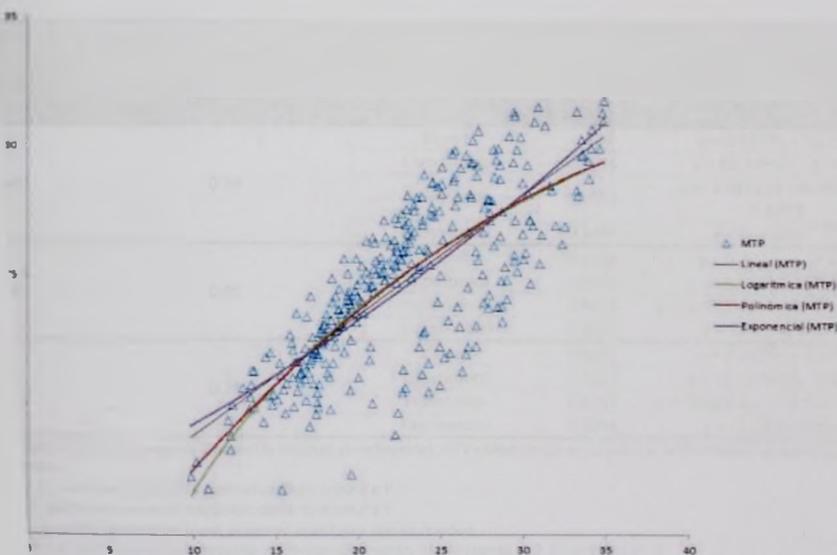
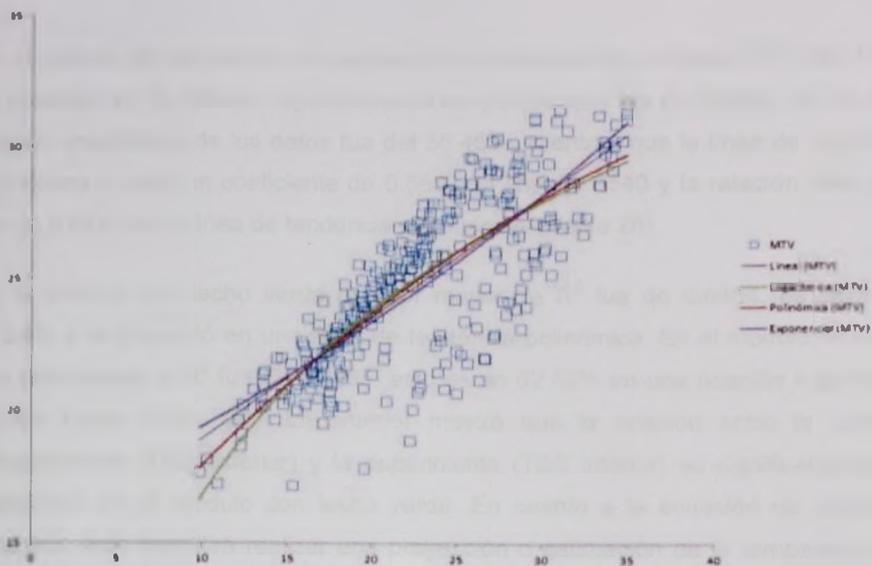
En el periodo templado los datos registrados mostraron que el coeficiente de correlación entre la temperatura de bulbo seco exterior y la temperatura de bulbo seco del interior de los módulos fue de 0.74 para el módulo de referencia, 0.80 para el módulo con techo verde y de 0.78 para el módulo de techo con poliestireno. La correlación fue mayor en el módulo con techo verde y menor en el módulo de referencia (Figura 63).



(a). Líneas de tendencia y correlación de TBS exterior y TBS interior de MVB.

En el periodo temprano los datos registrados muestran una fuerte correlación entre la temperatura de la cámara y la temperatura de bulbo del interior de los módulos. En el resto del período de referencia de 10 días el módulo con techo blanco y el módulo con techo negro se comportaron de manera similar. La correlación fue mayor en los días de referencia de 10 días. El módulo de referencia (Figura 83).





Fuente: Elaboración propia.

Figura 63. Líneas de tendencia y correlación de módulos de prueba.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
LIBRARY  
DIVERSITY AND INCLUSIVITY



Figure 1: A line graph showing a downward trend. The x-axis is labeled 'Year' and the y-axis is labeled 'Value'. The data points are connected by a line, showing a steady decline from approximately 1980 to 2000.



Figure 2: A line graph showing a downward trend. The x-axis is labeled 'Year' and the y-axis is labeled 'Value'. The data points are connected by a line, showing a steady decline from approximately 1980 to 2000.

Source: [Illegible text]

En el módulo de referencia, el coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) más fuerte se presentó en la relación logarítmica de los puntos que fue de 0.5645, es decir, la relación estadística de los datos fue del 56.45%, mientras que la línea de tendencia polinómica mostró un coeficiente de 0.5633, la lineal 0.5540 y la relación más débil fue de 0.5444 en la línea de tendencia exponencial (Tabla 26).

En el módulo con techo verde el valor mayor de  $R^2$  fue de 0.6454, es decir del 64.54% y se presentó en una línea de tendencia polinómica. En el módulo de techo con poliestireno la  $R^2$  fue de 0.6255, esto es un 62.52% en una relación logarítmica de los datos (Tabla 26). Lo anterior mostró que la relación entre la variable independiente (TBS exterior) y la dependiente (TBS interior) es significativamente estadística en el módulo con techo verde. En cuanto a la ecuación de regresión obtenida, esta permitirá realizar una proyección o estimación de la temperatura de bulbo seco interior en función de la temperatura de bulbo seco del exterior.

**Tabla 26**

*Periodo templado. Coeficiente de correlación de Pearson,  $R^2$  y regresión de la temperatura de bulbo seco exterior e interior.*

Módulo	Coeficiente de correlación*	Línea de tendencia	$R^2$	Ecuación de regresión
MVB	0.74	Lineal	0.554	$y = 0.4859x + 13.715$
		Logarítmica	0.5645	$y = 10.74\ln(x) - 8.4588$
		Polinómica	0.5633	$y = -0.0101x^2 + 0.9532x + 8.5973$
		Exponencial	0.5444	$y = 15.624e^{0.0198x}$
MTV	0.80	Lineal	0.6398	$y = 0.4622x + 14.254$
		Logarítmica	0.6442	$y = 10.154\ln(x) - 6.6467$
		Polinómica	0.6454	$y = -0.0069x^2 + 0.7831x + 10.74$
		Exponencial	0.6322	$y = 16.032e^{0.0188x}$
MTP	0.78	Lineal	0.6161	$y = 0.4636x + 14.144$
		Logarítmica	0.6255	$y = 10.227\ln(x) - 6.9511$
		Polinómica	0.6252	$y = -0.009x^2 + 0.8824x + 9.5561$
		Exponencial	0.6092	$y = 15.904e^{0.0189x}$

*Nota. MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia), MTV= Módulo con techo verde y MTP= Módulo de techo con poliestireno.*

*\* Si  $R = 1$ , existe una correlación positiva perfecta entre X e Y*

*Si  $R = -1$ , existe una correlación negativa perfecta entre X e Y*

*Si  $R = 0$ , no existe correlación lineal, pudiendo existir otro tipo de relación*

*Si  $-1 < R < 0$ , existe correlación negativa y dependencia inversa, mayor cuanto más se aproxime a -1*

*Si  $0 < R < 1$ , existe correlación positiva, y dependencia directa, mayor cuanto más se aproxime a 1*

*\*\* Si  $R^2 = 1$ , existe dependencia funcional; la totalidad de la variabilidad de Y es explicada por la regresión*

*Si  $R^2 = 0$ , dependencia nula; la variable explicativa no aporta información válida para la estimación de la variable explicada*

*Si  $R^2 \geq 0.75$ , se acepta el modelo ajustado*

Fuente: Elaboración propia.



## 2. Periodo de transición

En el periodo de transición se analizaron más de 80,000 datos de temperatura (bulbo seco y globo negro) y humedad relativa, registrados del 01 al 15 de abril de 2013, durante ese tiempo el techo verde se regó una vez (01 de abril) con aproximadamente 10 litros de agua.

### 2.1. Temperatura en interiores.

En este apartado se presentan los resultados de las temperaturas de bulbo seco (TBS) registradas en el interior de los módulos de prueba en comparación con la temperatura de bulbo seco del exterior, así como el amortiguamiento térmico de cada módulo de prueba en un periodo de transición templado-cálido.

En este periodo se observó que en relación a las TBS máximas registradas en los módulos fueron inferiores a las TBS máximas del exterior (Tabla 27). Se obtuvo que la TBS máxima interior del módulo con techo verde fue 8.76% menor que la TBS máxima exterior, 8.14% menor en el módulo de techo con poliestireno y en el módulo de vigueta y bovedilla 6.92% menor.

**Tabla 27**  
*Periodo de transición. Temperaturas máximas, promedio y mínimas.*

Temperaturas (°C)	Módulo techo Vigueta y bovedilla (MVBI)	Módulo techo verde (MTV)	Módulo techo de poliestireno (MTP)	Exterio
Máxima	37.51	36.77	37.02	40.30
Promedio	30.53	30.44	30.53	29.16
Mínima	21.68	22.47	22.27	16.71

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos medidos en un día representativo (08/04/2013), se realizó la comparación de las TBS registradas en el interior de los módulos con las TBS del exterior. En relación con las curvas de la TBS del exterior, se analizaron tres segmentos del día: 1) de 24:00 a las 8:00 horas, 2) de 8:00 a las 19:00 horas y 3) de 19:00 a las 24:00 horas (Figura 64).

En el período de transición se realizaron más de 80.000 horas de trabajo en labores de apoyo y labores de mantenimiento, representando el 10% de las horas de trabajo. Durante ese tiempo se trabajó en las labores de apoyo (01 de abril) con aproximadamente 10 veces de apoyo.

### 5.1. Temperaturas en interiores

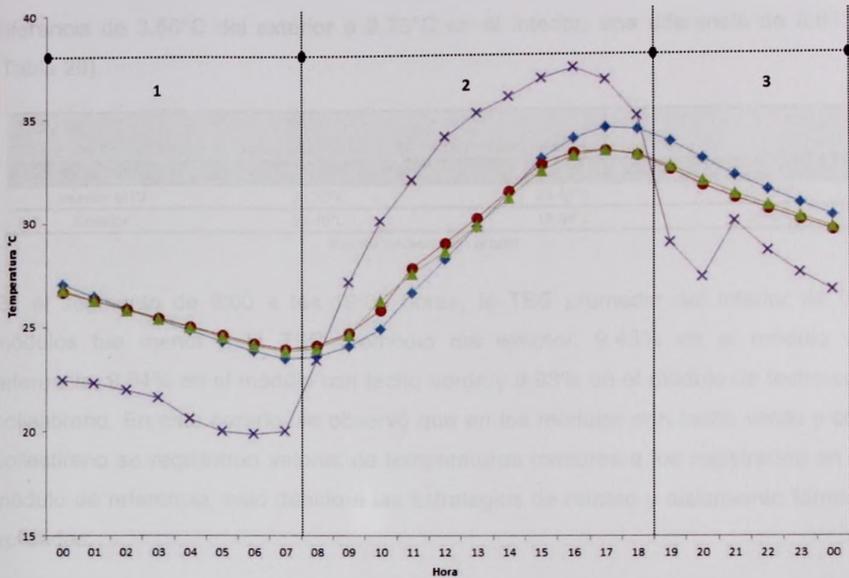
En este apartado se presentan los resultados de las temperaturas de los ambientes (TBA) registradas en el interior de los módulos de apoyo en el momento en que se realizaron las labores de apoyo. En estos ambientes se registró la temperatura de punto seco del exterior, así como el grado de humedad relativa de estos módulos de prueba en un período de tiempo de un día.

En este período se observó que en relación a las TBA máximas registradas en los módulos fueron inferiores a las TBA máximas del exterior (Tabla 5.1). Se obtuvo que las TBA máximas internas del módulo de apoyo varió de 27.0°C, mientras que la TBA máxima exterior a 14°C menor en el módulo de apoyo con respecto al exterior en promedio y promedio de 8.0°C menor.

Variable	Valor	Unidad
TBA Máxima Interna	27.0	°C
TBA Máxima Exterior	35.0	°C
Diferencia	8.0	°C

Tabla 5.1. Temperaturas en interiores

Con los datos obtenidos en un día de transición (02/05/17) se realizó la comparación de las TBA registradas en el interior de los módulos con las TBA del exterior. En relación con las curvas de la TBA del exterior se observó que los segmentos del día 1) de 24:00 a las 00:00 horas (2) de 0:00 a las 12:00 horas y 3) de 18:00 a las 24:00 horas (Figura 5.2).



—◆— MVB —●— MTV —▲— MTP —x— EXTERIOR

MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla, MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 64. Temperatura de bulbo seco (TBS) interior de módulos de prueba y temperatura de bulbo seco exterior. Segmentos de estudio en un día representativo (08/04/2013).

En el horario de las 24:00 a las 8:00 horas se observó que la TBS promedio del interior de los módulos fue mayor a la TBS promedio del exterior: 17.00% en el módulo de referencia, 17.70% en el módulo con techo verde y 17.52% mayor en el módulo de techo con poliestireno. El techo verde mostró valores mayores en comparación con los otros dos módulos debido al efecto de la masa térmica que retrasó el flujo del calor en las capas del techo verde durante el día y liberó el calor en la madrugada y parte de la mañana.

En este horario, en el que se registró la TBS mínima exterior del día, los resultados indicaron que el módulo con techo verde mostró mayores ventajas térmicas por efecto de la masa térmica aplicada, al evitar un cambio de temperaturas con una

En el marco de las 2000 horas de trabajo, se analizaron los resultados de los trabajos de los estudiantes que ingresaron a la carrera de Ingeniería en el año 1970. El estudio de los resultados se realizó a través de un análisis de regresión múltiple de tercer orden con respecto al tiempo de trabajo de los estudiantes. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 1. Se puede observar que el tiempo de trabajo de los estudiantes que ingresaron a la carrera de Ingeniería en el año 1970, se relaciona positivamente con el tiempo de trabajo de los estudiantes que ingresaron a la carrera de Ingeniería en el año 1969. Este resultado es lógico, ya que los estudiantes que ingresaron a la carrera de Ingeniería en el año 1969, ya habían cursado los cursos de la carrera de Ingeniería en el año 1968, y por lo tanto, su tiempo de trabajo en el año 1969, ya había sido influenciado por el tiempo de trabajo de los estudiantes que ingresaron a la carrera de Ingeniería en el año 1968.

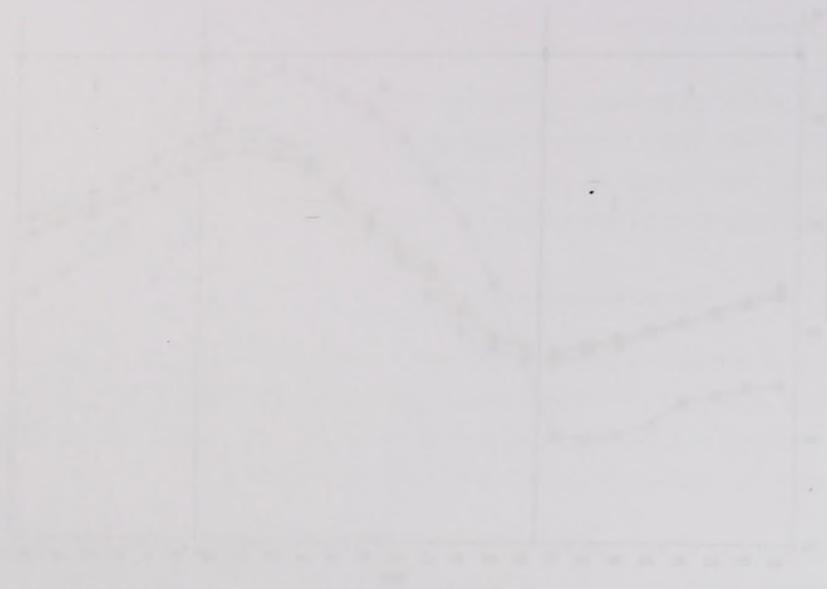


Figura 1. Evolución del tiempo de trabajo de los estudiantes de Ingeniería en el tiempo de trabajo de los estudiantes que ingresaron a la carrera de Ingeniería en el año 1969.

diferencia de 3.56°C del exterior a 2.75°C en el interior, una diferencia de 0.81°C (Tabla 28).

**Tabla 28**  
*Diferencia de temperaturas, de las 24:00 a las 8:00 horas. Periodo de transición.*

Espacio de medición	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Diferencia
Interior MTV	26.70°C	23.95°C	2.75°C
Exterior	23.40°C	19.84°C	3.56°C

Fuente: Elaboración propia.

En el segmento de 8:00 a las 19:00 horas, la TBS promedio del interior de los módulos fue menor a la TBS promedio del exterior: 9.43% en el módulo de referencia, 9.64% en el módulo con techo verde y 9.93% en el módulo de techo con poliestireno. En este horario, se observó que en los módulos con techo verde y con poliestireno se registraron valores de temperaturas menores a los registrados en el módulo de referencia, esto debido a las estrategias de retraso y aislamiento térmico aplicadas.

En este horario se registró la TBS máxima del exterior que fue de 37.40°C, mientras que en el interior del módulo con techo verde la TBS máxima fue de 33.42°C, 3.98°C menos. El techo verde mostró ventajas térmicas en comparación con el exterior al registrar una diferencia entre la temperatura máxima y mínima menor a la misma diferencia registrada en el exterior (Tabla 29).

**Tabla 29**  
*Diferencia de temperaturas, de las 8:00 a las 19:00 horas. Periodo de transición.*

Espacio de medición	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Diferencia
Interior MTV	33.42°C	24.71°C	8.71°C
Exterior	37.40°C	27.14°C	10.26°C

Fuente: Elaboración propia.

La TBS promedio interior de los módulos registrada de las 19:00 a las 24:00 horas, fue mayor en comparación a la registrada en el exterior: La TBS promedio fue 12.67% mayor en el módulo de vigueta y bovedilla, 9.32% en el módulo con techo verde y 9.93% en el módulo de techo con poliestireno.

diferencia de 3.58°C del exterior a 3.12°C en el interior, una diferencia de 0.46°C

(Tabla 28)

Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura
3.58	3.12	3.58	3.12

En el segmento de 8:00 a las 19:00 horas, la TSE promedio del interior de los módulos fue menor a la TSE promedio del exterior, 3.12°C en el módulo de referencia, 3.04°C en el módulo con techo verde y 3.03°C en el módulo con techo con aislamiento. En este horario, se observó que en los módulos con techo verde y con aislamiento se registraron valores de temperaturas interiores a los registrados en el módulo de referencia, esto debido a las estrategias de inercia y aislamiento térmico aplicadas.

En este horario se registró la TSE máxima del interior que fue de 33.48°C, mientras que en el interior del módulo con techo verde la TSE máxima fue de 33.42°C a 3.58°C de menos. El techo verde mostró ventajas térmicas en comparación con el exterior al presentar una diferencia entre la temperatura máxima y mínima menor a la misma diferencia registrada en el exterior (Tabla 29).

Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura
33.48	33.42	33.48	33.42

La TSE promedio interior de los módulos registrada de las 19:00 a las 24:00 horas fue mayor en comparación a la registrada en el exterior. La TSE promedio fue 3.07°C mayor en el módulo de vigueta y cubierta, 3.02°C en el módulo con techo verde y 3.03°C en el módulo de techo con aislamiento.

En el módulo con techo verde la diferencia entre la TBS máxima y mínima fue de 2.90°C, mientras que en el exterior esta diferencia fue de 3.31°C. Los datos anteriores mostraron que dentro del módulo con techo verde la TBS fue 0.41°C menor. (Tabla 30).

**Tabla 30**

*Diferencia de temperaturas, de las 19:00 a las 24:00 horas. Periodo de transición.*

Espacio de medición	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Diferencia
Interior MTV	32.49°C	29.59°C	2.90°C
Exterior	29.99°C	26.68°C	3.31°C

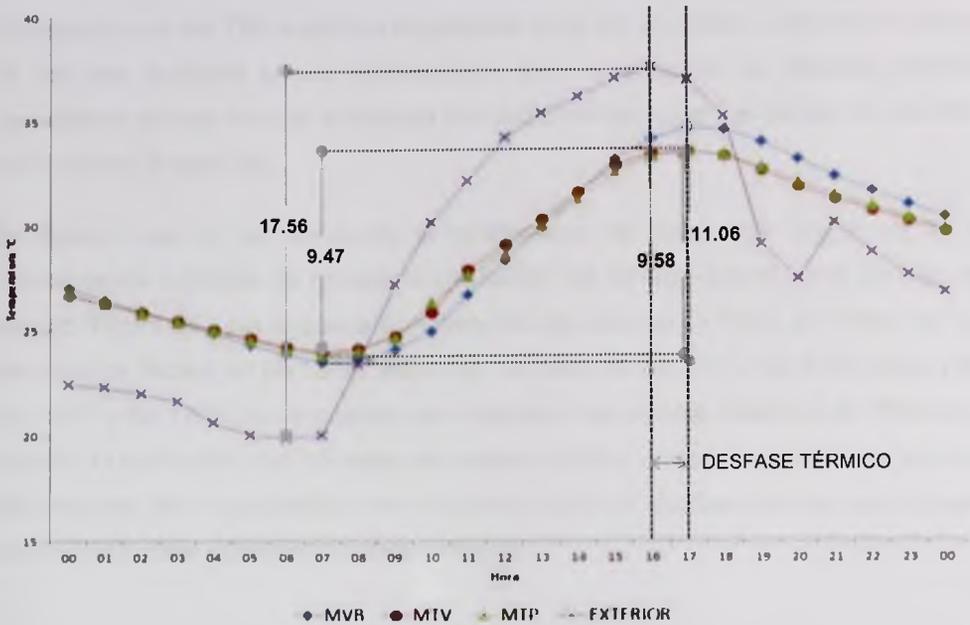
Fuente: Elaboración propia.

En un día representativo se calculó el amortiguamiento térmico de la temperatura de bulbo seco registrada en el interior de los módulos de prueba, se consideró la oscilación de la TBS del exterior y de la TBS del interior, esto de acuerdo con la ecuación (3). La oscilación de la temperatura de bulbo seco exterior fue de 17.56°C, mientras que la oscilación de la temperatura de bulbo seco registrada en los módulos de prueba fue de 11.06°C en el módulo con techo de vigueta y bovedilla, 9.58°C en el módulo de techo con poliestireno y de 9.47°C en el módulo con techo verde (Figura 65).

En el módulo de trabajo se efectuó un estudio de los factores que influyen en la producción de los estudiantes de la asignatura de Física, en el curso 2017-2018. Los datos obtenidos se detallan en el cuadro que sigue (Tabla 1).

Variable	Valor
...	...
...	...
...	...

En un día representativo se efectuó un estudio de los factores que influyen en la producción de los estudiantes de la asignatura de Física, en el curso 2017-2018. Los datos obtenidos se detallan en el cuadro que sigue (Tabla 1). La producción de los estudiantes de la asignatura de Física, en el curso 2017-2018, se detallan en el cuadro que sigue (Tabla 1). La producción de los estudiantes de la asignatura de Física, en el curso 2017-2018, se detallan en el cuadro que sigue (Tabla 1). La producción de los estudiantes de la asignatura de Física, en el curso 2017-2018, se detallan en el cuadro que sigue (Tabla 1).



**MVB**= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), **MTV**=Módulo techo verde, **MTP**=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 65.** TBS interior de módulos de prueba y temperatura exterior. Día representativo (08/04/2013).

Los resultados obtenidos mostraron que el valor de mayor amortiguamiento térmico se obtuvo en el módulo con techo verde, mientras que el valor menor se obtuvo en el módulo con techo de vigueta y bovedilla (Tabla 31), lo cual indicó que el techo verde proporcionó una mayor resistencia térmica al flujo de calor, 1.82% mayor en comparación con el módulo de techo con poliestireno y 14.29% mayor que en el módulo con techo de vigueta y bovedilla.

**Tabla 31**

*Amortiguamiento de las curvas de temperatura interior en módulos de prueba (Día representativo).*

MVB		MTV		MTP	
Temperatura interior	Temperatura exterior	Temperatura interior	Temperatura exterior	Temperatura interior	Temperatura exterior
11.06	17.56	9.47	17.56	9.58	17.56
0.63		0.54		0.55	

Fuente: Elaboración propia.

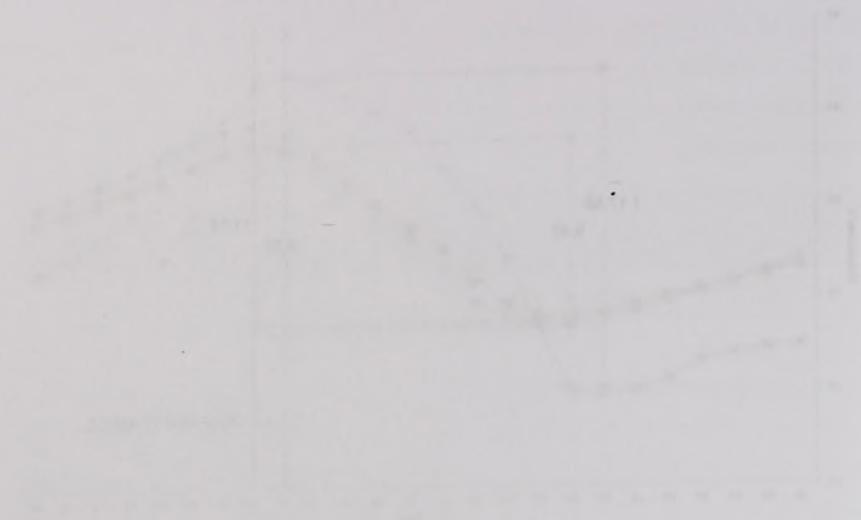


Figura 10. Evolución de la temperatura ambiente y de la temperatura de la superficie de la cubierta durante el periodo de estudio.

Los resultados obtenidos muestran que el nivel de mayor amplitud térmica se obtuvo en el módulo con fachada oeste, mientras que el nivel más bajo se obtuvo en el módulo con fachada este y de hecho (Fig. 12) que indica que el nivel más alto de temperatura se obtuvo en el módulo de fachada oeste y de hecho que en el módulo con fachada este y de hecho.

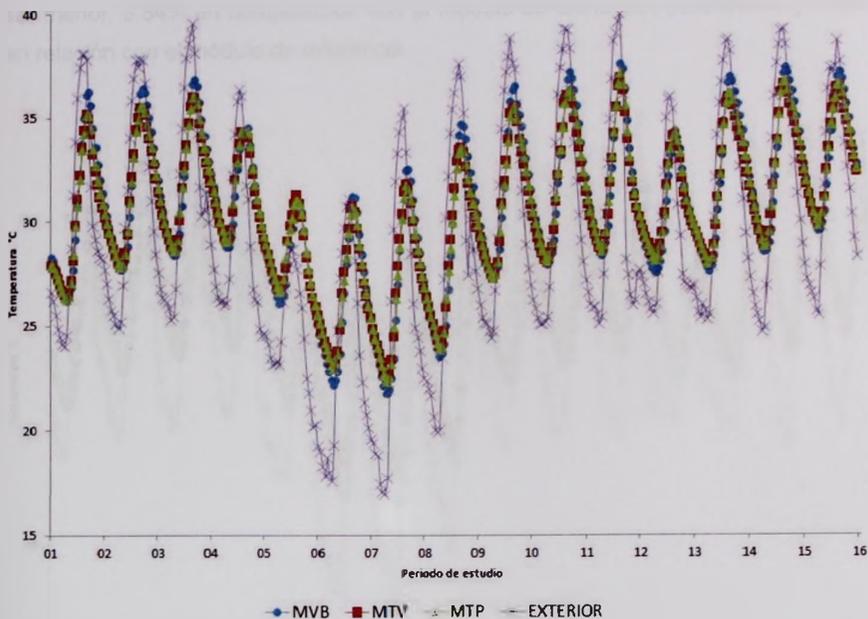
Temperatura (°C)	Temperatura ambiente	Temperatura de la superficie de la cubierta
10	10	10
15	15	15
20	20	20
25	25	25
30	30	30

En relación con las TBS máximas registradas tanto en el exterior como en el interior de los tres módulos puede mencionarse que se presentó un desfase térmico aproximado de una hora en el módulo con techo verde y que fue similar en los otros dos módulos (Figura 66).

Se observó que en las curvas de la temperatura de bulbo seco registrada en el interior de los módulos de prueba la oscilación fue similar durante este periodo de estudio (Figura 65), por lo que la transferencia de calor no se limitó por efecto de los tres tipos de techos en las horas extremas, es decir de las 5:00 a las 8:00 horas y de las 15:00 a las 17:00 horas cuando se registraron los valores máximos de TBS en el exterior, lo cual indicó que no hubo un desfase térmico entre los módulos de prueba. Sin embargo, en comparación con el exterior hubo un desfase térmico aproximado de una hora como se mencionó anteriormente.

En relación con los TSS, mediante el análisis de los datos se observó que en los tres módulos se presentaron niveles similares de exposición de una hora en el módulo de física y que los niveles en los otros dos módulos (Figura 55).

Se observó que en los cursos de la licenciatura de Física, los niveles de exposición de los módulos de física y química fueron similares a los de los módulos de física y química de los cursos de la licenciatura de Física y Química. En los cursos de la licenciatura de Física y Química, los niveles de exposición de los módulos de física y química fueron similares a los de los módulos de física y química de los cursos de la licenciatura de Física y Química. En los cursos de la licenciatura de Física y Química, los niveles de exposición de los módulos de física y química fueron similares a los de los módulos de física y química de los cursos de la licenciatura de Física y Química.



Periodo de estudio: del 01 al 15 de abril. MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 66. TBS interior de los tres módulos de prueba y TBS exterior.

Se observó que la TBS promedio de la superficie inferior del soporte estructural del módulo de referencia fue de 30.55°C, 30.24°C en el módulo con techo verde y de 30.72°C en el módulo de techo con poliestireno (Figura 67a), esto mostró que la TBS promedio de la superficie inferior del módulo con techo verde fue 1.01% menor en comparación con la TBS promedio registrada en la misma superficie del módulo de referencia y 1.56% menor en el módulo de techo con poliestireno.

En la superficie superior del soporte estructural del módulo con techo verde la TBS promedio registrada fue de 29.04°C, 30.20°C en el módulo de techo con poliestireno y de 30.34°C en el módulo con techo de vigueta y bovedilla (Figura 67b). La TBS promedio registrada en este periodo de estudio en el módulo con techo verde mostró

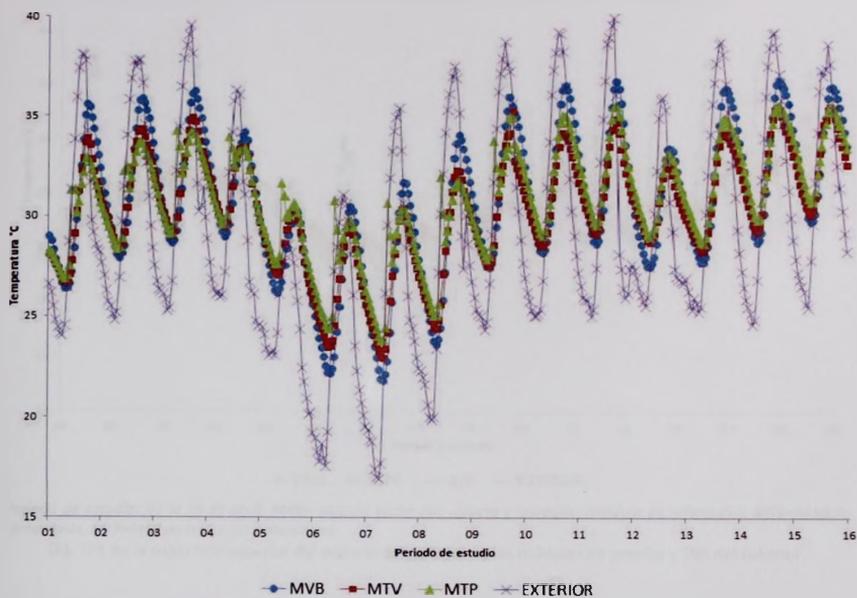


Figura 10. Gráfico de la serie de datos de la simulación de la producción de la planta de procesamiento de leche.

El objetivo de la TBS es determinar el nivel de producción que se debe tener en el momento de la simulación para que se pueda atender a la demanda de la planta de procesamiento de leche. La TBS se ejecuta en el momento de la simulación de la planta de procesamiento de leche y se ejecuta en el momento de la simulación de la planta de procesamiento de leche.

La TBS se ejecuta en el momento de la simulación de la planta de procesamiento de leche y se ejecuta en el momento de la simulación de la planta de procesamiento de leche. La TBS se ejecuta en el momento de la simulación de la planta de procesamiento de leche y se ejecuta en el momento de la simulación de la planta de procesamiento de leche.

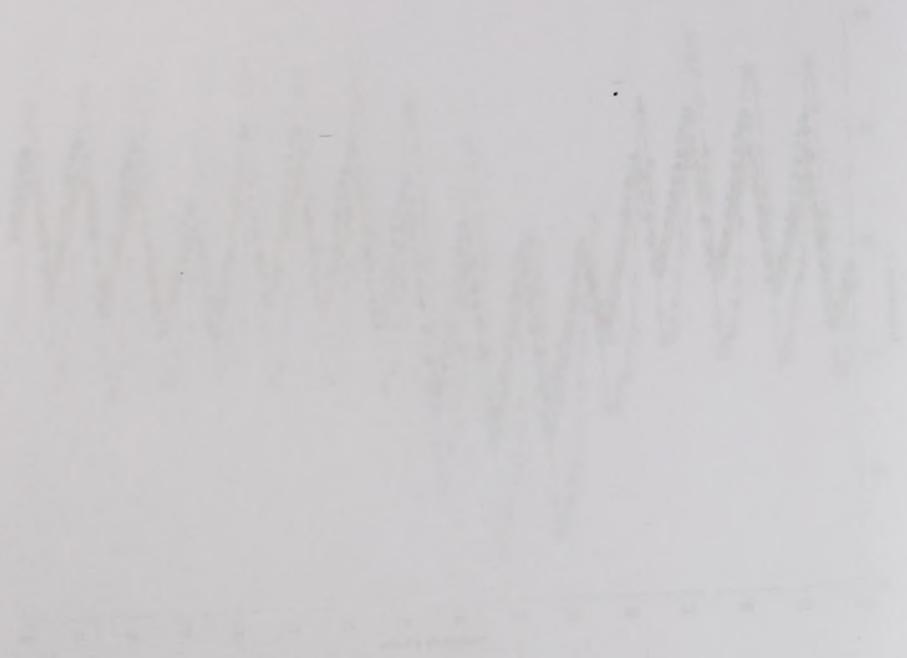
ser menor, 3.84% en comparación con el módulo de techo con poliestireno y 4.28% en relación con el módulo de referencia.



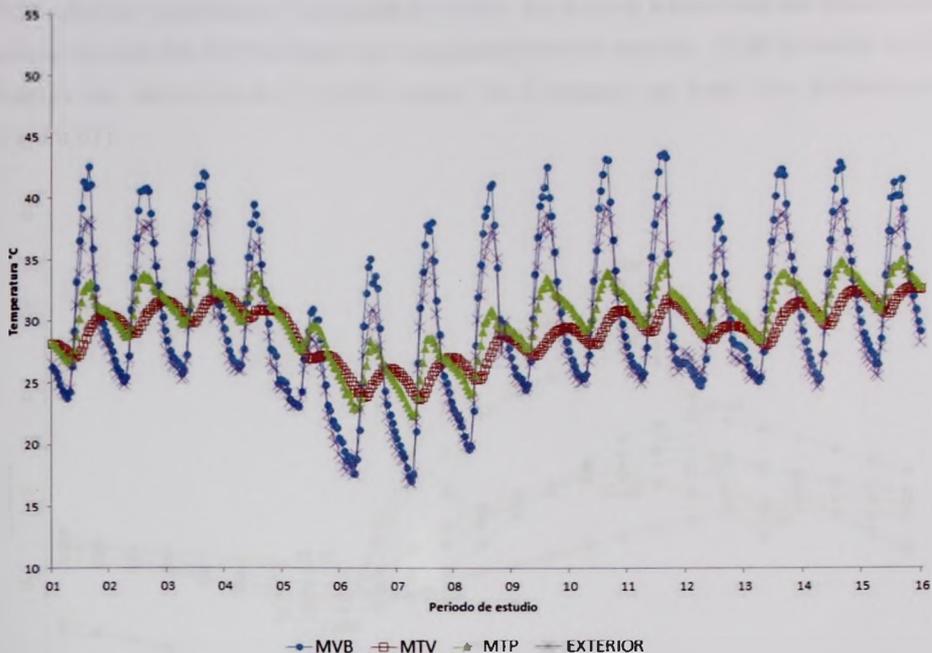
Periodo de estudio: 01 al 15 de abril, MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

(a). TBS de la superficie inferior del soporte estructural de los módulos de prueba y TBS del exterior.

Se muestra el comportamiento del módulo de los coeficientes de reflexión y transmisión en relación con el ángulo de incidencia.



El módulo de los coeficientes de reflexión y transmisión depende del ángulo de incidencia y de las propiedades físicas de los medios involucrados. En este caso, se observa un comportamiento oscilatorio que puede estar relacionado con fenómenos de interferencia o resonancia.



Periodo de estudio: 01 al 15 de abril, MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

(b). TBS de la superficie superior del soporte estructural de los módulos de prueba y TBS del exterior.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 67. Comparación de la TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural de los módulos de prueba con la TBS del exterior.

En un día representativo se compararon las TBS registradas en la superficie inferior y superior del soporte estructural de los tres módulos de prueba (Figura 68). Se observó que la TBS de la superficie superior del soporte estructural del módulo con techo verde fue menor a la TBS registrada en la misma superficie de los otros módulos.

En comparación con el exterior, se observó que la TBS máxima de la superficie superior del módulo de referencia fue 9.87% mayor, 22.59% menor en el módulo con techo verde y 17.38% menor en el módulo de techo con poliestireno. En relación a la

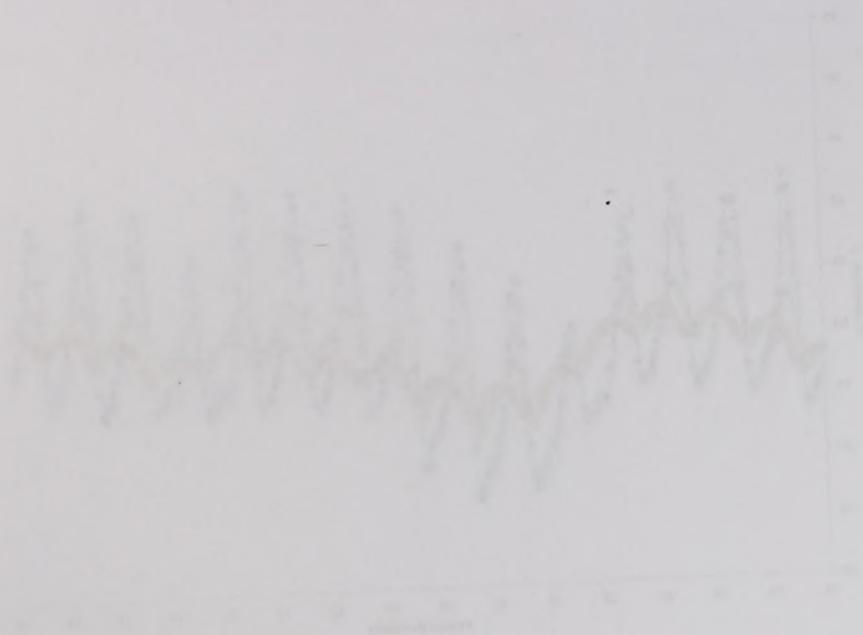
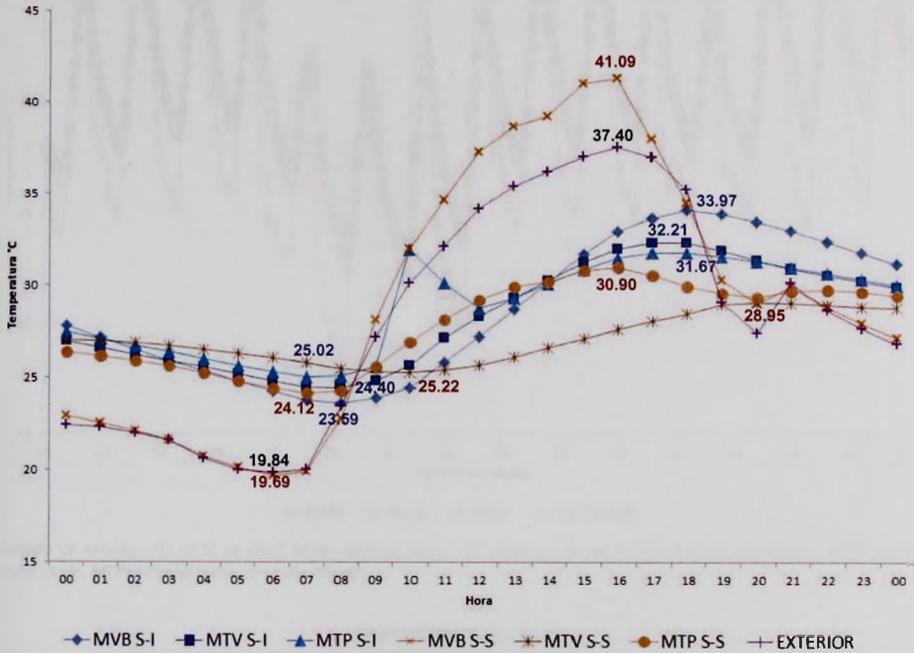


Figura 12. Comparación de la TDS de la especie en estudio con la TDS de la especie modelo. El eje X representa el tiempo en segundos y el eje Y la amplitud de la señal en voltios. La línea superior representa la TDS de la especie en estudio y la línea inferior la TDS de la especie modelo.

En la comparación de la TDS de la especie en estudio con la TDS de la especie modelo se observó que la TDS de la especie en estudio es menor que la TDS de la especie modelo. Esto se debe a que la especie en estudio tiene una estructura de la TDS más simple que la especie modelo.

En comparación con el control se observó que la TDS de la especie en estudio es menor que la TDS de la especie modelo. Esto se debe a que la especie en estudio tiene una estructura de la TDS más simple que la especie modelo.

TBS máxima registrada en la superficie inferior del soporte estructural del módulo de referencia esta fue 9.17% menor en comparación con el exterior, 13.88% menor en el módulo con techo verde y 15.32% menor en el módulo de techo con poliestireno (Figura 67).



S-I=Superficie inferior de soporte estructural, S-S= Superficie superior de soporte estructural, MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

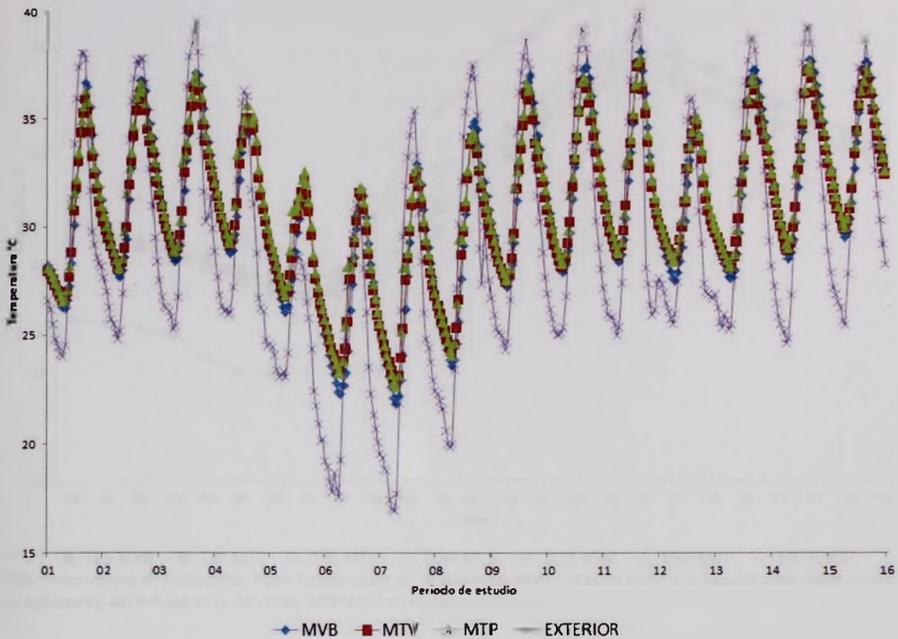
Figura 68. Comparación de la TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural de los módulos de prueba y TBS del exterior. Día representativo (08/04/2013).

En cuanto a la temperatura de globo negro (TGN), en la figura 69 se observa que en el periodo templado la TGN registrada fue similar en los tres módulos de prueba, esto debido al efecto de sus envolventes como controladores térmicos, la similitud fue mayor en los módulos con techo verde y con poliestireno.

TES máxima registrada en la estación interior del espacio estudiado del módulo de  
referencia está fue 27.2 grados en comparación con el exterior. La temperatura en el  
módulo con techo verde y 12.12% menor en la noche en comparación con el exterior.  
(Figura 67)



El gráfico muestra la temperatura de grado por hora (TGM) en la figura 67 se observa que en  
el periodo temprano la TGM disminuye la menor en los tres módulos de prueba, dato  
debido al efecto de las envolventes como controladores térmicos, lo cual influye  
positivo en los módulos con techo verde y con fachada verde.



Periodo de estudio= 01 al 15 de abril, MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 69. Temperatura de globo negro de los módulos de prueba y el exterior.

En un día representativo se comparó la TBS con la TGN registradas en el interior de los módulos de prueba (Figura 70). Se observó que en el módulo de referencia la TGN promedio fue 0.75% mayor en comparación con la TBS promedio, 1.05% mayor en el módulo con techo verde y 1.93% mayor en el módulo de techo con poliestireno. Los datos anteriores indicaron que en los tres módulos la TGN promedio fue mayor a la TBS promedio, por lo que en este periodo de estudio las envolventes emitieron radiación hacia el interior.

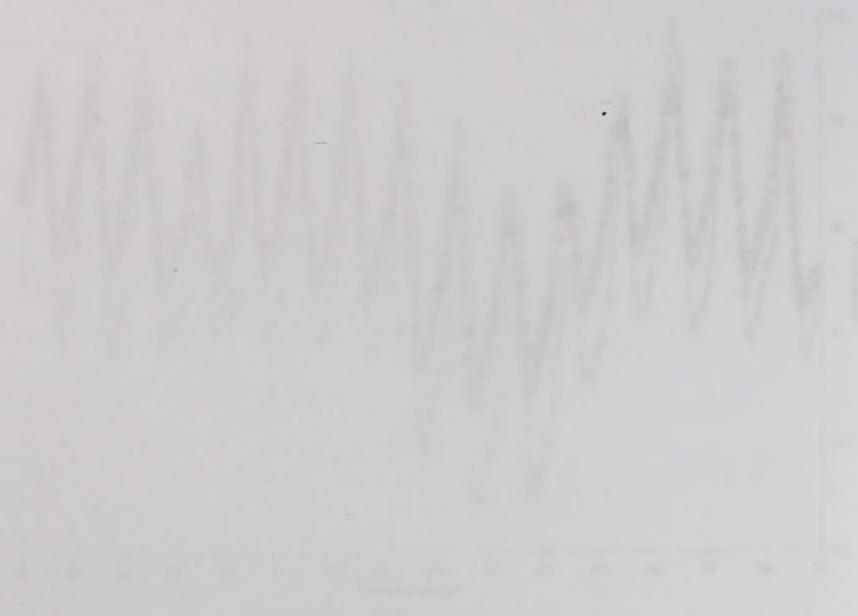
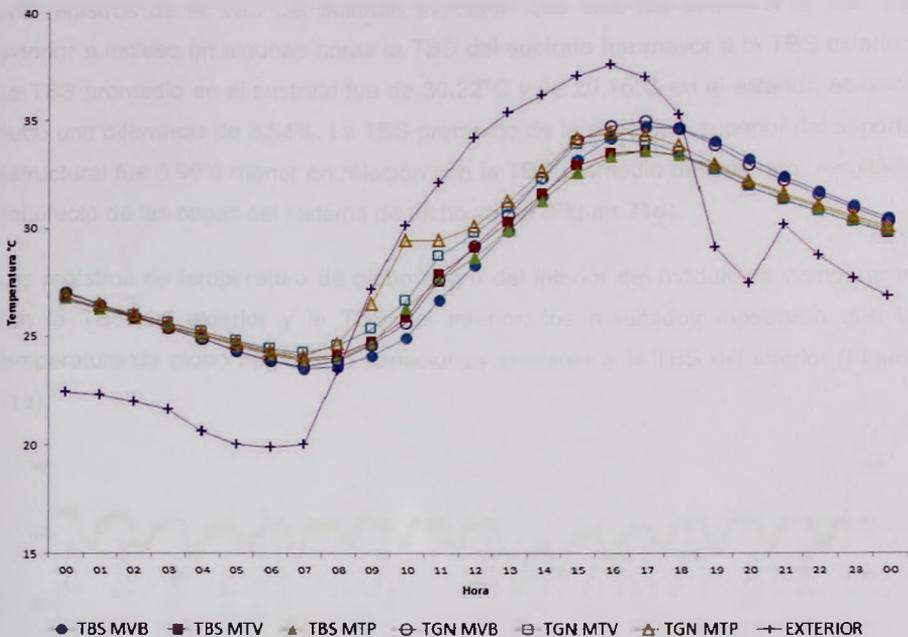


Figura 2. Señal de entrada de la red neuronal. La señal es una onda cuadrada de 10 V de amplitud y 100 Hz de frecuencia.

En el día representativo se comparó la TSS con la TGI registrada en el interior de los módulos de prueba (Figura 10). Se observó que en el módulo de referencia la TGI promedio fue 0.77% mayor en comparación con la TSS promedio, 1.12% mayor en el módulo con techo verde y 1.52% mayor en el módulo de fachada con cubierta. Los datos anteriores indican que en los módulos de TGI promedio las TSS son 1.12% menores, por lo que en este punto se están las inversiones similares respecto hacia el interior.



TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 70. Comparación de TBS con TGN del interior de los módulos de prueba y con la TBS exterior. Día representativo (08/04/2013).

## 2.2. Techo verde.

El monitoreo térmico del sistema de techo verde utilizado mostró que durante el periodo de transición la temperatura de bulbo seco (TBS) promedio interior fue 4.43% mayor en comparación con los datos registrados en el exterior (Figura 71a). Se observó también que la TBS promedio de la superficie superior del soporte estructural fue 3.97% menor que la TBS del soporte inferior (Figura 71b). La temperatura entre la capa de grava y la del sustrato presentó mayor estabilidad en comparación con la temperatura registrada en la parte superior del sustrato (Figura 71c).



Fig. 1. Dependence of the temperature of the surface of the roof on the time of day for the winter and summer periods. The upper curve corresponds to the winter period, the lower curve to the summer period.

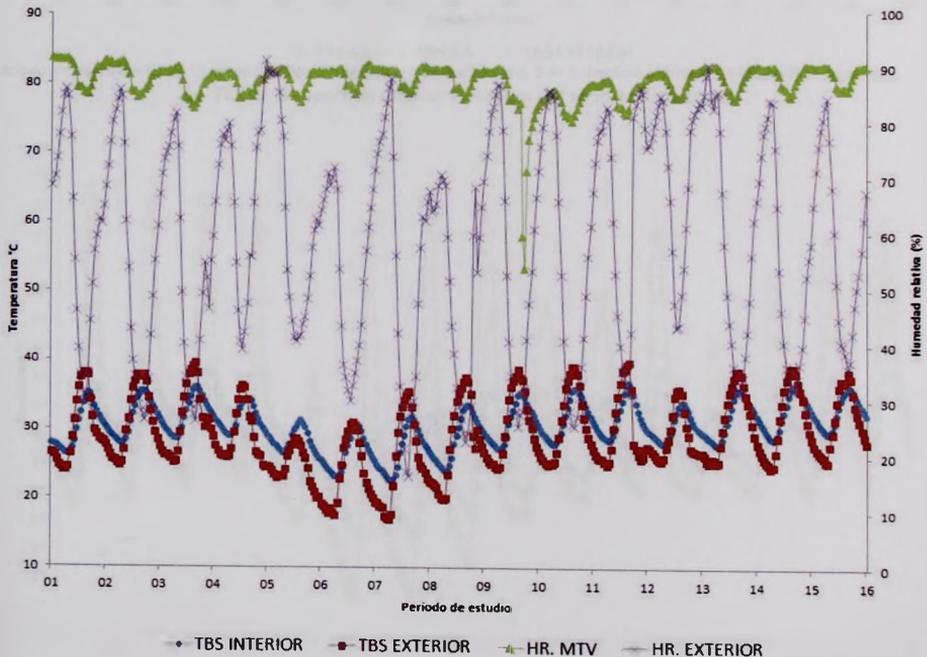
The temperature of the surface of the roof is shown in Fig. 1. It is seen that the temperature of the surface of the roof is higher in the winter than in the summer. This is due to the fact that the heat loss from the roof is smaller in the winter than in the summer.

### 3.1. Tecto verde

The maximum temperature of the surface of the roof with green roof is shown in Fig. 2. It is seen that the maximum temperature of the surface of the roof is lower in the winter than in the summer. This is due to the fact that the heat loss from the roof is smaller in the winter than in the summer.

Los registros de la TBS del sustrato indicaron que esta fue similar a la TBS del exterior e incluso en algunas horas la TBS del sustrato fue mayor a la TBS exterior. La TBS promedio en el sustrato fue de 30.22°C y de 29.15°C en el exterior, es decir hubo una diferencia de 3.54%. La TBS promedio de la superficie superior del soporte estructural fue 3.90% menor en relación con la TBS promedio del sustrato, resultado del efecto de las capas del sistema de techo verde (Figura 71d).

Los registros de temperatura de globo negro del interior del módulo se compararon con la TBS del exterior y la TBS del interior, los resultados mostraron que la temperatura de globo negro tuvo variaciones similares a la TBS del interior (Figura 71e).



*Periodo de estudio= 01 al 15 de abril, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa, MTV=Módulo techo verde.*

(a). Comparación de la TBS interior del MTV, TBS exterior, HR interior de MTV y HR exterior.

Los registros de la TBS del estado vidicon para este día son de 1982 del exterior e incluso en algunas horas la TBS del estado fue mayor que la TBS interna. La TBS promedio en el estado fue de 30.5°C y de 24.5°C en el exterior, se observó una diferencia de 3.5°C. La TBS promedio de la vivienda durante el periodo actual fue 3.60% menor en relación con la TBS promedio del estado, resultado del estado de las cosas del estado de la vivienda (Figura 1).

Los registros de temperaturas de grado negro del interior del edificio se compararon con la TBS del exterior y la TBS del estado, los resultados mostraron que la temperatura de grado negro fue variable y similar a la TBS del estado (Figura 1).

(1982)

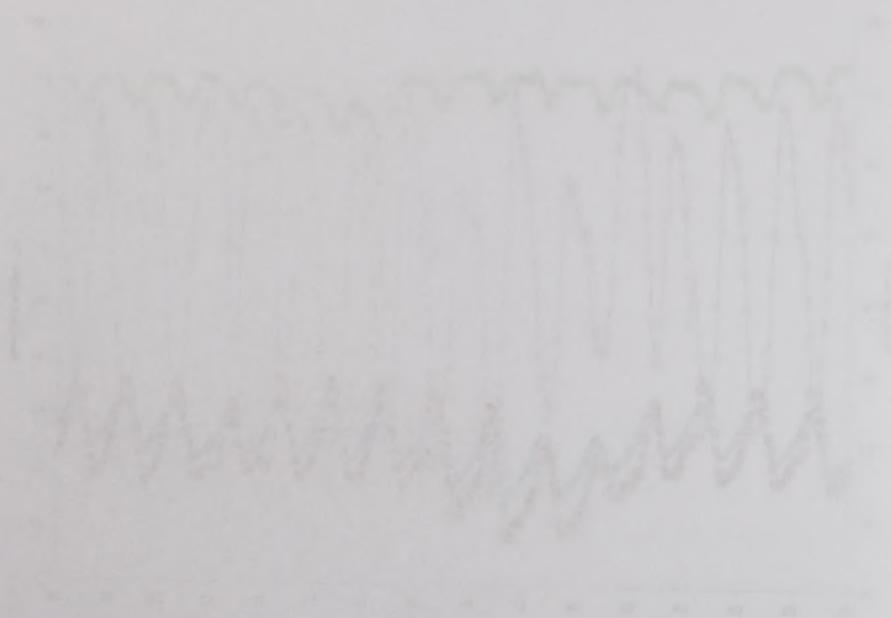
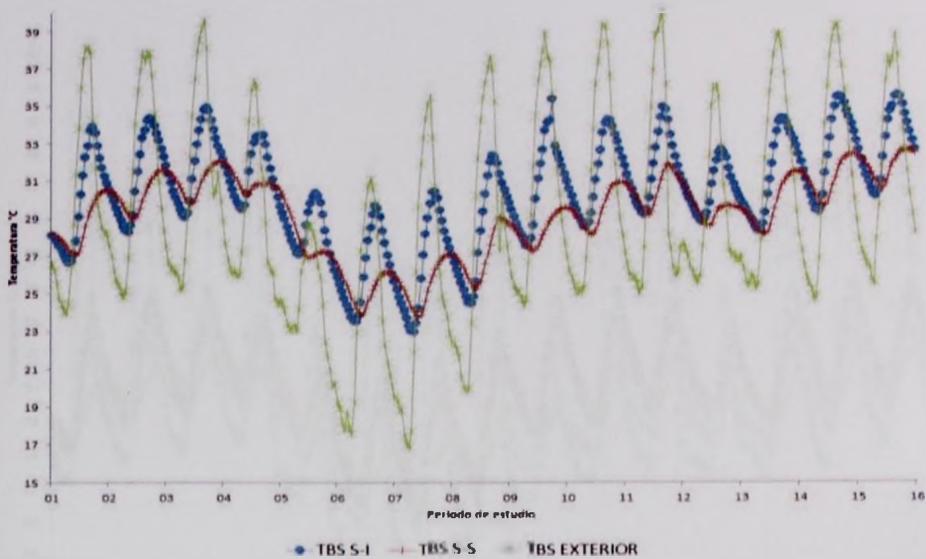
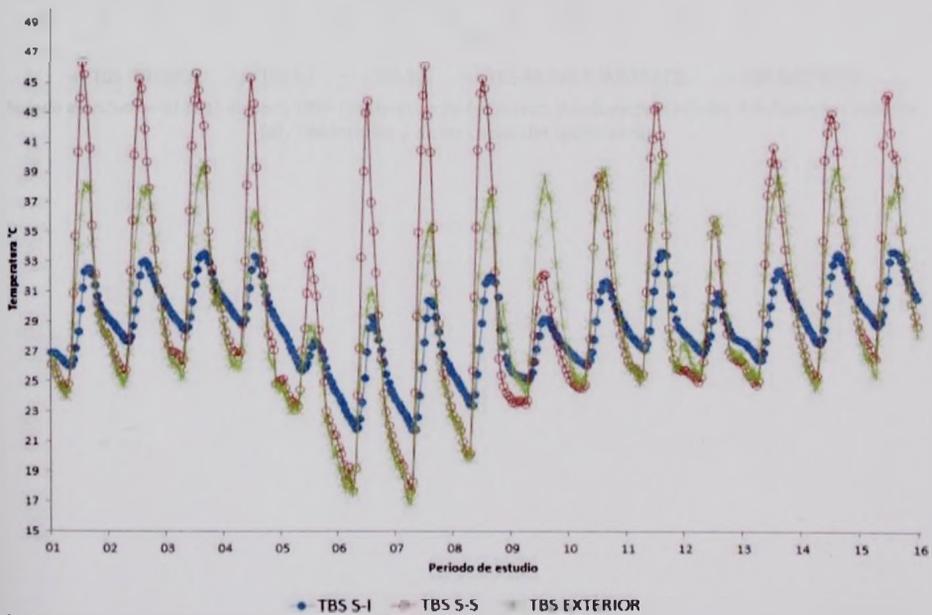


Figura 1. Temperaturas de grado negro y de estado de la vivienda y del exterior durante el periodo actual y el periodo de la vivienda (Figura 1).

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 1982



Periodo de estudio= 01 al 15 de abril, TBS= Temperatura de bulbo seco, S-I= Superficie inferior, S-S=Superficie superior.  
 b). TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural.



Periodo de estudio= 01 al 15 de abril, TBS= Temperatura de bulbo seco, S-I= Superficie inferior, S-S=Superficie superior.  
 (c). Comparación de la temperatura de la superficie inferior y superior del sustrato.

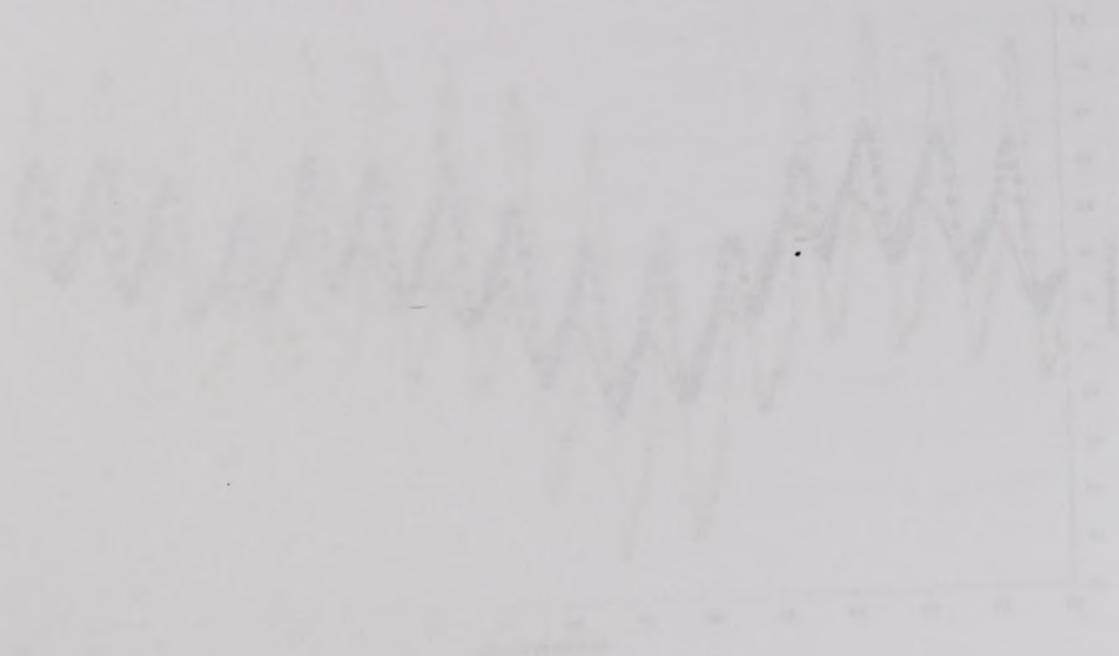


Fig. 1. Gráfico de la señal de salida de la etapa de potencia. El eje horizontal representa el tiempo en segundos (0 a 10) y el eje vertical la amplitud en voltios (0 a 10). La señal muestra una oscilación compleja con picos que alcanzan hasta 9V.

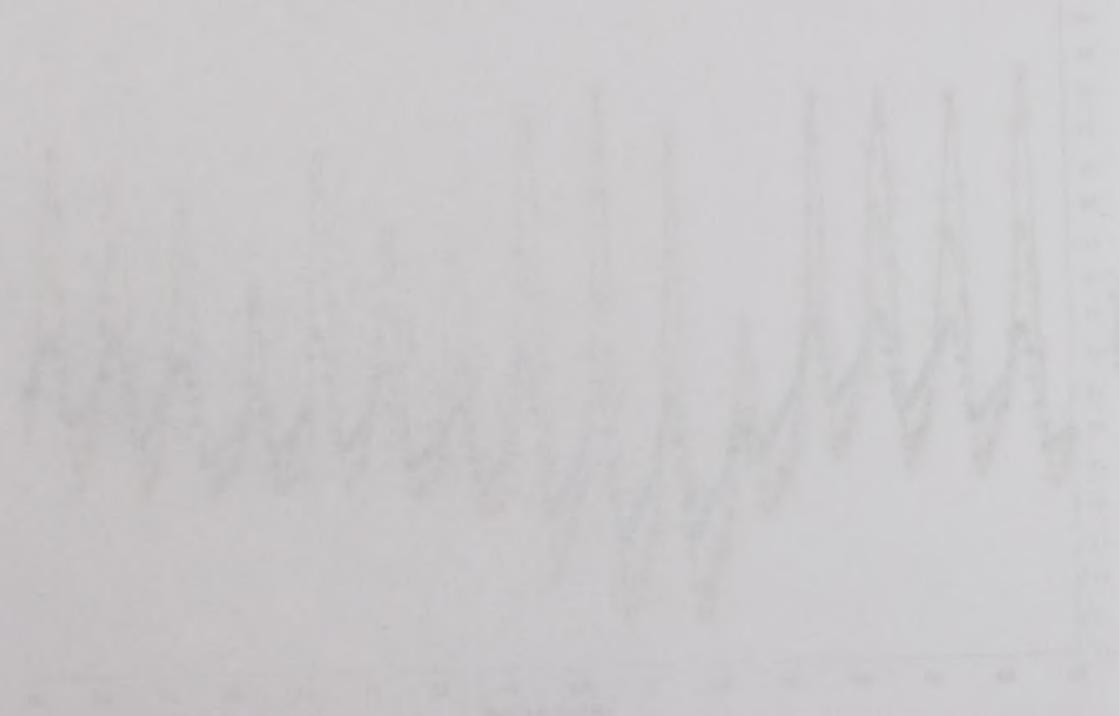
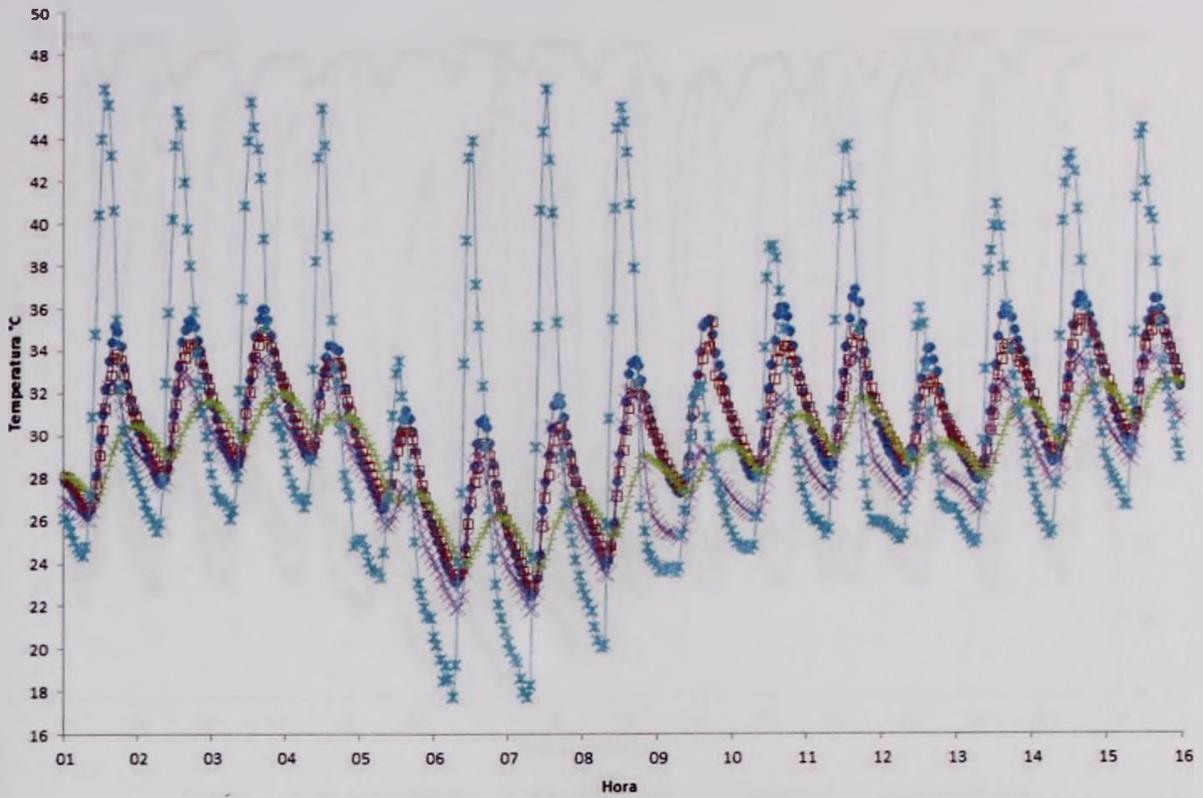


Fig. 2. Gráfico de la señal de salida de la etapa de potencia. El eje horizontal representa el tiempo en segundos (0 a 10) y el eje vertical la amplitud en voltios (0 a 10). La señal muestra una oscilación compleja con picos que alcanzan hasta 9V.



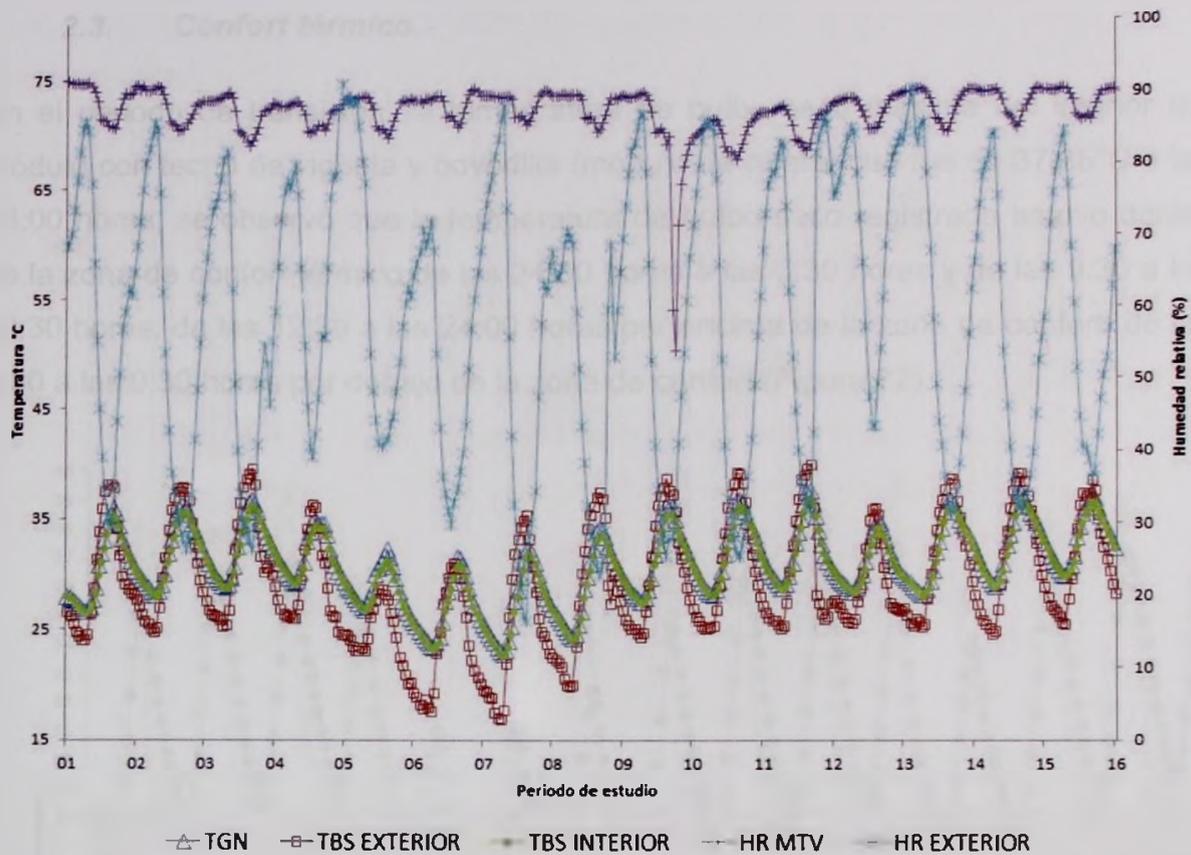
● TBS INTERIOR    ◻ TBS S-I    + TBS S-S    × TBS GRAVA Y SUSTRATO    ○ TBS SUSTRATO

Periodo de estudio= 01 al 15 de abril, TBS= Temperatura de bulbo seco, S-I= Superficie inferior, S-S=Superficie superior.

(d). TBS interior y de las capas del techo verde.



El presente informe es de carácter confidencial y no debe ser divulgado fuera del ámbito de su competencia.



Periodo de estudio= 01 al 15 de abril, TGN= Temperatura de globo negro, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa.

(e). TGN, TBS y HR exterior e interior.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 71. Desempeño térmico del módulo con techo verde.

1970 11/11

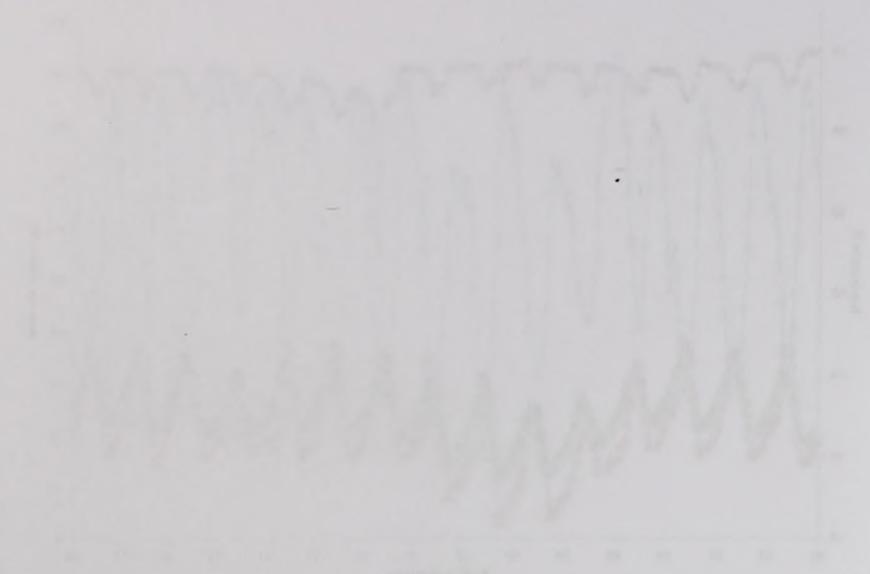
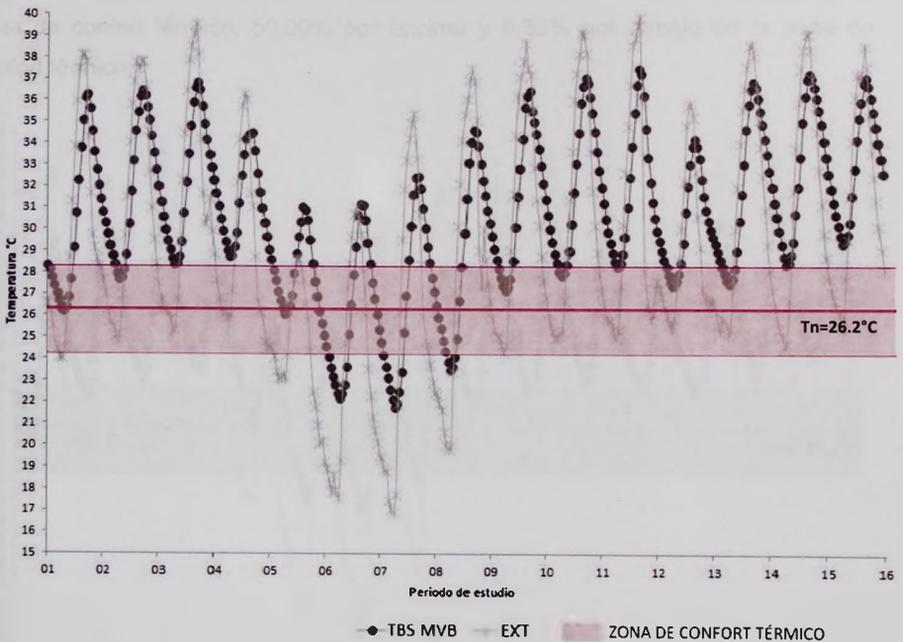


Figure 1. Comparison of the two signals. The upper trace is the reference signal and the lower trace is the signal to be compared. The two signals are shown to be very similar in shape and amplitude.

### 2.3. Confort térmico.

En el periodo de transición, la temperatura de bulbo seco máxima del interior del módulo con techo de vigueta y bovedilla (módulo de referencia) fue de 37.35°C a las 16:00 horas, se observó que la temperatura de bulbo seco registrada estuvo dentro de la zona de confort térmico de las 24:00 horas a las 5:30 horas y de las 9:30 a las 12:30 horas, de las 12:30 a las 24:00 horas por encima de la zona de confort, de las 5:30 a las 9:30 horas por debajo de la zona de confort (Figura 72).



Período de estudio= 01 al 15 de abril, TBS= Temperatura de bulbo seco, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 72. Temperatura de bulbo seco interior de MVB y zona de confort térmico.

Lo anterior indicó que en el módulo de referencia la temperatura de bulbo seco registrada durante el periodo templado estuvo 35.42% de las horas de un día dentro

En el periodo de transición la temperatura de fondo será máxima del día en el módulo con techo de vigas y máxima también del ambiente por las 12:30 y las 15:00 horas, se observó que la temperatura de fondo será máxima entre dentro de la zona de confort térmico de las 14:00 horas a las 15:00 horas y en las 17:30 a las 19:00 horas, de las 12:30 a las 14:00 horas por dentro de la zona de confort de las 19:00 a las 21:30 horas por debajo de la zona de confort (Fig. 13).

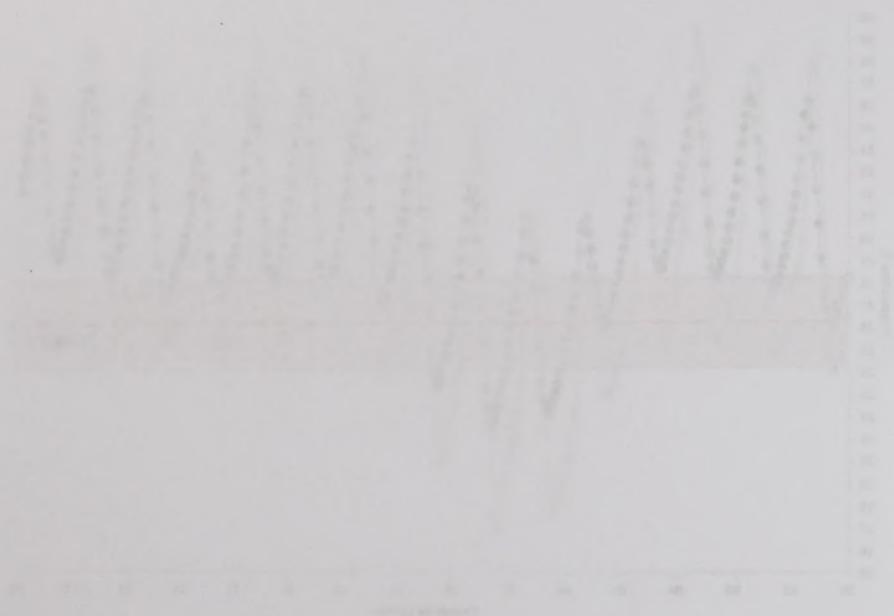
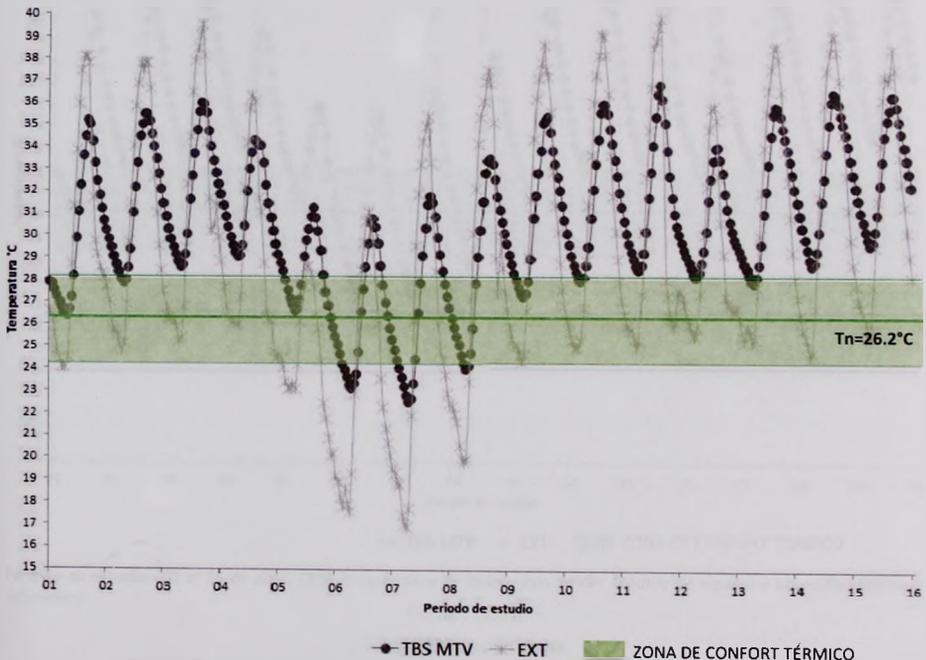


Figura 13. Evolución de la temperatura de fondo en el módulo con techo de vigas durante el periodo de transición. La zona de confort térmico se encuentra entre 20°C y 25°C.

La anterior indica que en el módulo de referencia la temperatura de fondo está en su punto más bajo durante el periodo transitorio entre 06:00 de las horas de la mañana

de la zona de confort térmico, 47.92% por encima y 16.67% por debajo de la zona de confort térmico.

En el módulo con techo verde, la temperatura de bulbo seco interior máxima fue de 36.69°C a las 16:00 horas del día, los datos registrados indicaron que la temperatura estuvo dentro de la zona de confort de las 24:00 a las 6:30 horas y de las 8:30 a las 12:00 horas, de las 12:00 a las 24:00 horas por encima de la zona de confort, de las 6:30 a las 8:30 horas por debajo de la zona de confort térmico (Figura 73). Un 41.67% de las horas la temperatura de bulbo seco del interior estuvo dentro de la zona de confort térmico, 50.00% por encima y 8.33% por debajo de la zona de confort térmico.



Período de estudio= 01 al 15 de abril, TBS= Temperatura de bulbo seco, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 73. Temperatura de bulbo seco interior de MTV y zona de confort térmico.

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
LIBRARY

de la zona de control térmico. El 15 de mayo se realizó un estudio de la zona de control térmico.

En el módulo con techo verde se realizaron los siguientes trabajos: se instalaron sensores de temperatura en la zona de control térmico y se realizó un estudio de la zona de control térmico. El 15 de mayo se realizó un estudio de la zona de control térmico. El 15 de mayo se realizó un estudio de la zona de control térmico.

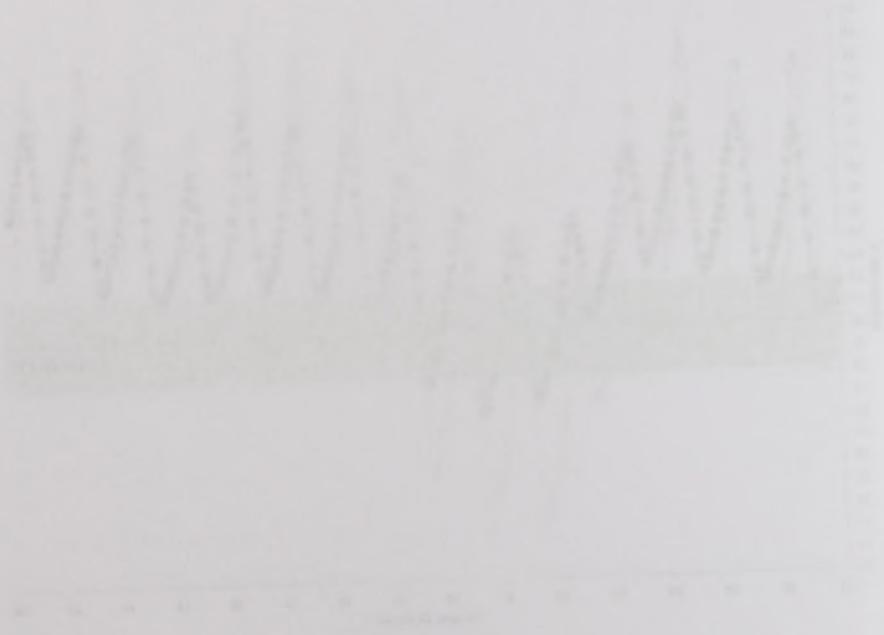
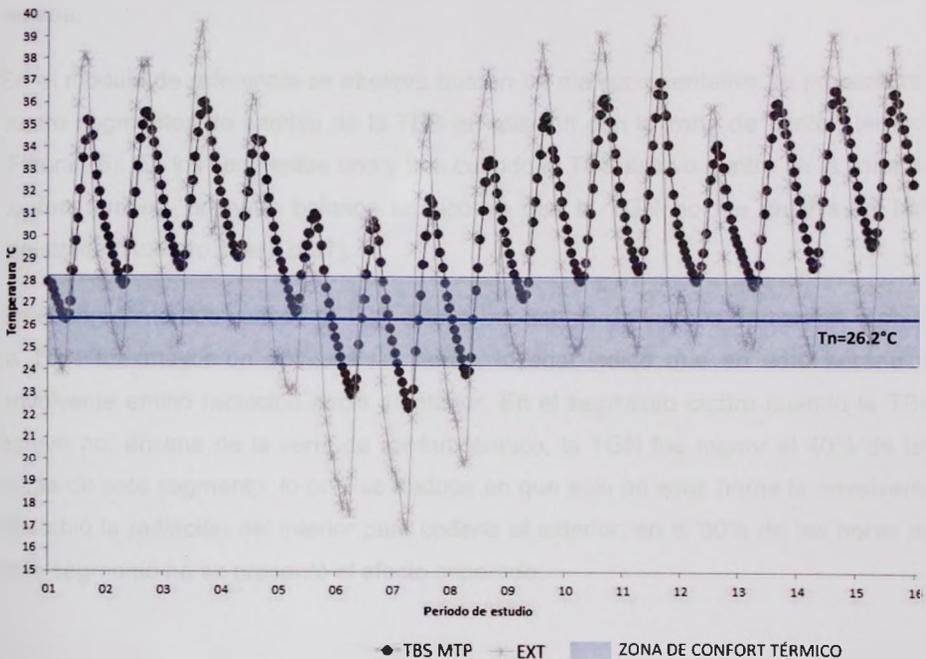


Figura 15. Temperaturas de la zona de control térmico en el módulo con techo verde.

La temperatura de bulbo seco máxima del interior del módulo con techo de poliestireno fue de 36.92°C registrada a las 16:00 horas. Durante este periodo se observó que de las 6:00 a las 9:00 horas la temperatura del interior estuvo por debajo de la zona de confort térmico, de las 24:00 a las 6:00 horas y de las 9:00 a las 12:30 horas en la zona de confort térmico y de las 12:30 a las 24:00 horas por encima de la zona de confort térmico (Figura 74). Un 39.58% de las horas dentro de la zona de confort térmico, 47.92% por encima y 12.50% por debajo de la zona de confort térmico.



*Periodo de estudio= 01 al 15 de abril, TBS= Temperatura de bulbo seco, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).*

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 74.** Temperatura de bulbo seco interior de MTP y zona de confort térmico.

La temperatura de bulbo seco registrada en el interior del módulo con techo verde estuvo 17.65% más horas del día dentro de la zona de confort térmico en



comparación con la temperatura de bulbo seco registrada en el módulo de referencia y 5.28% más horas en comparación con el módulo de techo con poliestireno.

En un día representativo (08/04/2013) se analizó la temperatura de globo negro (TGN) y la temperatura de bulbo seco (TBS), registradas en el interior de los módulos de prueba, en relación con la zona de confort térmico para verano estimada para la ciudad de Mérida, Yucatán y de acuerdo con las condiciones de desempeño térmico de un edificio mencionadas en Romero et al. (2007), que permitieron realizar un análisis preliminar del desempeño térmico de las envolventes de los módulos de prueba.

En el módulo de referencia se observó que en un día representativo se presentaron cuatro segmentos de cambio de la TBS en relación con la zona de confort térmico (Figura 75). En los segmentos uno y tres cuando la TBS estuvo dentro de la zona de confort térmico, no hubo balance térmico ya que la TGN no fue igual a la TBS registrada (Romero et al., 2007).

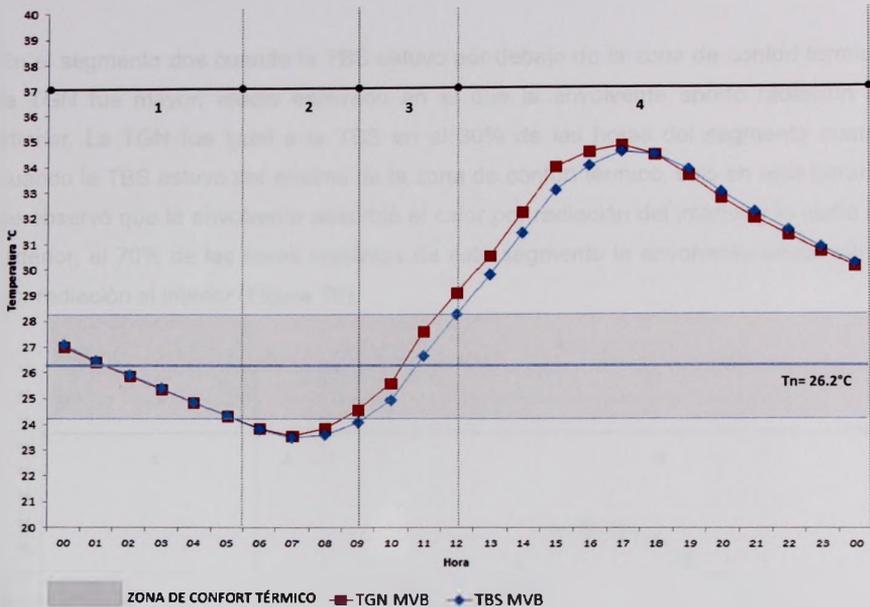
En el segmento dos cuando la TBS estuvo por debajo de la zona de confort térmico la TGN fue mayor un 50% de las horas, lo cual indicó que en este horario la envolvente emitió radiación hacia el interior. En el segmento cuatro cuando la TBS estuvo por encima de la zona de confort térmico, la TGN fue menor el 40% de las horas de este segmento, lo cual se traduce en que solo en esas horas la envolvente absorbió la radiación del interior para cederla al exterior, en el 60% de las horas de este segmento no se presentó el efecto esperado.

comparación con la temperatura de fondo se registró en el módulo de referencia y 2.33% más tarde en comparación con el módulo de fondo con polarización.

En un día representativo (08-7-2015) se midió la temperatura de fondo negro (TGN) y la temperatura de fondo blanco (TGB) registradas en el interior de los módulos de prueba, en relación con la zona de control blanco, como se muestra en el gráfico de la Figura 10. Se puede observar que la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco en los módulos de prueba son similares a la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco en el módulo de referencia en Roma y el módulo de referencia en Roma, que también se muestran en el gráfico de la Figura 10. Se puede observar que la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco en los módulos de prueba son similares a la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco en el módulo de referencia en Roma y el módulo de referencia en Roma.

En el módulo de referencia se observó un efecto que se ve en los experimentos de referencia como se muestra en la Figura 11. En el módulo de control blanco, la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco son similares a la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco en el módulo de referencia en Roma y el módulo de referencia en Roma. En el segmento 100 y 100, la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco son similares a la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco en el módulo de referencia en Roma y el módulo de referencia en Roma.

En el segmento dos, la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco son similares a la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco en el módulo de referencia en Roma y el módulo de referencia en Roma. En el segmento 100 y 100, la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco son similares a la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco en el módulo de referencia en Roma y el módulo de referencia en Roma. En el segmento 100 y 100, la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco son similares a la temperatura de fondo negro y la temperatura de fondo blanco en el módulo de referencia en Roma y el módulo de referencia en Roma.



TBS= Temperatura de bulbo seco, Tn= Temperatura neutral, TGN= Temperatura de globo negro, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 75. TGN y rangos de confort térmico. MVB en un día representativo (08/04/2013).

En el módulo con techo verde se presentaron cuatro segmentos de cambio de la TBS en relación con la zona de confort térmico (Figura 76). En los segmentos uno y tres la TBS estuvo dentro de la zona de confort térmico, sin embargo la TGN fue mayor, por lo que no se presentó un efecto de balance térmico y la envolvente del módulo emitió calor por radiación al interior.

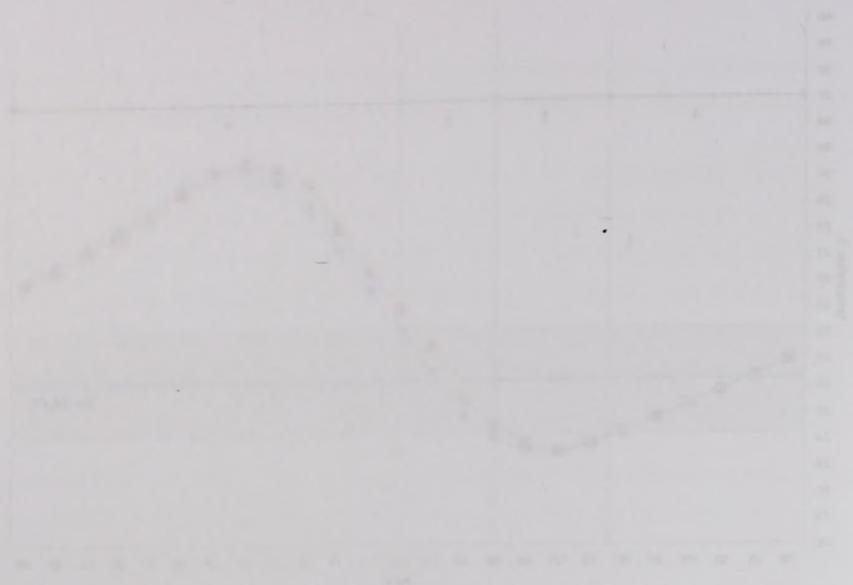
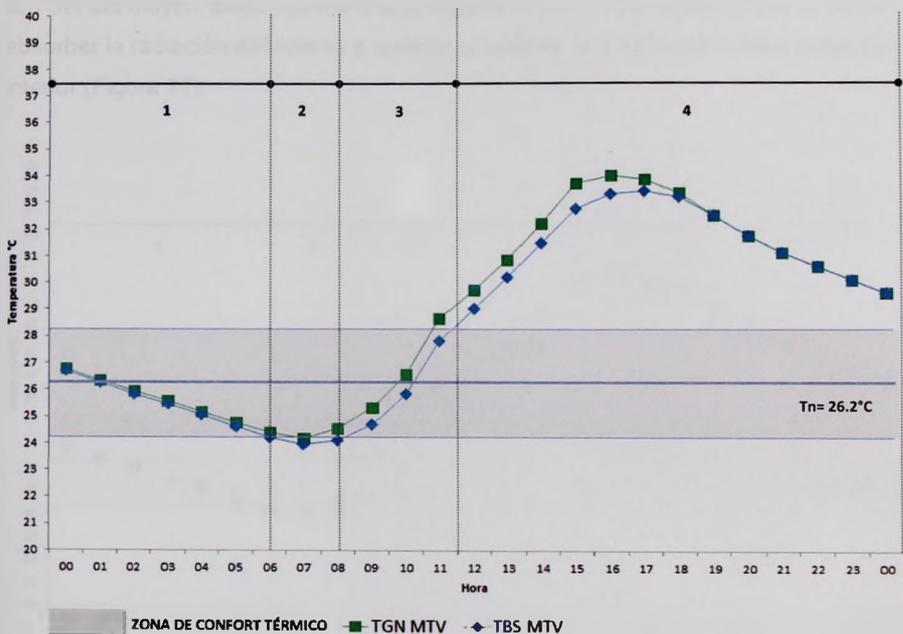


Figura 1. Gráfico de la temperatura en función del tiempo. El eje vertical representa la temperatura en grados Celsius, y el eje horizontal representa el tiempo en minutos. La curva muestra un aumento de temperatura hasta un punto máximo, seguido de una disminución hasta un punto mínimo, y finalmente un aumento gradual.

Este módulo con fecha de inicio de la actividad se realizó con el propósito de evaluar el nivel de comprensión de los estudiantes en relación con la teoría de la relatividad. El objetivo principal de esta actividad es proporcionar a los estudiantes una experiencia práctica que les permita comprender mejor los conceptos de la relatividad. La actividad se realizó en un aula de física y se dividió en grupos de trabajo. Los estudiantes realizaron una serie de experimentos y cálculos que les permitieron verificar algunas de las predicciones de la relatividad. Los resultados de la actividad fueron muy positivos y los estudiantes mostraron un gran interés en el tema. La actividad fue muy educativa y les permitió aplicar los conocimientos que habían adquirido en clase.

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 DIVISIÓN DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS BÁSICAS  
 LABORATORIO DE FÍSICA

En el segmento dos cuando la TBS estuvo por debajo de la zona de confort térmico la TGN fue mayor, efecto esperado en el que la envolvente aportó radiación al interior. La TGN fue igual a la TBS en el 30% de las horas del segmento cuatro cuando la TBS estuvo por encima de la zona de confort térmico, solo en este horario se observó que la envolvente absorbió el calor por radiación del interior y lo cedió al exterior, el 70% de las horas restantes de este segmento la envolvente emitió calor por radiación al interior (Figura 76).



TBS= Temperatura de bulbo seco, Tn= Temperatura neutral, TGN= Temperatura de globo negro, MTV= Módulo con techo verde.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 76. TGN y rangos de confort térmico. MTV en un día representativo (08/04/2013).

En cuanto al módulo de techo con poliestireno, la TBS en un día representativo cambió en relación con la zona de confort térmico en cuatro segmentos (Figura 77). En el segmento dos la TBS estuvo por debajo del límite inferior de la zona de confort

En el segmento dos cuando la TSS estuvo por debajo de la zona de control térmico la TGM fue mayor, siendo superior en el día de mayor grado térmico al interior. La TGM fue casi a la TSS en el 50% de los días de estudio, cuando la TSS estuvo por encima de la zona de control térmico, solo en estos días se observó que la energía térmica al caer por debajo de la zona de control térmico en TSS de las horas restantes de este segmento de estudio por colación al interior (Figura 7).



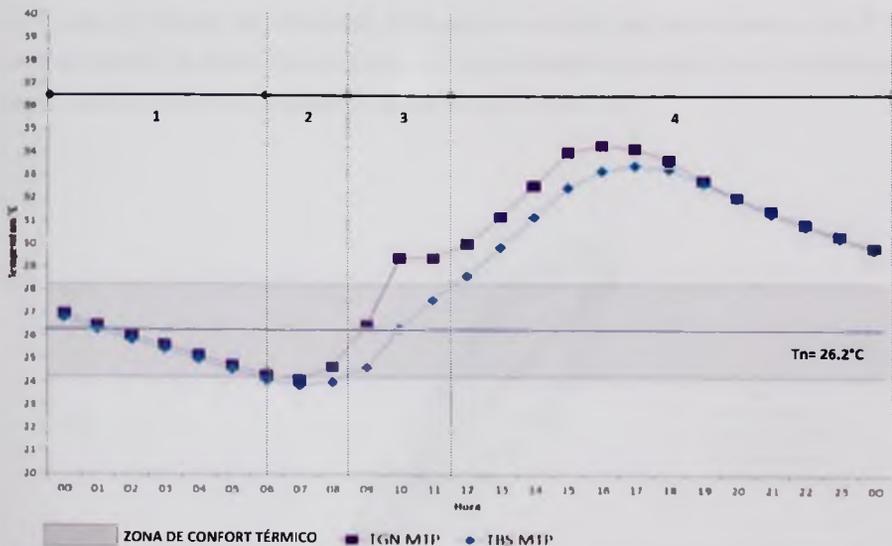
Figura 7. TGM y TSS en el segmento dos. TSS: Temperatura de la Superficie del Suelo; TGM: Temperatura de la Masa del Suelo.

En cuanto al modo de lecto del polietileno, la TSS en la zona de control térmico estuvo en relación con la zona de control térmico en estos segmentos (Figura 7). En el segmento dos la TSS estuvo por debajo del límite inferior de la zona de control

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 DIVISIÓN DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS  
 LABORATORIO DE CLIMATOLOGÍA Y METEOROLOGÍA

térmico y en estas horas la TGN fue mayor, efecto que indicó que la envolvente del módulo emitió radiación hacia el interior y que las personas tendrían que añadir esos valores de ganancia de temperatura a su propio balance térmico fisiológico.

En los segmentos uno y tres cuando la TBS estuvo dentro de la zona de confort térmico la TGN fue mayor, efecto que indicó que la envolvente emitió en esas horas radiación al interior del módulo y por lo tanto no se presentó un balance térmico. En el segmento cuatro, cuando la TBS estuvo por encima de la zona de confort térmico la TGN fue mayor, efecto contrario a lo esperado, pues esto significa que en lugar de absorber la radiación del interior y cederla al exterior la envolvente emitió radiación al interior (Figura 77).



TBS= Temperatura de bulbo seco, Tn= Temperatura neutra, TGN= Temperatura de globo negro, MTP= Módulo de techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 77. TGN y rangos de confort térmico. MTP en un día representativo (08/04/2013).

formica y en estas zonas la TGM del interior, siendo que tanto que el desarrollo del módulo emite radiación hacia el exterior y más las condiciones también que afecta gran valores de ganancia de temperatura a un grupo de zonas también también.

En los segmentos más y más valores la TGM estuvo dentro de la zona de confort térmico la TGM fue mayor, debido que tanto que el ambiente emite en esas horas radiación al interior del módulo, por lo tanto se ve reflejado un balance térmico. En el segmento central, cuando la TGM estuvo en una zona de confort térmico la TGM fue mayor, debido que tanto que el ambiente emite en esas horas radiación al interior del módulo y cuando se ve reflejado un balance térmico al exterior (Figura 77).

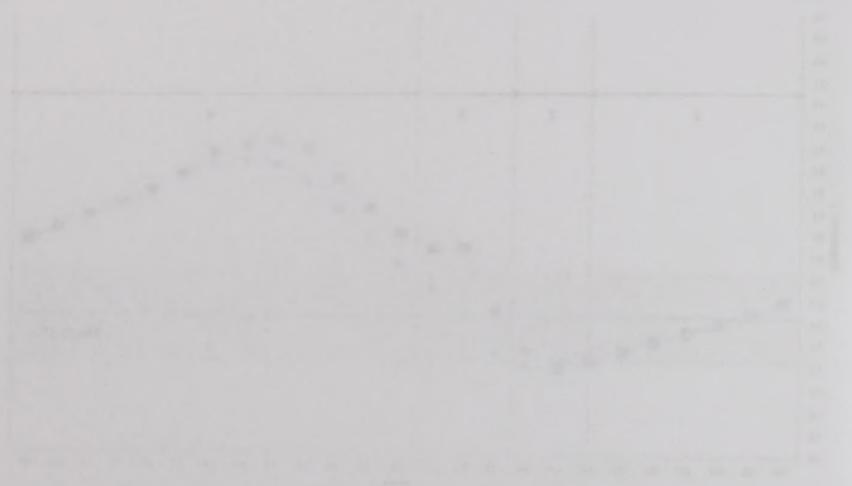


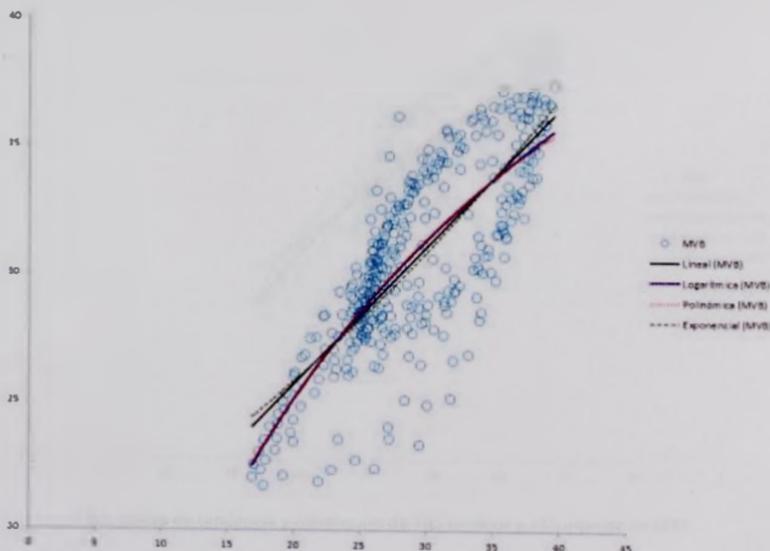
Figura 77. Gráfico de líneas que muestra la variación de la temperatura (TGM) en el interior del módulo durante un día completo. El eje horizontal representa el tiempo en horas (de 0 a 24) y el eje vertical representa la temperatura en grados Celsius (de 18 a 32). La línea muestra un ciclo diurno claro, con un pico de temperatura de aproximadamente 31°C a las 14:00 horas y un mínimo de aproximadamente 19°C a las 06:00 horas.

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
 VENEZUELA  
 CAROLINA GARCÍA  
 2014

## 2.4. Correlación.

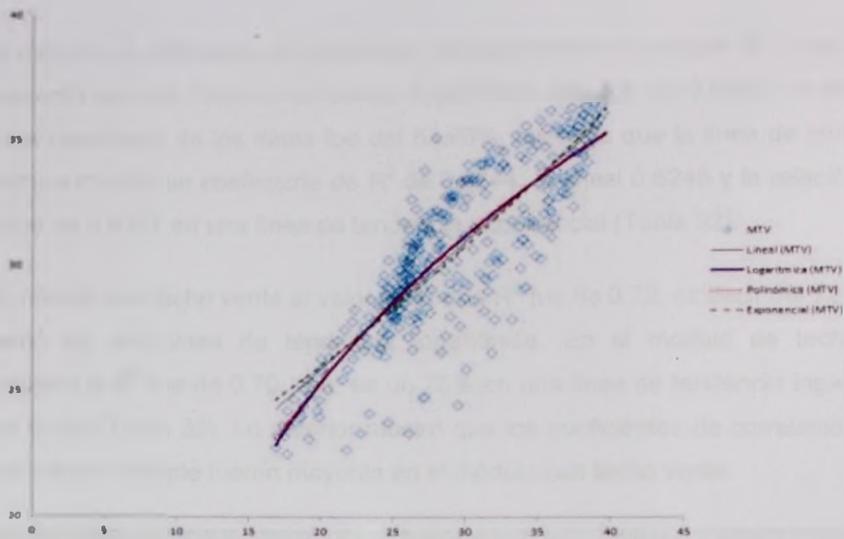
En este apartado se presentan las gráficas de dispersión obtenidas con base en los datos registrados en un periodo de transición templado-cálido, para determinar la correlación de las temperaturas de bulbo seco registradas en el interior de los módulos de prueba (Variable dependiente) con la temperatura de bulbo seco del exterior (Variable independiente). Se incluyeron cuatro tipos de línea de tendencia: 1) Lineal, 2) Logarítmica, 3) Polinómica y 4) Exponencial que dieron como resultado cuatro fórmulas de regresión.

Las gráficas mostraron que el coeficiente de correlación entre la temperatura de bulbo seco exterior y la temperatura de bulbo seco del interior de los módulos fue de 0.79 para el módulo de referencia, 0.84 para el módulo con techo verde y de 0.83 para el módulo de techo con poliestireno. La correlación fue mayor en el módulo con techo verde y menor en el módulo de referencia (Figura 78).

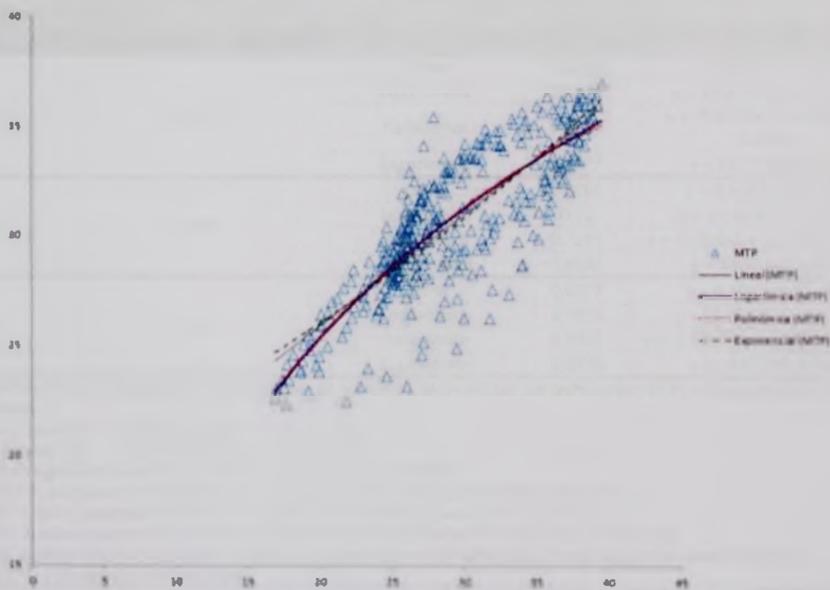


(a). Líneas de tendencia y correlación de TBS exterior y TBS interior de MVB.





(b). Líneas de tendencia y correlación de TBS exterior y TBS interior de MTV.



(c). Líneas de tendencia y correlación de TBS exterior y TBS interior de MTP.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 78. Líneas de tendencia y correlación de módulos de prueba.



The graph shows the trend of the variable over the period 1980-2000.



The graph shows the trend of the variable over the period 1980-2000.

The graph shows the trend of the variable over the period 1980-2000.

En el módulo de referencia, el coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) más fuerte se presentó en una línea de tendencia logarítmica que fue de 0.6360, es decir, la relación estadística de los datos fue del 63.60%, mientras que la línea de tendencia polinómica mostró un coeficiente de  $R^2$  de 0.6344, la lineal 0.6246 y la relación más débil fue de 0.6157 en una línea de tendencia exponencial (Tabla 32).

En el módulo con techo verde el valor mayor de  $R^2$  fue de 0.72, es decir del 72% y se presentó en una línea de tendencia logarítmica. En el módulo de techo con poliestireno la  $R^2$  fue de 0.70, esto es un 70% en una línea de tendencia logarítmica de los datos (Tabla 32). Lo anterior mostró que los coeficientes de correlación y de determinación múltiple fueron mayores en el módulo con techo verde.

**Tabla 32**

*Periodo de transición. Coeficiente de correlación de Pearson,  $R^2$  y regresión entre la temperatura de bulbo seco interior y el exterior.*

Módulo	Coeficiente de correlación*	Línea de tendencia	$R^2$	Ecuación de regresión
MVB	0.79	Lineal	0.6246	$y = 0.5321x + 15.012$
		Logarítmica	0.6360	$y = 15.276\ln(x) - 20.724$
		Polinómica	0.6344	$y = -0.0109x^2 + 1.1756x + 5.8534$
		Exponencial	0.6157	$y = 18.073e0.0177x$
MTV	0.84	Lineal	0.7101	$y = 0.5042x + 15.736$
		Logarítmica	0.72	$y = 14.443\ln(x) - 18.02$
		Polinómica	0.7181	$y = -0.009x^2 + 1.0374x + 8.147$
		Exponencial	0.6995	$y = 18.537e0.0168x$
MTP	0.83	Lineal	0.6877	$y = 0.5051x + 15.793$
		Logarítmica	0.7004	$y = 14.502\ln(x) - 18.133$
		Polinómica	0.6992	$y = -0.0107x^2 + 1.1343x + 6.838$
		Exponencial	0.6779	$y = 18.573e0.0168x$

**Nota.** MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia), MTV= Módulo con techo verde y MTP= Módulo de techo con poliestireno.

\* Si  $R = 1$ , existe una correlación positiva perfecta entre X e Y

Si  $R = -1$ , existe una correlación negativa perfecta entre X e Y

Si  $R = 0$ , no existe correlación lineal, pudiendo existir otro tipo de relación

Si  $-1 < R < 0$ , existe correlación negativa y dependencia inversa, mayor cuanto más se aproxime a -1

Si  $0 < R < 1$ , existe correlación positiva, y dependencia directa, mayor cuanto más se aproxime a 1

\*\* Si  $R^2 = 1$ , existe dependencia funcional; la totalidad de la variabilidad de Y es explicada por la regresión

Si  $R^2 = 0$ , dependencia nula; la variable explicativa no aporta información válida para la estimación de la variable explicada

Si  $R^2 \geq 0.75$ , se acepta el modelo ajustado

Fuente: Elaboración propia.

En el módulo de terreno, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) más fuerte se presentó en una línea de tendencia logarítmica que fue de 0.7047, en tanto la relación estadística de los datos fue de 0.8384, además que la línea de tendencia polinómica mostró un coeficiente de  $R^2$  de 0.6944, tanto  $R^2$  de 0.6342 y la relación estadística más débil fue de 0.8157 en una línea de tendencia exponencial (Tabla 2).

En el módulo con tacto verde el valor mayor de  $R^2$  fue de 0.473, cuando fue 1.58 y se presentó en una línea de tendencia logarítmica. En el módulo de agua con poliestireno la  $R^2$  fue de 0.70, más se usó 70% en las líneas de tendencia logarítmica (Tabla 2). La selección más fuerte que los coeficientes de correlación y de determinación múltiple fueron mayores en el módulo con tacto verde.

Módulo	Tendencia	$R^2$	Relación Estadística
Terreno	Lineal	0.473	0.8157
	Polinómica	0.6944	0.8384
	Exponencial	0.6342	0.8384
Tacto Verde	Lineal	0.473	0.8157
	Polinómica	0.6944	0.8384
	Exponencial	0.6342	0.8384
Agua con Poliestireno	Lineal	0.70	0.8384
	Polinómica	0.6944	0.8384
	Exponencial	0.6342	0.8384

Tabla 2. Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y relación estadística de los datos para las líneas de tendencia en los módulos de terreno, tacto verde y agua con poliestireno.

En cuanto a la ecuación de regresión obtenida, esta permitirá extrapolar datos en función de la variable independiente, es decir, con base en una temperatura de bulbo seco exterior dada ( $x$ ) se podrá proyectar o estimar un valor de temperatura de bulbo seco interior ( $y$ ), para diferentes periodos de estudio. Se escogería la de mejor ajuste o la que presente un valor de  $R^2$  cercano a 1 o -1, en el caso del techo verde la ecuación sería:  $y = 14.443\ln(x) - 18.02$ .

En cuanto a la ecuación de regresión obtenida, sus variables independientes, así como las variables dependientes, se describen a continuación. La variable dependiente (Y) es el número de personas que se registraron en el curso de matemáticas (Y) para distintos cursos de matemáticas, se describen a continuación. La variable independiente (X) es el número de personas que se registraron en el curso de matemáticas (X) para distintos cursos de matemáticas, se describen a continuación. La ecuación de regresión es  $y = 14.423(x) - 18.88$ .

### 3. Periodo Cálido

En el periodo cálido se analizaron más de 80,000 datos de temperatura (bulbo seco y globo negro) y humedad relativa, registrados del 20 de mayo al 04 de junio de 2013. En este periodo de monitoreo térmico el techo verde no se regó manualmente debido a las lluvias registradas en esos días.

#### 3.1. Temperatura en interiores.

En este apartado se presentan los resultados de las temperaturas de bulbo seco (TBS) registradas en el interior de los módulos de prueba en comparación con la temperatura de bulbo seco del exterior y el amortiguamiento térmico de cada módulo de prueba.

En este periodo se observó que las TBS máximas registradas en los módulos fueron inferiores a las del exterior (Tabla 33). Se obtuvo que la TBS máxima del interior del módulo con techo verde fue 8.97% menor que la TBS máxima exterior, 8.63% menor en el módulo de techo con poliestireno y en el módulo de vigueta y bovedilla 7.16% menor. En este periodo se observó también que la TBS promedio registrada en el módulo con techo verde fue 0.49% menor en comparación con los otros dos módulos de prueba.

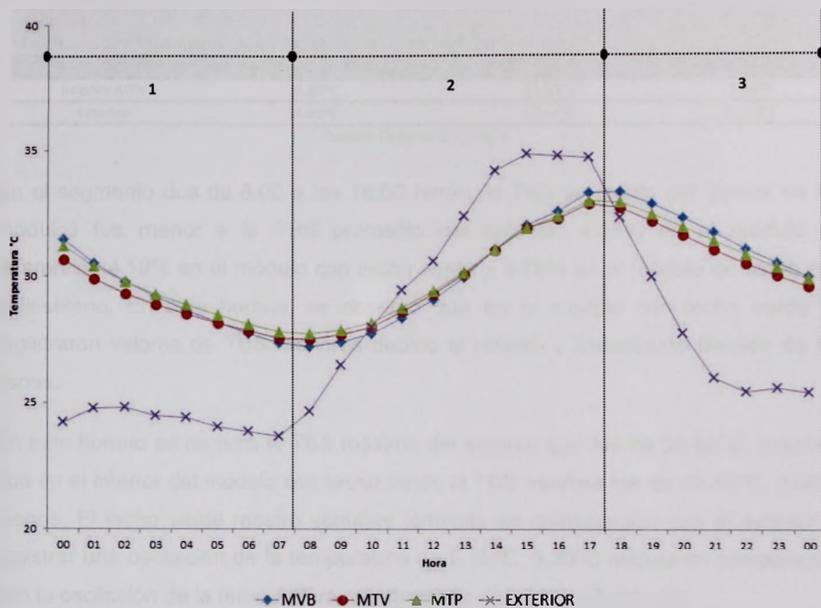
**Tabla 33**  
*Periodo cálido. Temperaturas máximas, promedio y mínimas.*

Temperaturas (°C)	Módulo techo vigueta y bovedilla (MVB)	Módulo techo verde (MTV)	Módulo techo de poliestireno (MTP)	Exterior
Máxima	39.04	38.28	38.42	42.05
Promedio	30.83	30.68	30.83	29.34
Mínima	25.53	25.79	25.65	22.62

Fuente: Elaboración propia.



Con los datos medidos en un día representativo (27/05/2013), se realizó la comparación de las TBS registradas en el interior de los módulos con las TBS del exterior. Se analizaron tres segmentos del día: 1) de 24:00 a las 8:00 horas, 2) de 8:00 a las 18:00 horas y 3) de 18:00 a las 24:00 horas (Figura 79).



MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla, MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 79. Temperatura de bulbo seco (TBS) interior de módulos de prueba y temperatura de bulbo seco exterior. Segmentos de estudio en un día representativo (27/05/2013).

En el horario de las 24:00 a las 8:00 horas se observó que la TBS promedio del interior de los módulos fue mayor a la TBS promedio del exterior: 18.83% en el módulo de referencia, 18.00% en el módulo con techo verde y 19.57% mayor en el módulo de techo con poliestireno, sin embargo, estos valores porcentuales indicaron que el techo verde mostró una TBS promedio menor en comparación con los otros dos módulos.

Con los datos medidos en un día representativo (27/07/2012) se realizó la comparación de las TBS registradas en el interior de los módulos con las TBS del exterior. Se analizaron tres segmentos del día: 1) de 06:00 a las 09:00 horas, 2) de 09:00 a las 12:00 horas y 3) de 12:00 a las 18:00 horas (Figura 10).

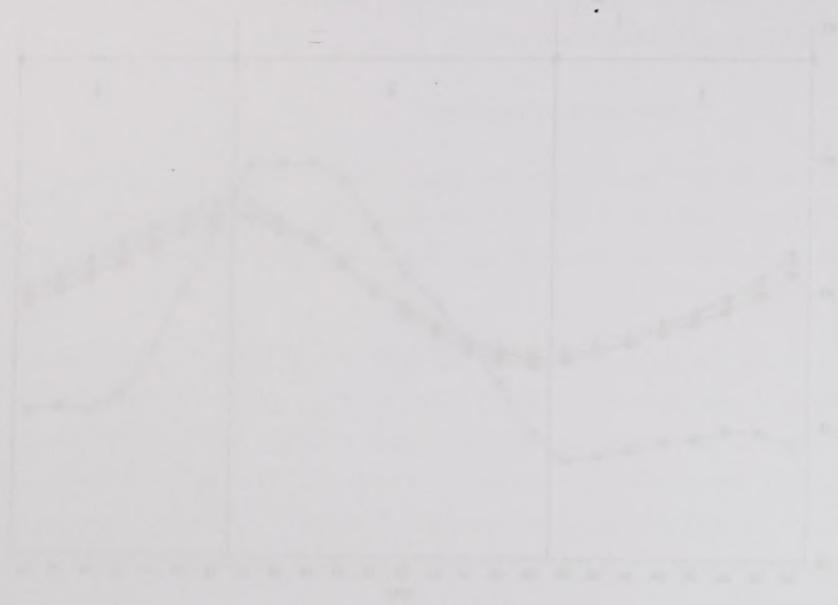


Figura 10. Evolución de la temperatura (TBS) en el interior y exterior de los módulos durante tres segmentos del día: 06:00 a las 09:00 horas, 09:00 a las 12:00 horas y 12:00 a las 18:00 horas.

En el horario de las 06:00 a las 09:00 horas se observa que la TBS promedio del interior de los módulos fue mayor a la TBS promedio del exterior (14.17°C en el módulo de referencia, 15.00°C en el módulo con techo verde y 14.67°C en el módulo de techo con estacionamiento, ver anexo), estas últimas temperaturas fueron más bajas que el techo verde debido que las TBS promedio mayor se encontraban con los otros

En este horario, en el que se registró la TBS mínima exterior del día, los resultados indicaron que en el módulo con techo verde se registró una TBS máxima de 32.85°C y una TBS mínima de 27.51°C, una diferencia de 5.34°C, mientras que en el exterior esta diferencia fue de 11.18°C (Tabla 34).

**Tabla 34**  
*Diferencia de temperaturas, de las 24:00 a las 8:00 horas. Periodo cálido.*

Espacio de medición	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Diferencia
Interior MTV	32.85°C	27.51°C	5.34°C
Exterior	34.85°C	23.67°C	11.18°C

Fuente: Elaboración propia.

En el segmento dos de 8:00 a las 18:00 horas, la TBS promedio del interior de los módulos fue menor a la TBS promedio del exterior: 4.06% en el módulo de referencia, 4.19% en el módulo con techo verde y 3.78% en el módulo de techo con poliestireno. En este horario, se observó que en el módulo con techo verde se registraron valores de TBS menores debido al retraso y aislamiento térmico de las capas.

En este horario se registró la TBS máxima del exterior que fue de 34.85°C, mientras que en el interior del módulo con techo verde la TBS máxima fue de 32.85°C, 2.00°C menos. El techo verde mostró ventajas térmicas en comparación con el exterior al registrar una oscilación de la temperatura de 5.15°C, 3.20°C menos en comparación con la oscilación de la temperatura registrada en el exterior (Tabla 35).

**Tabla 35**  
*Diferencia de temperaturas, de las 8:00 a las 18:00 horas. Periodo cálido.*

Espacio de medición	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Diferencia
Interior MTV	32.85°C	27.70°C	5.15°C
Exterior	34.85°C	26.50°C	8.35°C

Fuente: Elaboración propia.

La TBS promedio interior de los módulos registrada de las 18:00 a las 24:00 horas, fue mayor en comparación a la registrada en el exterior: La TBS promedio fue 17.77% mayor en el módulo de vigueta y bovedilla, 15.52% en el módulo con techo verde y 16.80% en el módulo de techo con poliestireno, lo anterior indicó que el

En este trabajo, se elige el registro de TBS cuando el nivel de ruido es menor que 100 dB. En el caso de que el nivel de ruido sea mayor que 100 dB, se elige el registro de TBS cuando el nivel de ruido sea menor que 100 dB. En el caso de que el nivel de ruido sea mayor que 100 dB, se elige el registro de TBS cuando el nivel de ruido sea menor que 100 dB.

Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Nivel de ruido (dB)
20	60	1.5	95
25	70	2.0	100
30	80	2.5	105

En el experimento, se elige el registro de TBS cuando el nivel de ruido es menor que 100 dB. En el caso de que el nivel de ruido sea mayor que 100 dB, se elige el registro de TBS cuando el nivel de ruido sea menor que 100 dB. En el caso de que el nivel de ruido sea mayor que 100 dB, se elige el registro de TBS cuando el nivel de ruido sea menor que 100 dB.

En este trabajo, se elige el registro de TBS cuando el nivel de ruido es menor que 100 dB. En el caso de que el nivel de ruido sea mayor que 100 dB, se elige el registro de TBS cuando el nivel de ruido sea menor que 100 dB. En el caso de que el nivel de ruido sea mayor que 100 dB, se elige el registro de TBS cuando el nivel de ruido sea menor que 100 dB.

Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Nivel de ruido (dB)
20	60	1.5	95
25	70	2.0	100
30	80	2.5	105

En este trabajo, se elige el registro de TBS cuando el nivel de ruido es menor que 100 dB. En el caso de que el nivel de ruido sea mayor que 100 dB, se elige el registro de TBS cuando el nivel de ruido sea menor que 100 dB. En el caso de que el nivel de ruido sea mayor que 100 dB, se elige el registro de TBS cuando el nivel de ruido sea menor que 100 dB.

módulo con techo verde mostró una TBS menor en comparación a los otros dos módulos.

En el módulo con techo verde la diferencia entre la TBS máxima y mínima fue de 2.60°C, mientras que en el exterior esta diferencia fue de 4.59°C. Los datos anteriores mostraron que en el interior del módulo la TBS fue casi 2.00°C menor en comparación con el exterior (Tabla 36).

**Tabla 36**

*Diferencia de temperaturas, de las 18:00 a las 24:00 horas. Periodo de transición.*

Lugar de medición	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Diferencia
Interior MTV	32.18°C	29.58°C	2.60°C
Exterior	29.97°C	25.38°C	4.59°C

Fuente: Elaboración propia.

En un día representativo se calculó el amortiguamiento térmico de las curvas de la temperatura de bulbo seco registradas en el interior de los módulos de prueba, se consideró la oscilación de la TBS del exterior y de la TBS del interior (Figura 80), esto de acuerdo con la ecuación (5) retomada del trabajo de Caballero (2012).

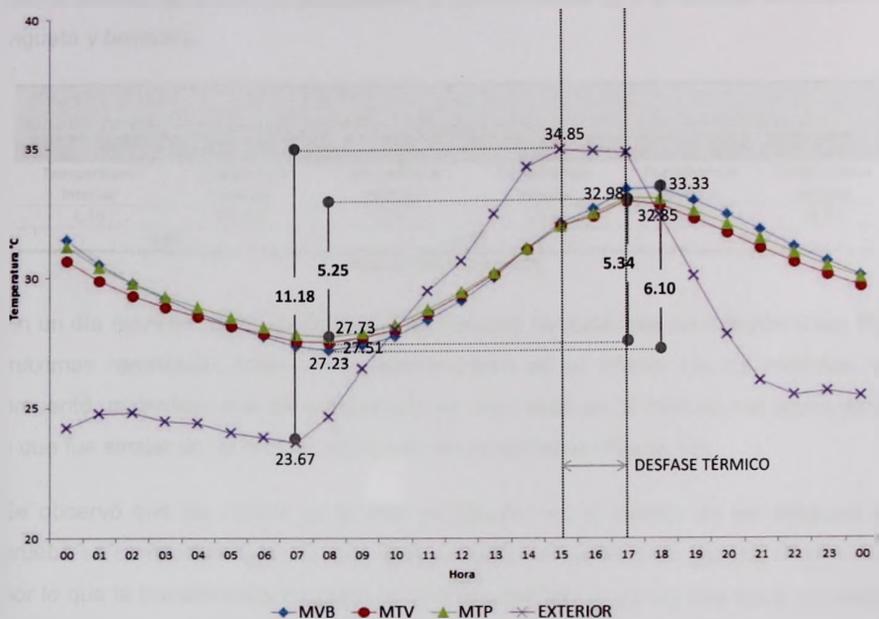
módulo con techo móvil una TBT menor en comparación a los otros dos módulos.

En el módulo con techo verde la diferencia entre la TBT interior y exterior fue de 2.60°C, mientras que en el exterior esta diferencia fue de 4.39°C. Los datos obtenidos muestran que en el interior del módulo = TBT fue de 20.0°C, mientras que en el exterior (T<sub>ext</sub>) fue de 22.60°C.

Temperatura (T <sub>int</sub> )	Temperatura (T <sub>ext</sub> )
20.0°C	22.60°C

En un día representativo se realizó el experimento donde se observó la temperatura de bulbo seco registrada en el interior de los módulos de prueba se comparó la oscilación de la TBT del exterior y de la TBT del interior (Figura 2). Esto se comparó con la oscilación (ΔT) obtenida en el módulo de control (Figura 3).

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALABAZAS DE LA RAMA  
 CALABAZAS DE LA RAMA, VERACRUZ DE GARZA, MÉXICO  
 2017



MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 80. TBS interior de módulos de prueba y temperatura exterior. Día representativo (27/05/2013).

La oscilación de la TBS exterior fue de 11.18°C, mientras que la oscilación de la TBS registrada en el interior de los módulos de prueba para un día promedio fue de 6.10°C en el módulo de referencia, 5.25°C en el módulo de techo con poliestireno y de 5.34°C en el módulo con techo verde (Figura 80).

Los resultados obtenidos muestran que el valor de mayor amortiguamiento térmico se obtuvo en el módulo de techo con poliestireno que fue de 0.47, el techo verde mostró un amortiguamiento térmico de 0.48, mientras que el módulo de referencia presentó el menor amortiguamiento térmico que fue de 0.55 (Tabla 37), lo cual indicó que el techo verde proporcionó una resistencia térmica 2.13% menor en comparación



The graph illustrates the relationship between the variables over the specified period. The data points are connected by a smooth curve, showing a clear cyclical pattern. The vertical dashed lines represent key intervals or specific values on the x-axis.

The initial phase shows a steady increase, reaching a maximum value. This is followed by a period of decline, where the values drop significantly. The final phase shows a recovery, with values increasing again towards the end of the period.

The overall trend is characterized by a single cycle of growth and contraction. The magnitude of the fluctuations varies, with the peak being notably higher than the trough. The data suggests a periodic or seasonal influence on the variables being tracked.

con el módulo de techo con poliestireno y 12.73% mayor que el módulo con techo de vigueta y bovedilla.

**Tabla 37**

*Amortiguamiento de las curvas de temperatura interior en módulos de prueba (Día representativo).*

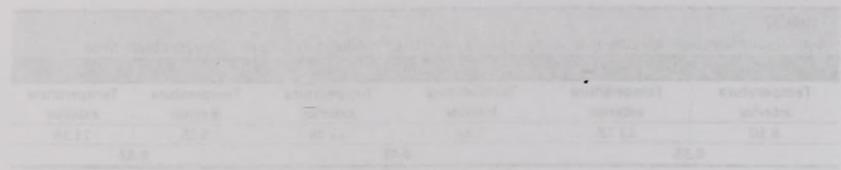
TBS		MITV		TBS	
Temperatura interior	Temperatura exterior	Temperatura interior	Temperatura exterior	Temperatura interior	Temperatura exterior
6.10	11.18	5.34	11.18	5.25	11.18
<b>0.55</b>		<b>0.48</b>		<b>0.47</b>	

Fuente: Elaboración propia.

En un día representativo (27/05/2013) se observó también que en relación a las TBS máximas registradas tanto en el exterior como en el interior de los módulos, se presentó un desfase térmico aproximado de dos horas en el módulo con techo verde y que fue similar en el módulo con techo de poliestireno (Figura 80).

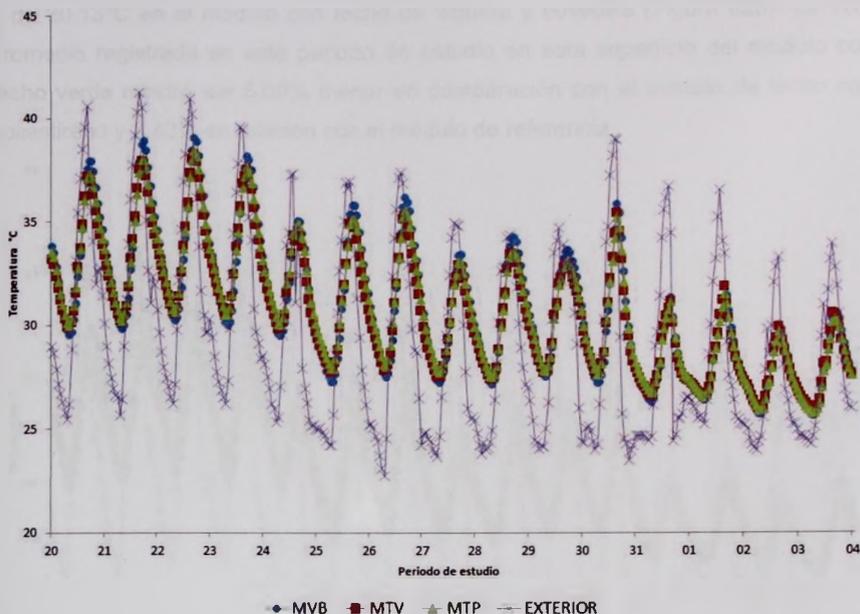
Se observó que las curvas de la TBS registradas en el interior de los módulos de prueba se comportaron de manera similar durante el periodo de estudio (Figura 81), por lo que la transferencia de calor no se limita por efecto de los tres tipos de techos en las horas extremas, es decir de las 6:00 a las 8:00 horas y de las 15:00 a las 17:00 horas cuando se registran los valores máximos de TBS en el exterior.

En un día representativo (27/05/2017) se observó un comportamiento en relación a las TSS  
 máximas registradas tanto en el exterior como en el interior de las viviendas, se  
 presentaron un descenso térmico importante de dos grados en relación con los días  
 y que fue similar en el resto de las viviendas (Figura 50).



Se observó que las curvas de las TSS registradas en el interior de las viviendas de  
 grande en comparación de manera similar durante el periodo de estudio (Figura 51).  
 Por lo que la transferencia de calor no se hizo por medio de las paredes de las  
 en las horas extremas, es decir, de las 00:00 a las 04:00 horas y de las 16:00 a las  
 20:00 horas cuando se registran los valores máximos de TSS en el exterior.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALDERÓN  
 CALDERÓN, VERACRUZ  
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE CLIMATOLOGÍA Y ENERGÍA



**Periodo de estudio:** 20 de mayo al 04 de junio. **MVB=** Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), **MTV=**Módulo techo verde, **MTP=**Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 81.** TBS interior de los tres módulos de prueba y TBS exterior.

Se observó que este periodo la TBS promedio de la superficie inferior del soporte estructural del módulo con techo de vigueta y bovedilla fue de 30.82°C, 30.43°C en el módulo con techo verde y de 31.07°C en el módulo de techo con poliestireno (Figura 82a), esto mostró que la TBS promedio de esta superficie del soporte estructural del módulo con techo verde fue 1.27% menor en comparación con la TBS promedio del módulo de referencia y 2.06% menor en relación con el módulo de techo con poliestireno.

En la superficie superior del soporte estructural del módulo con techo verde la TBS promedio registrada fue de 29.10°C, 30.63°C en el módulo de techo con poliestireno

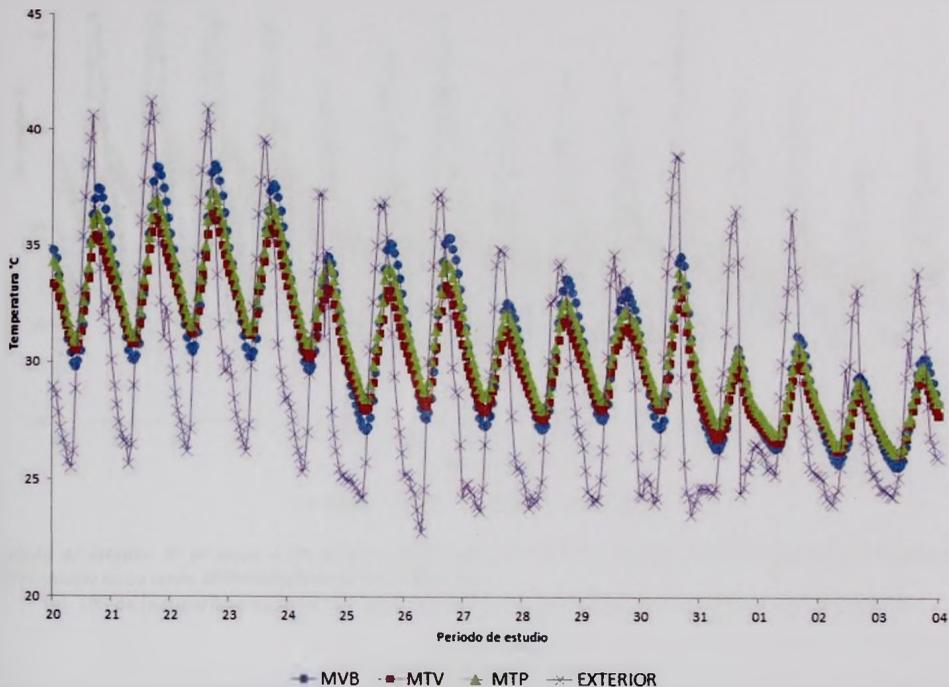


Figura 21. Gráfico de la temperatura durante el ciclo de vida de la larva de *Chironomus tentans* en un sistema de cultivo continuo. El eje horizontal representa el tiempo en minutos y el eje vertical la temperatura en grados Celsius.

Se observó que durante este periodo la TDS promedio de la muestra superior del aparato de cultivo del módulo con tacto de vigas y promedio de 30.0°C. 30.4°C en el punto con tacto verde y de 37.0°C en el módulo de tacto con el sistema. (Figura 21) esto muestra que la TDS promedio de esta especie del aparato de cultivo del módulo con tacto verde fue 7.3% menor en comparación con la TDS promedio del módulo de referencia y 2.6% menor en comparación con el módulo con tacto con el sistema.

En la muestra superior del aparato de cultivo del módulo con tacto verde la TDS promedio registrada fue de 32.10°C. 30.5°C en el módulo de tacto con el sistema.

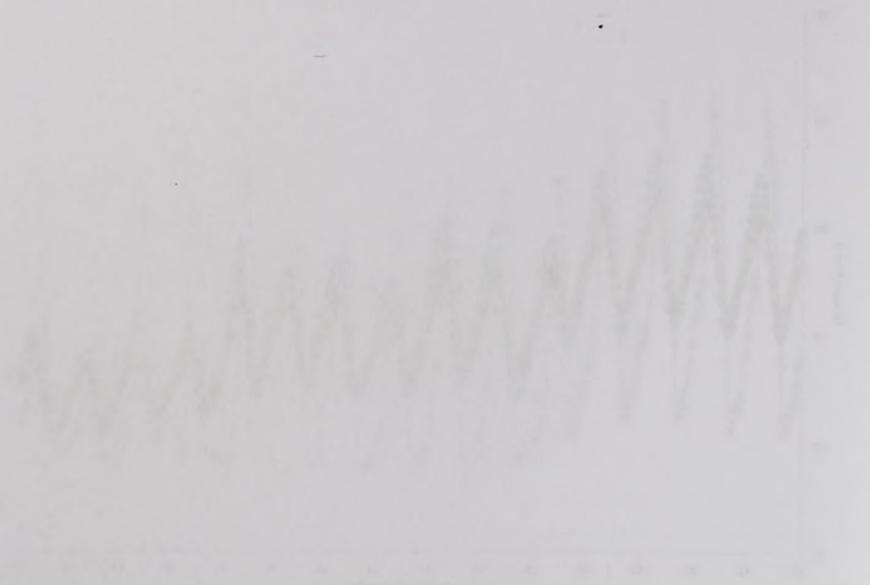
y de 30.13°C en el módulo con techo de vigueta y bovedilla (Figura 82b). La TBS promedio registrada en este periodo de estudio en esta superficie del módulo con techo verde mostró ser 5.00% menor en comparación con el módulo de techo con poliestireno y 3.42% en relación con el módulo de referencia.



**Periodo de estudio:** 20 de mayo al 04 de junio. **MVB=** Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), **MTV=**Módulo techo verde, **MTP=**Módulo techo con poliestireno.

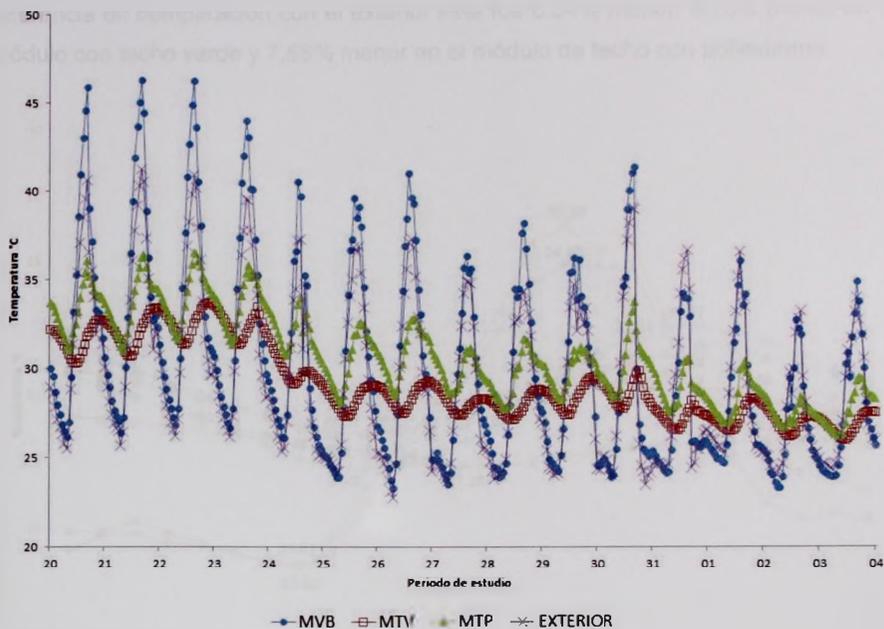
(a). TBS de la superficie inferior del soporte estructural de los módulos de prueba y TBS del exterior.

y de 30.13°C en el registro con fecha de registro y número de registro 1234. La temperatura registrada en este periodo de tiempo es de 30.13°C, lo que indica un aumento de temperatura con respecto a la temperatura normal de 30.13°C.



Este tipo de registro se utiliza para el análisis de la temperatura en el tiempo. El registro muestra una variación de temperatura que puede ser atribuida a diferentes factores, como la actividad física, el ambiente, etc.

ADIC. PUEBLO Y HÍBRIDO.



**Periodo de estudio:** 20 de mayo al 04 de junio. **MVB=** Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), **MTV=**Módulo techo verde, **MTP=**Módulo techo con poliestireno.

(b). TBS de la superficie superior del soporte estructural de los módulos de prueba y TBS del exterior.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 82.** Comparación de la TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural de los módulos de prueba con la TBS del exterior.

En un día representativo se compararon las TBS registradas en la superficie inferior y superior del soporte estructural de los tres módulos de prueba. Se observó que la TBS de la superficie superior del soporte estructural del módulo con techo verde fue menor a la TBS registrada en las superficies de los otros dos módulos (Figura 83).

En comparación con el exterior, se observó que la TBS máxima de la superficie superior del módulo de referencia fue 4.10% mayor, 18.79% menor en el módulo con techo verde y 14.28% menor en el módulo de techo con poliestireno. En relación a la TBS máxima registrada en la superficie inferior del soporte estructural del módulo de



Figura 1. Señal de entrada al sistema de control.

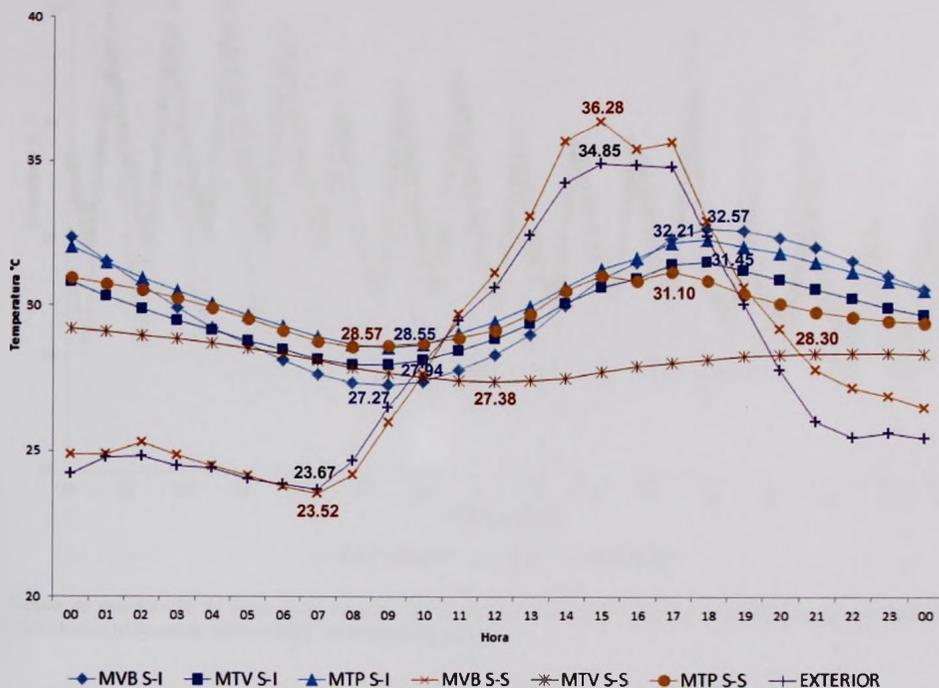
El sistema de control se diseñó para que el sistema sea estable y que el error de estado sea cero. El sistema de control se diseñó para que el sistema sea estable y que el error de estado sea cero.

El sistema de control se diseñó para que el sistema sea estable y que el error de estado sea cero. El sistema de control se diseñó para que el sistema sea estable y que el error de estado sea cero.

En un sistema de control se diseñó para que el sistema sea estable y que el error de estado sea cero. El sistema de control se diseñó para que el sistema sea estable y que el error de estado sea cero.

El sistema de control se diseñó para que el sistema sea estable y que el error de estado sea cero. El sistema de control se diseñó para que el sistema sea estable y que el error de estado sea cero.

referencia en comparación con el exterior esta fue 6.54% menor, 9.76% menor en el módulo con techo verde y 7.58% menor en el módulo de techo con poliestireno.



S-I=Superficie inferior de soporte estructural, S-S= Superficie superior de soporte estructural, MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 83. Comparación de la TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural de los módulos de prueba y TBS del exterior. Día representativo (27/05/2013).

En cuanto a la temperatura de globo negro (TGN), en la figura 84 se observa que en el periodo cálido la TGN registrada fue similar en los tres módulos de prueba, especialmente en los módulos con techo verde y con poliestireno, esto debido al efecto de sus envolventes como controladores térmicos.

reflexión en comparación con el estado con la lámpara apagada. El 75% menor en el módulo con lámpara encendida y el 50% menor en el módulo con lámpara apagada.

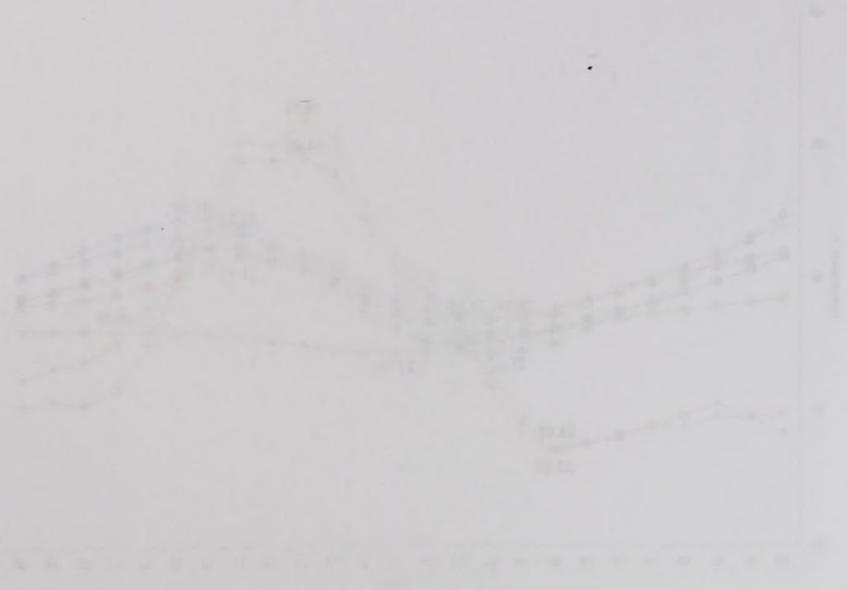
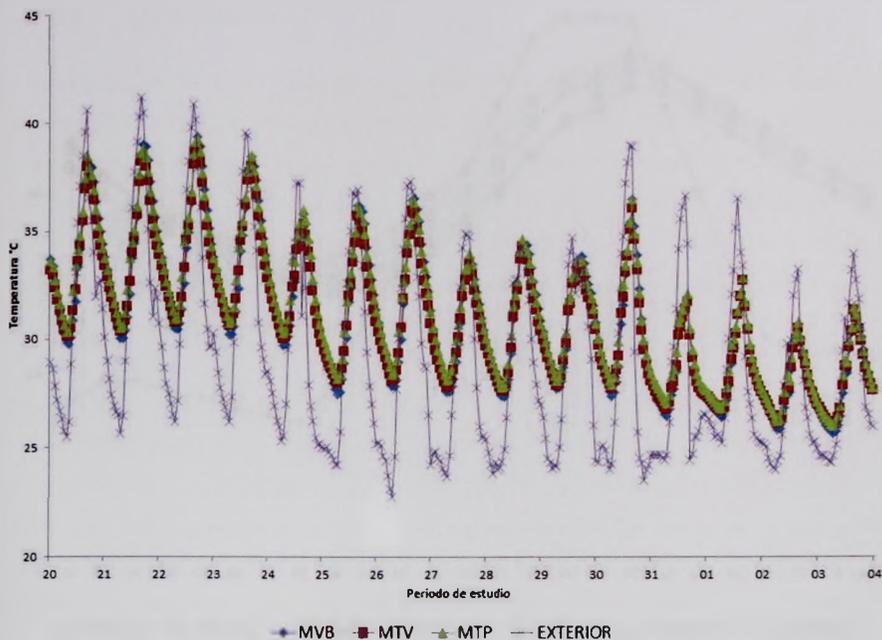


Figura 10. Evolución de la temperatura y humedad relativa en el módulo con lámpara encendida y apagada durante 12 horas. La temperatura en el módulo con lámpara encendida aumenta de 22°C a 28°C, mientras que en el módulo con lámpara apagada aumenta de 22°C a 24°C. La humedad relativa en el módulo con lámpara encendida disminuye de 65% a 55%, mientras que en el módulo con lámpara apagada disminuye de 65% a 60%.

El aumento de la temperatura de la lámpara negra (T<sub>LN</sub>) en la lámpara encendida que en el periodo cálido la T<sub>LN</sub> registró el mayor de los módulos de prueba.

El aumento en los módulos con lámpara encendida y con lámpara apagada, debido al estado de sus envolventes como conductores térmicos.



Período de estudio= 20 de mayo al 04 de junio, MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 84. Temperatura de globo negro de los módulos de prueba y el exterior.

En un día representativo se comparó la TBS con la TGN registradas en el interior de los módulos de prueba (Figura 85). Se observó que en el módulo de referencia la TGN promedio fue 0.70% mayor en comparación con la TBS promedio, 1.14% mayor en el módulo con techo verde y 1.76% mayor en el módulo de techo con poliestireno. Los datos anteriores indicaron que en los tres módulos la TGN promedio fue mayor a la TBS promedio, por lo que en este periodo de estudio las envolventes emitieron radiación hacia el interior.

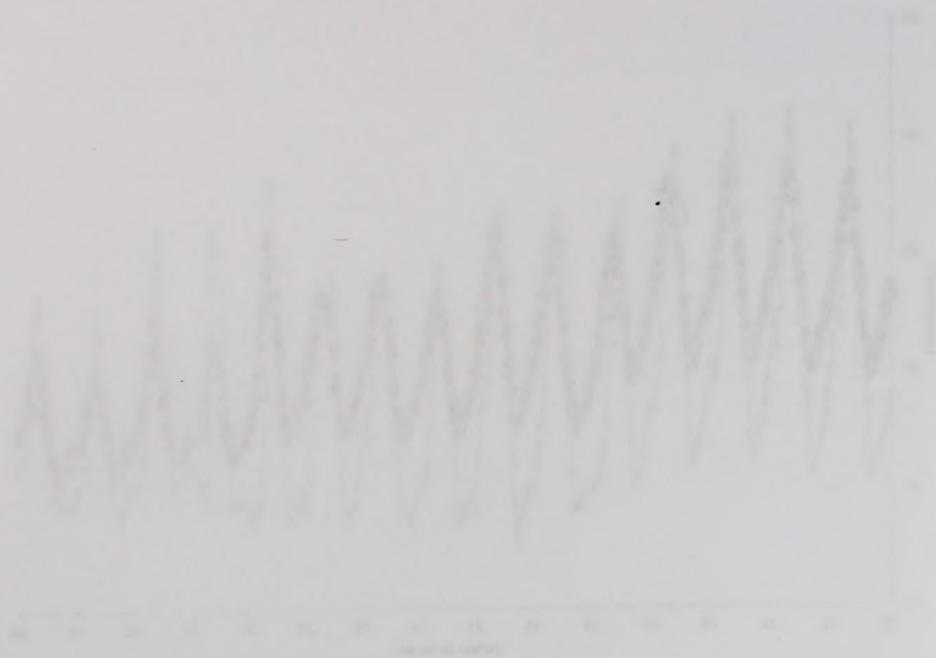


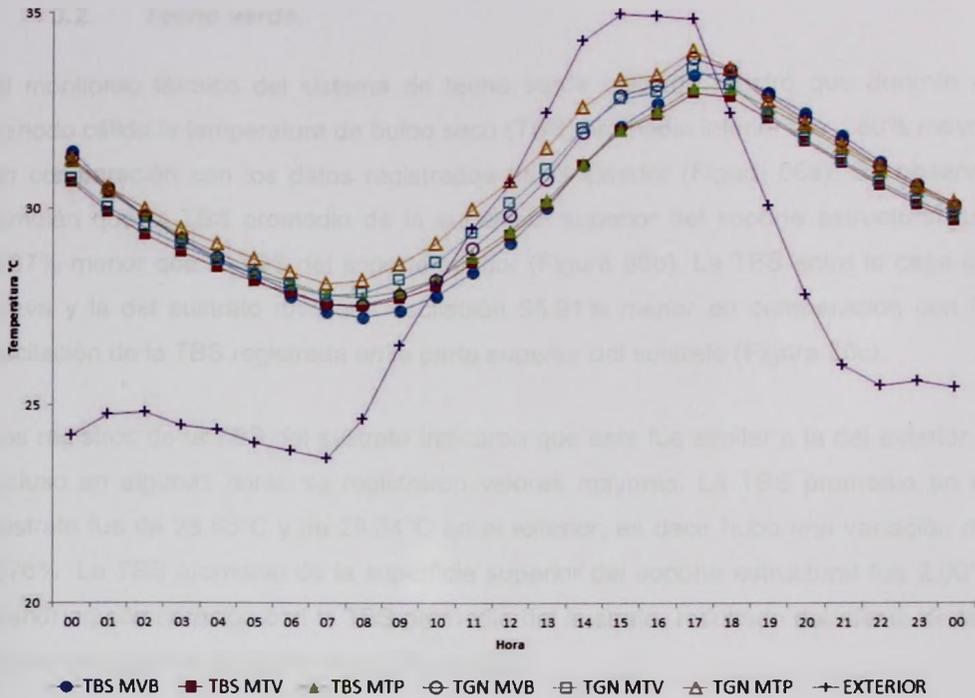
Figura 1. Señal de voltaje de un sensor de temperatura.

El gráfico muestra la variación del voltaje en milivoltios (mV) a lo largo del tiempo en segundos (seg). La señal presenta un comportamiento oscilatorio, con un aumento notable de la amplitud de las oscilaciones a partir de los 5 segundos.

Figura 2. Señal de voltaje de un sensor de humedad.

En un día representativo se comparó la TSB con la TSM obtenidas en el interior de los edificios de prueba (Figura 3). Se observó que en el interior de los edificios la TSM presentaba un promedio de 1.5% mayor en comparación con la TSB promedio. Este mayor nivel de humedad se debe a la presencia de la humedad relativa en el ambiente interior, que es mayor que en el exterior. Por otro lado, la TSB promedio fue menor a las lecturas anteriores mencionadas debido a que en este periodo de estudio las condiciones ambientales

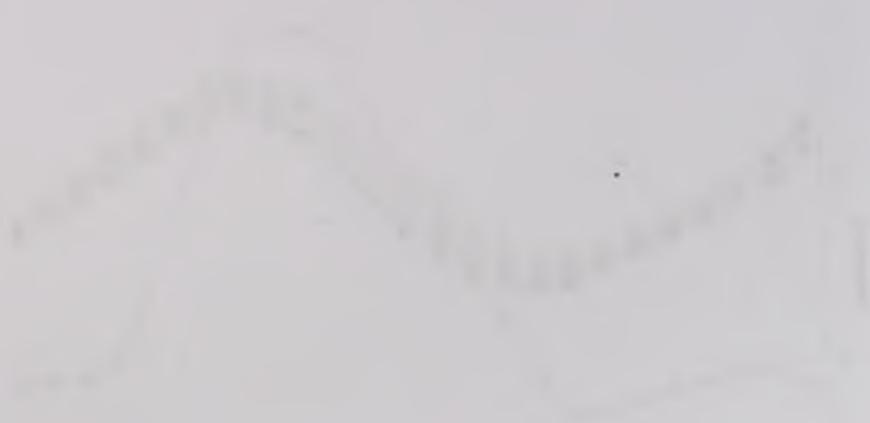
estaban más estables.



TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MVB= Módulo techo con vigueta y bovedilla (módulo de referencia), MTV=Módulo techo verde, MTP=Módulo techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 85. Comparación de TBS con TGN del interior de los módulos de prueba y con la TBS exterior. Día representativo (27/05/2013).



Faint, illegible text, possibly a legend or description of the graph above.

### **3.2. Techo verde.**

El monitoreo térmico del sistema de techo verde utilizado mostró que durante el periodo cálido la temperatura de bulbo seco (TBS) promedio interior fue 4.60% mayor en comparación con los datos registrados en el exterior (Figura 86a). Se observó también que la TBS promedio de la superficie superior del soporte estructural fue 4.37% menor que la TBS del soporte inferior (Figura 86b). La TBS entre la capa de grava y la del sustrato tuvo una oscilación 55.91% menor en comparación con la oscilación de la TBS registrada en la parte superior del sustrato (Figura 86c).

Los registros de la TBS del sustrato indicaron que esta fue similar a la del exterior e incluso en algunas horas se registraron valores mayores. La TBS promedio en el sustrato fue de 28.53°C y de 29.34°C en el exterior, es decir hubo una variación de 2.76%. La TBS promedio de la superficie superior del soporte estructural fue 2.00% menor en comparación con la TBS promedio del sustrato, resultado del efecto de las capas del sistema de techo verde (Figura 86d).

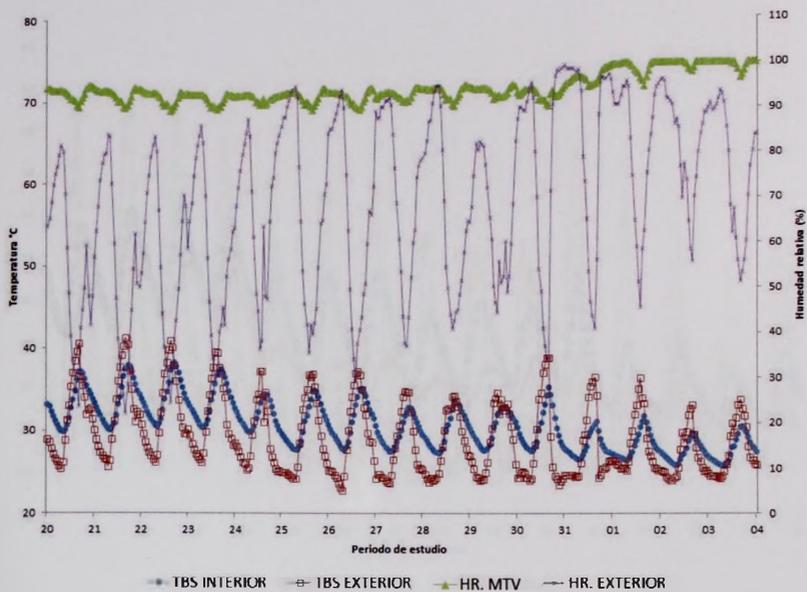
Los registros de TGN del interior del módulo se compararon con la TBS del exterior y la TBS del interior, los resultados mostraron que la TGN fue similar a la del interior ya la TBS promedio interior fue 1% menor en comparación con la TGN promedio (Figura 86e).

El momento teórico del sistema de los tres versales... periodo de la... en comparación con los datos... también que la TBS... 4.3.2. menor que la TBS... y la del sistema... condición de la TBS...

Los registros de la TBS... en algunas formas... de la TBS... La TBS... de la TBS... de la TBS... de la TBS... de la TBS...

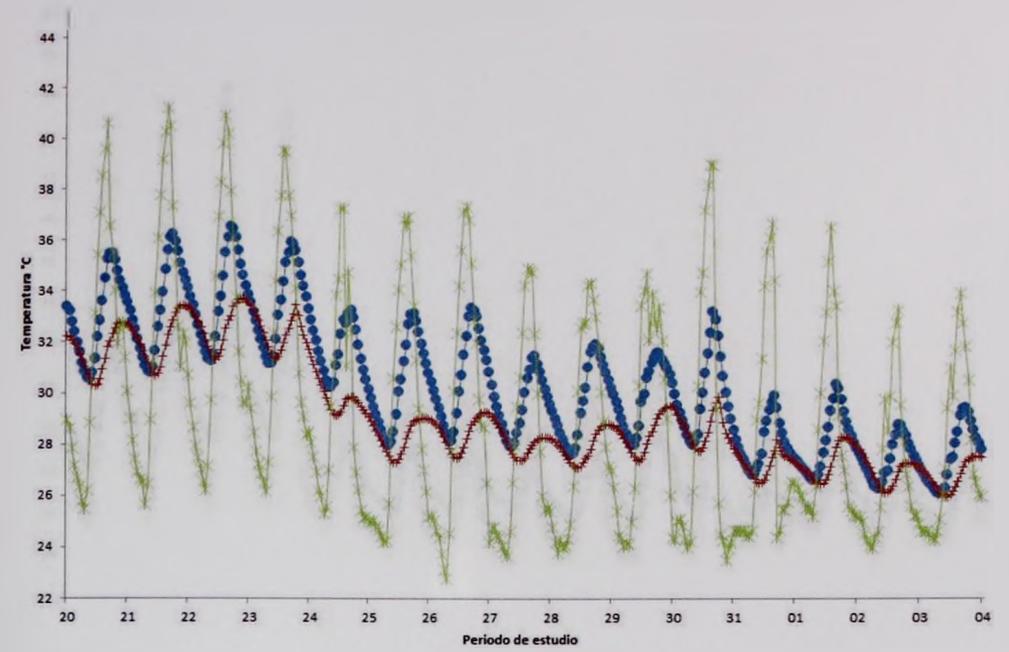
Los registros de la TBS... de la TBS...

ARTICULO CINCO Y SESENTA.



Periodo de estudio= 20 de mayo al 04 de junio, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa, MTV=Módulo techo verde.

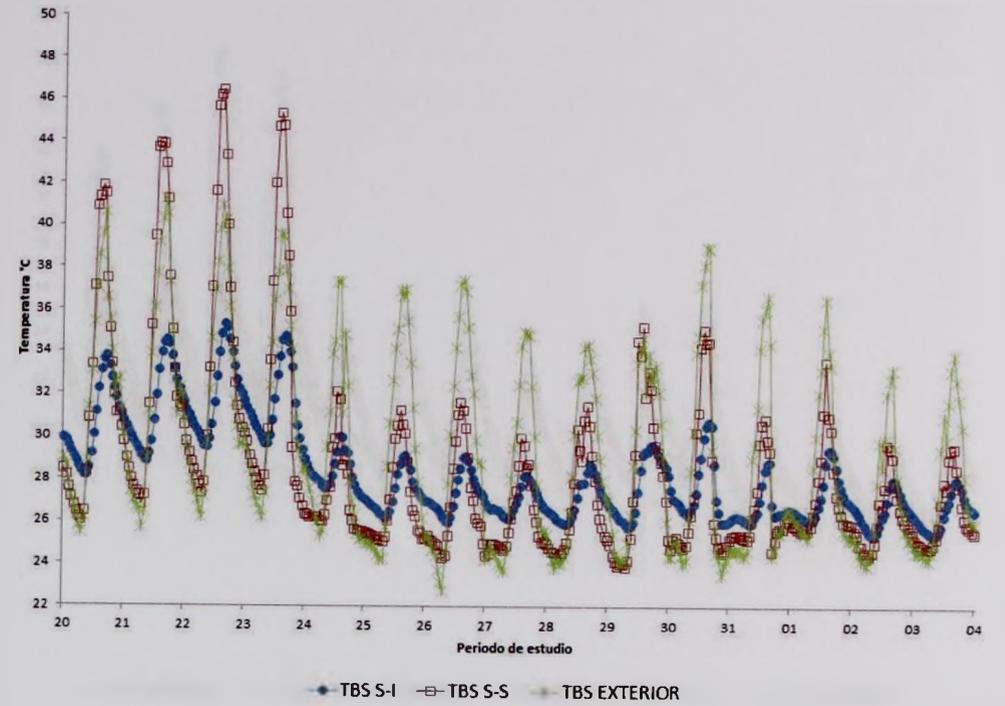
(a). Comparación de la TBS interior del MTV, TBS exterior, HR interior de MTV y HR exterior.



● TBS S-I    - - - TBS S-S    \* TBS EXTERIOR

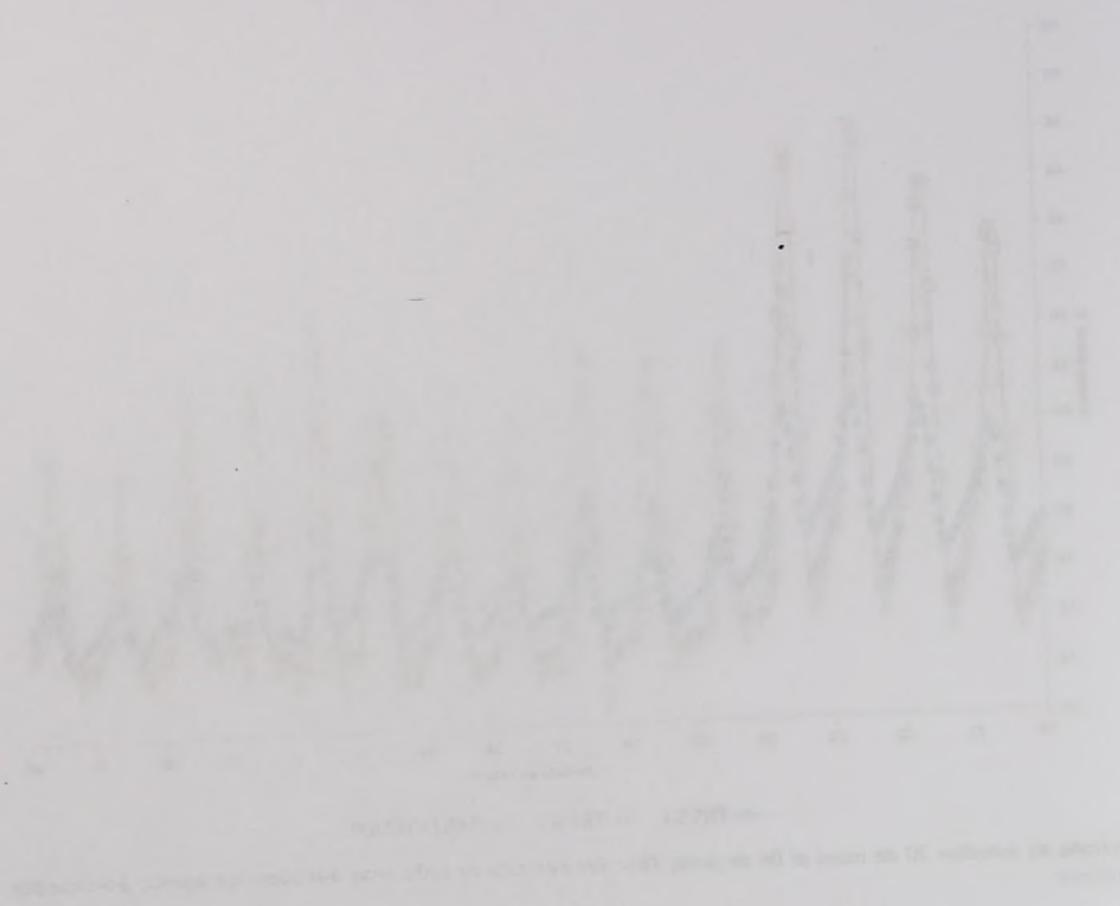
Periodo de estudio= 20 de mayo al 04 de junio, TBS= Temperatura de bulbo seco, S-I= Superficie inferior, S-S=Superficie superior.

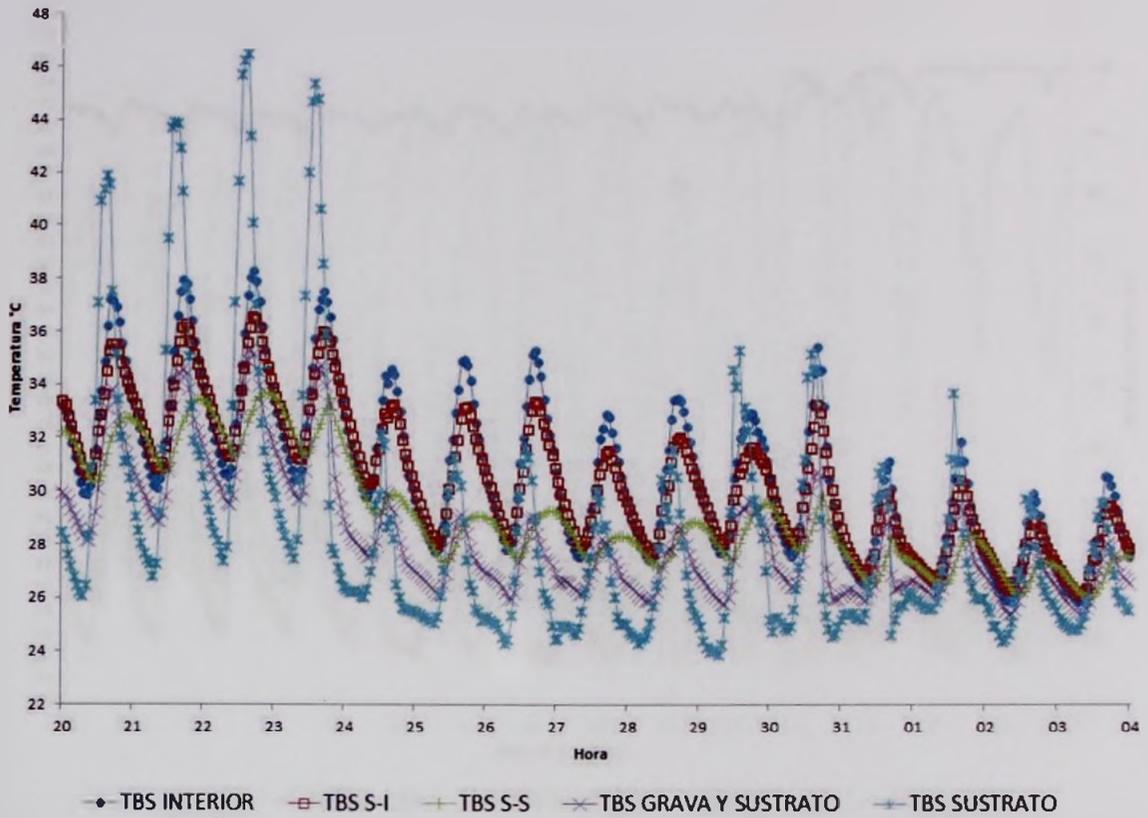
(b). TBS de la superficie inferior y superior del soporte estructural.



Periodo de estudio= 20 de mayo al 04 de junio, TBS= Temperatura de bulbo seco, S-I= Superficie inferior, S-S=Superficie superior.

c). TBS de la capa de sustrato.



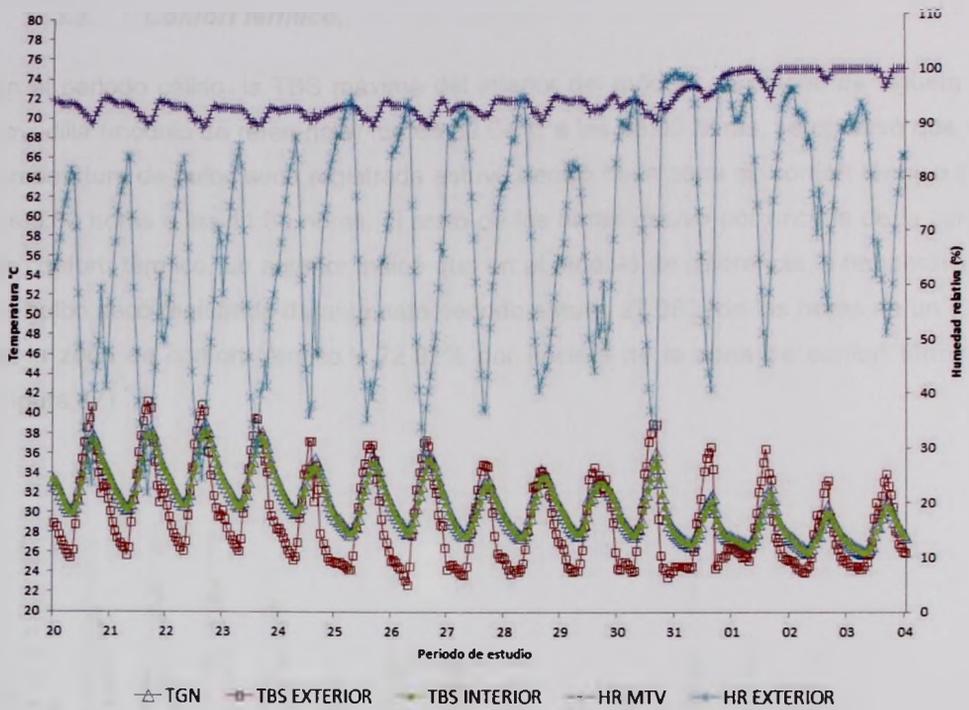


Periodo de estudio= 20 de mayo al 04 de junio, TBS= Temperatura de bulbo seco, S-I= Superficie inferior, S-S=Superficie superior.

(d). TBS interior y de las capas del techo verde.



Faint, mirrored text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is illegible due to the low contrast and mirroring.



Periodo de estudio= 20 de mayo al 04 de junio, TGN= Temperatura de globo negro, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa.

(e). TGN, TBS y HR exterior e interior.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 86. Desempeño térmico del módulo con techo verde.



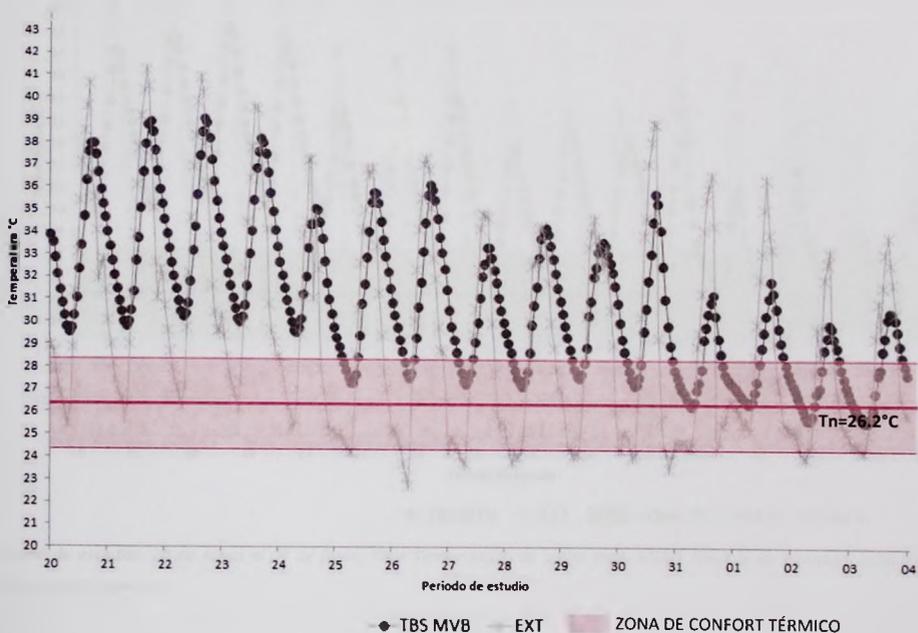
The following table shows the results of the measurements taken during the experiment. The data is presented in a tabular format, with columns for time, voltage, and current. The values are recorded at regular intervals, showing a clear trend over time.

Time (s)	Voltage (V)	Current (A)
0.0	0.0	0.0
0.5	0.1	0.05
1.0	0.2	0.10
1.5	0.3	0.15
2.0	0.4	0.20
2.5	0.5	0.25
3.0	0.6	0.30
3.5	0.7	0.35
4.0	0.8	0.40
4.5	0.9	0.45
5.0	1.0	0.50
5.5	1.1	0.55
6.0	1.2	0.60
6.5	1.3	0.65
7.0	1.4	0.70
7.5	1.5	0.75
8.0	1.6	0.80
8.5	1.7	0.85
9.0	1.8	0.90
9.5	1.9	0.95
10.0	2.0	1.00

DATE: \_\_\_\_\_  
 NAME: \_\_\_\_\_  
 COURSE: \_\_\_\_\_

### 3.3. Confort térmico.

En el periodo cálido, la TBS máxima del interior del módulo con techo de vigueta y bovedilla (módulo de referencia) fue de 39.04°C a las 16:00 horas, se observó que la temperatura de bulbo seco registrada estuvo dentro de la zona de confort térmico de las 5:00 horas a las 11:30 horas, el resto de las horas estuvo por encima de la zona de confort térmico. Lo anterior indicó que en el módulo de referencia la temperatura de bulbo seco registrada durante este periodo estuvo 27.08% de las horas de un día en la zona de confort térmico y 72.92% por encima de la zona de confort térmico (Figura 87).



Periodo de estudio= 20 de mayo al 4 de junio, TBS= Temperatura de bulbo seco, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 87. Temperatura de bulbo seco interior de MVB y zona de confort térmico.

En el periodo crítico, la TBS máxima del interior del edificio con paredes de yeso y foros (módulo de referencia) fue de 28.04°C a las 19:30 horas, se observó que la temperatura de bulbo seco registraba un pico entre las 16:00 y las 18:00 horas de la zona de confort térmico. En relación con esto se puede afirmar que entre las 16:00 y las 18:00 horas se registra un pico de temperatura de bulbo seco que supera los 28°C, por lo tanto, se puede afirmar que en el módulo de referencia la temperatura de bulbo seco registrada durante este periodo es de 28.04°C, lo que indica que en la zona de confort térmico y 15.00% por encima de la zona de confort térmico.

Figura 3.3.

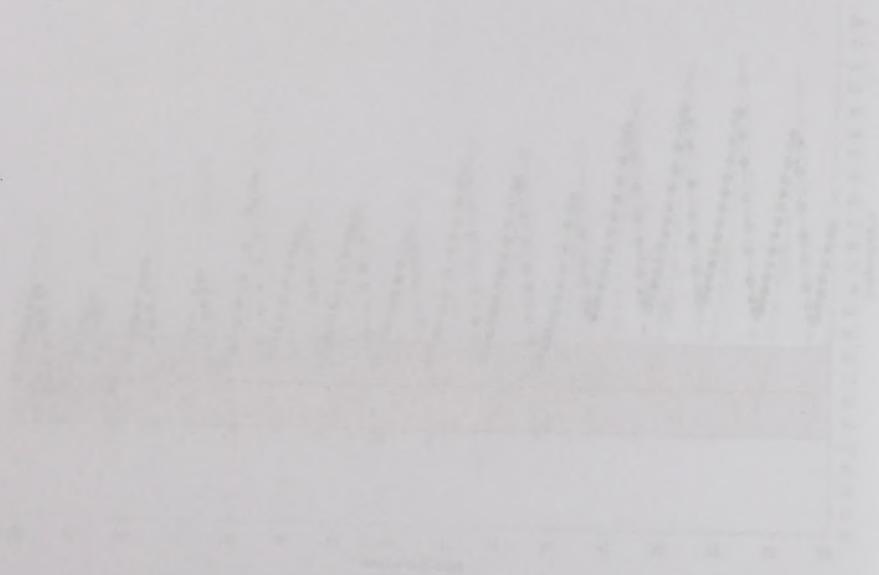
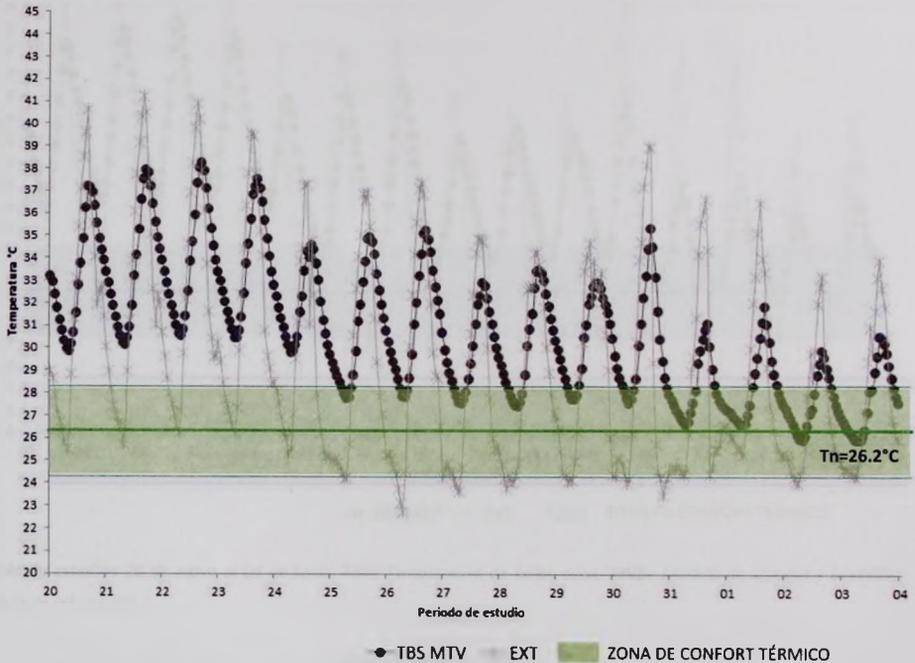


Figura 3.3. Temperatura de bulbo seco en el módulo de referencia durante el periodo crítico. El eje horizontal muestra el tiempo en horas y el eje vertical muestra la temperatura en grados Celsius. La línea superior representa el límite superior de la zona de confort térmico y la línea inferior representa el límite inferior de la zona de confort térmico. El punto más alto de la curva indica la temperatura máxima registrada durante el periodo crítico.

En el módulo con techo verde, la TBS interior máxima fue de 38.28°C a las 16:00 horas del día, los datos registrados indican que la TBS interior estuvo dentro de la zona de confort térmico de las 4:30 a las 11:30 horas y el resto de las horas por encima de la zona de confort térmico. Un 29.17% de las horas la TBS del interior estuvo dentro de la zona de confort térmico y 70.83% por encima de la zona de confort térmico (Figura 88).



Periodo de estudio= 20 de mayo al 04 de junio, TBS= Temperatura de bulbo seco, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 88.** Temperatura de bulbo seco interior de MTV y zona de confort térmico.

La TBS máxima del interior del módulo con techo de poliestireno fue de 38.42°C registrada a las 16:00 horas. Durante este periodo de estudio se observó que de las 6:00 a las 11:00 horas la TBS del interior estuvo dentro de la zona de confort térmico

En el módulo con techo verde, la TBS exterior máxima fue de 32.38°C a las 15:00 horas del día, los datos registraron indican que la TBS exterior estuvo dentro de la zona de confort térmico de las 11:00 a las 17:00 horas y el resto de las horas por encima de la zona de confort térmico. La TBS interior de las horas de estudio estuvo dentro de la zona de confort térmico y 10.54% por encima de la zona de confort térmico (Figura 85).

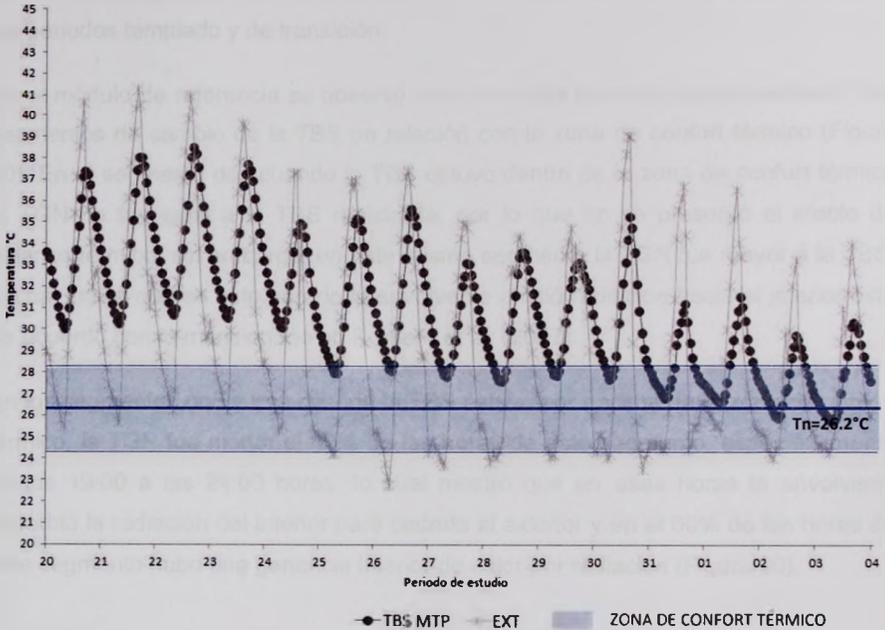


Figura 85. Temperaturas de la zona de confort térmico y fuera de la zona de confort térmico en el módulo con techo verde.

La TBS máxima del interior del módulo con techo de vegetación fue de 26.62°C registrada a las 15:00 horas. Durante este periodo de estudio se observó que de las 0:00 a las 11:00 horas la TBS del interior estuvo dentro de la zona de confort térmico

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE GUATEMALA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

y las horas restantes por encima de la zona de confort térmico, esto es igual a un 20.83% de las horas dentro la zona de confort térmico y 79.17% por encima de la zona de confort térmico (Figura 89).



*Periodo de estudio= 20 de mayo al 04 de junio, TBS= Temperatura de bulbo seco, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).*

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 89.** Temperatura de bulbo seco interior de MTP y zona de confort térmico.

La TBS registrada en el interior del módulo con techo verde estuvo 0.5 horas más del día dentro de la zona de confort térmico en comparación con la TBS registrada en el módulo de referencia y dos horas más en comparación con el módulo de techo con poliestireno.

Y las horas restantes por analizar en la zona de control fueron de 20.000 a las 20.000 de las horas de inicio de la zona de control y 20.000 de las horas de control (Figura 10).

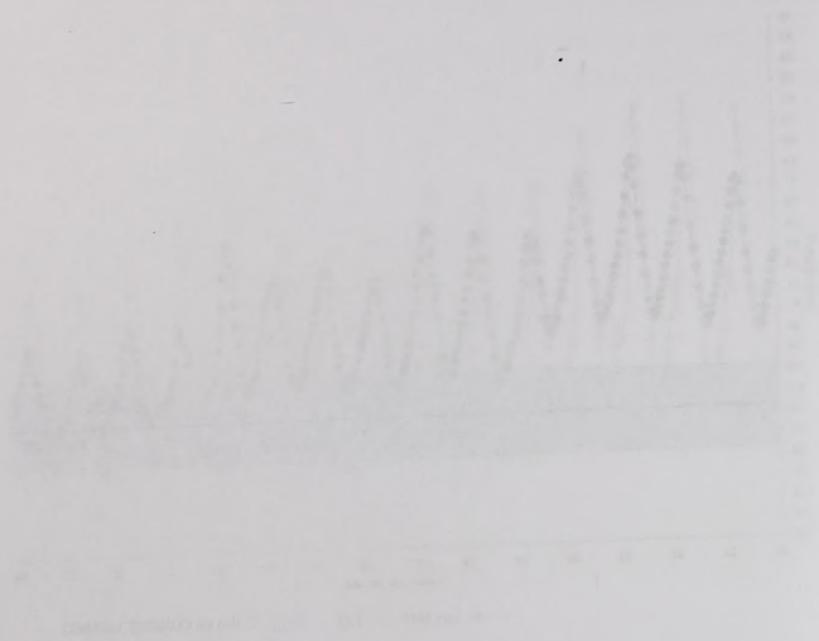


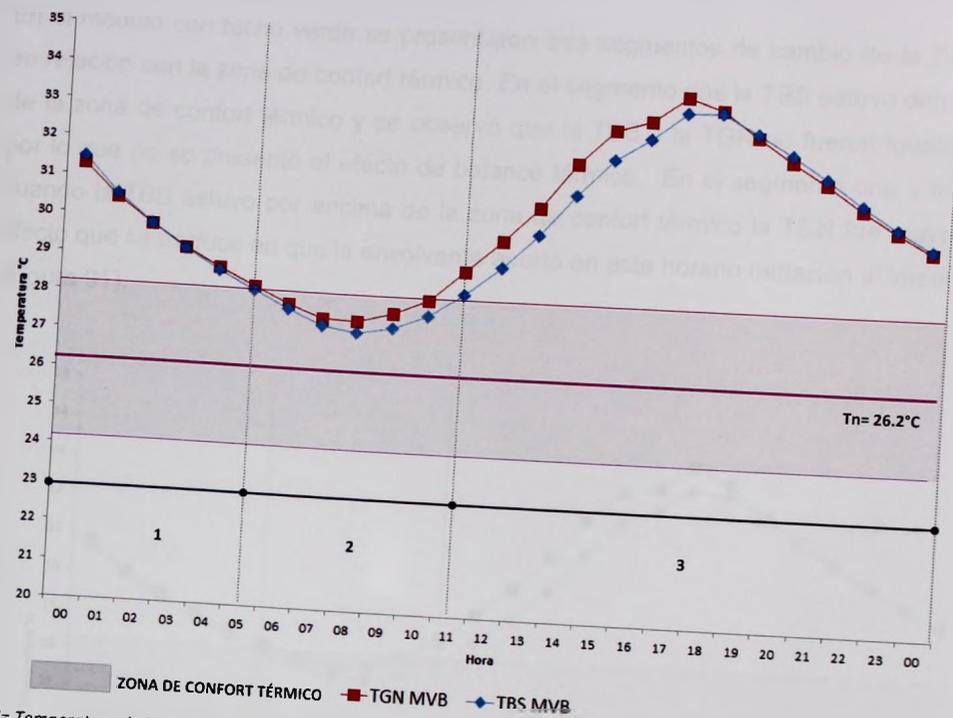
Figura 10. Evolución de la zona de control durante el periodo de control.

La TDS registrada en el interior del recinto con fecha verde estuvo de 20 horas más del 50% de la zona de control durante el periodo de control con la TDS registrada en el interior de la zona de control con la TDS registrada en el interior de la zona de control y los datos más de comparación con el resto de la zona de control.

En un día representativo (27/05/2013) se analizó la temperatura de globo negro (TGN) y la temperatura de bulbo seco (TBS), registradas en el interior de los módulos de prueba, en relación con la zona de confort térmico para verano estimada para la ciudad de Mérida, Yucatán, esto se realizó con los mismos criterios establecidos en los periodos templado y de transición.

En el módulo de referencia se observó que en un día promedio se presentaron tres segmentos de cambio de la TBS en relación con la zona de confort térmico (Figura 90). En el segmento dos cuando la TBS estuvo dentro de la zona de confort térmico la TGN no fue igual a la TBS registrada, por lo que no se presentó el efecto de balance térmico, sin embargo, en este mismo segmento la TGN fue mayor a la TBS, lo cual indicó que en este horario la envolvente emitió radiación hacia el interior esto de acuerdo con lo mencionado en Romero et al. (2007).

En los segmentos uno y tres cuando la TBS estuvo por encima de la zona de confort térmico, la TGN fue menor el 40% de las horas de este segmento, específicamente de las 19:00 a las 24:00 horas, lo cual mostró que en esas horas la envolvente absorbió la radiación del interior para cederla al exterior y en el 60% de las horas de este segmento hubo una ganancia interior de calor por radiación (Figura 90).



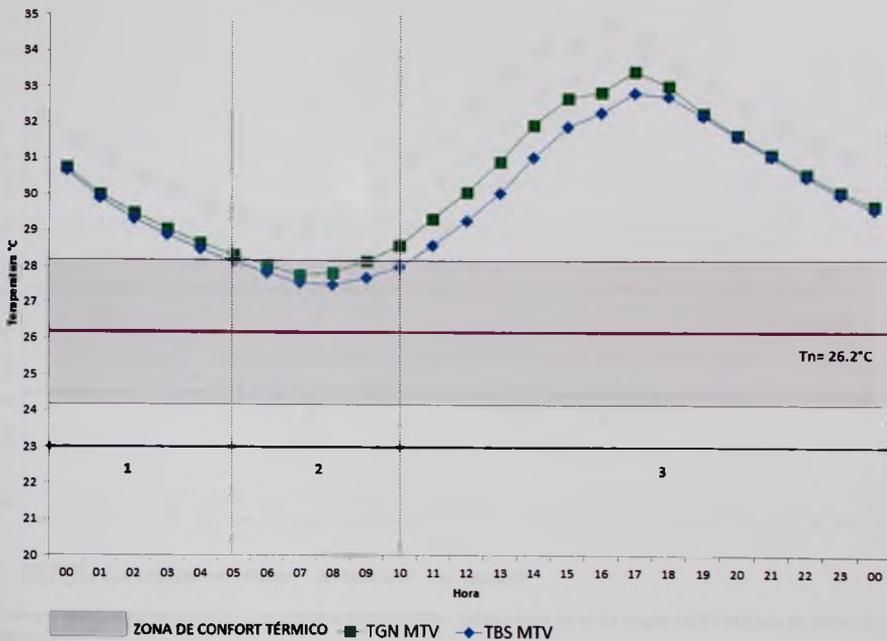
TBS= Temperatura de bulbo seco, Tn= Temperatura neutral, TGN= Temperatura de globo negro, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

Fuente: Elaboración propia.  
**Figura 90.** TGN y rangos de confort térmico. MVB en un día representativo (27/05/2013).



Figura 20.123 y 20.124: Gráficas de la temperatura de un cuerpo en función del tiempo. La temperatura aumenta con el tiempo, pero a una velocidad que disminuye a medida que se acerca a un valor constante. Este comportamiento es característico de los procesos de calentamiento y enfriamiento en los que el cuerpo intercambia calor con el entorno.

En el módulo con techo verde se presentaron tres segmentos de cambio de la TBS en relación con la zona de confort térmico. En el segmento dos la TBS estuvo dentro de la zona de confort térmico y se observó que la TBS y la TGN no fueron iguales, por lo que no se presentó el efecto de balance térmico. En el segmento uno y tres cuando la TBS estuvo por encima de la zona de confort térmico la TGN fue mayor, efecto que se traduce en que la envolvente aportó en este horario radiación al interior (Figura 91).



TBS= Temperatura de bulbo seco, Tn= Temperatura neutra, TGN= Temperatura de globo negro, MTV= Módulo con techo verde.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 91. TGN y rangos de confort térmico. MTV en un día representativo (27/05/2013).

En cuanto al módulo de techo con poliestireno la TBS en un día representativo cambió en relación con la zona de confort térmico en tres segmentos (Figura 92). En el segmento dos cuando la TBS estuvo dentro de la zona de confort térmico la TGN

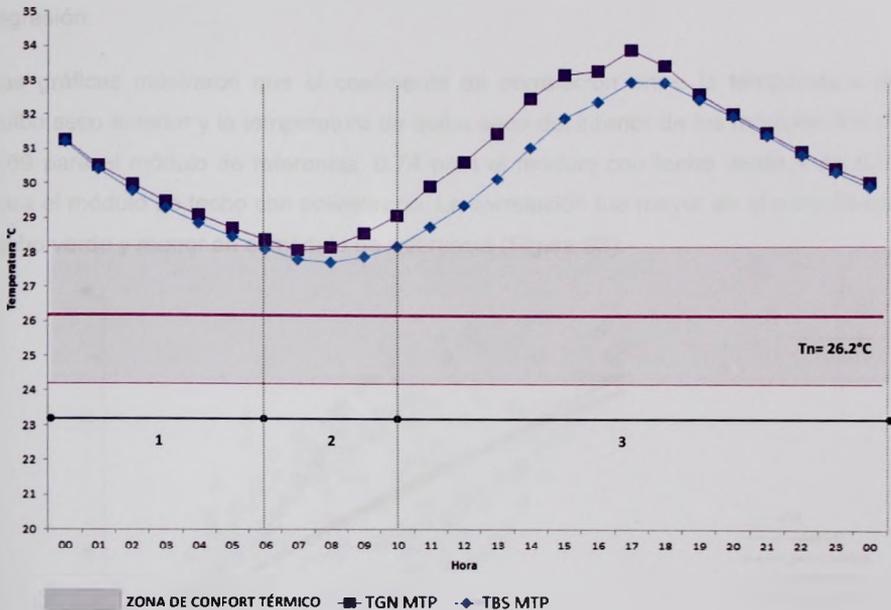
Faint, illegible text at the top of the page, possibly a title or introductory paragraph.



Faint text at the bottom of the page, likely a conclusion or a list of references.

fue mayor, efecto que indicó que la envolvente emitió en esas horas radiación al interior del módulo y por lo tanto no se presentó un balance térmico.

En los segmentos uno y tres, cuando la TBS estuvo por encima de la zona de confort térmico la TGN fue mayor, efecto contrario a lo esperado, pues esto significa que en lugar de absorber la radiación del interior y cederla al exterior la envolvente emitió calor por radiación hacia el interior (Figura 92).



TBS= Temperatura de bulbo seco, Tn= Temperatura neutral, TGN= Temperatura de globo negro, MTP= Módulo de techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 92. TGN y rangos de confort térmico. MTP en un día representativo (27/05/2013).

El presente informe tiene por objeto informar a la Junta de Gobierno de la Universidad de la Plata, sobre el desarrollo de las actividades de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, durante el período comprendido entre el 1.º de enero y el 31 de diciembre de 1968.

El informe está dividido en tres partes: la primera, que describe el estado de la Facultad al 1.º de enero de 1968; la segunda, que describe el desarrollo de las actividades durante el período comprendido entre el 1.º de enero y el 31 de diciembre de 1968; y la tercera, que describe el estado de la Facultad al 31 de diciembre de 1968.



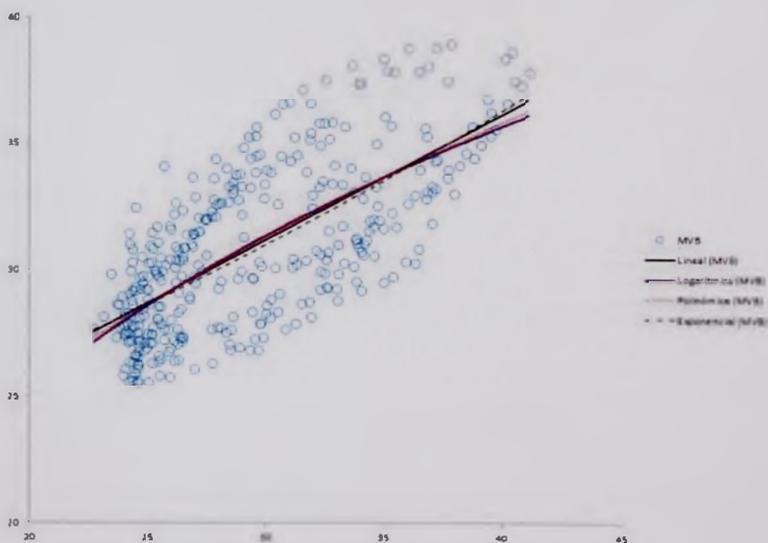
El presente informe tiene por objeto informar a la Junta de Gobierno de la Universidad de la Plata, sobre el desarrollo de las actividades de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, durante el período comprendido entre el 1.º de enero y el 31 de diciembre de 1968.

El informe está dividido en tres partes: la primera, que describe el estado de la Facultad al 1.º de enero de 1968; la segunda, que describe el desarrollo de las actividades durante el período comprendido entre el 1.º de enero y el 31 de diciembre de 1968; y la tercera, que describe el estado de la Facultad al 31 de diciembre de 1968.

### 3.4. Correlación.

En este apartado se presentan las gráficas de dispersión obtenidas con base en los datos registrados en el periodo cálido, para determinar la correlación de las temperaturas de bulbo seco del interior de los módulos de prueba (Variable dependiente) con la temperatura de bulbo seco del exterior (Variable independiente). Se analizaron cuatro tipos de línea de tendencia: 1) Lineal, 2) Logarítmica, 3) Polinómica y 4) Exponencial, que dieron como resultado cuatro fórmulas de regresión.

Las gráficas mostraron que el coeficiente de correlación entre la temperatura de bulbo seco exterior y la temperatura de bulbo seco del interior de los módulos fue de 0.69 para el módulo de referencia, 0.74 para el módulo con techo verde y de 0.71 para el módulo de techo con poliestireno. La correlación fue mayor en el módulo con techo verde y menor en el módulo de referencia (Figura 93).



(a). Líneas de tendencia y correlación de TBS exterior y TBS interior de MVB.

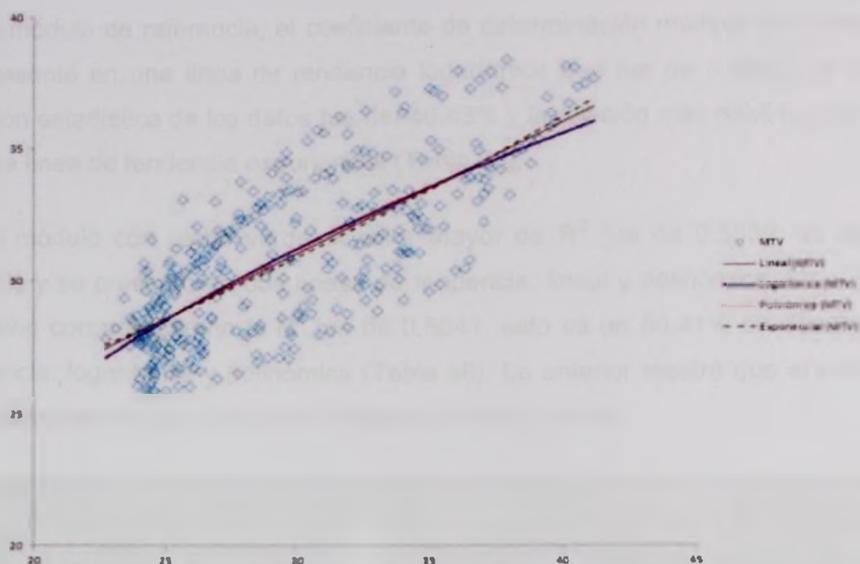
En este apartado se presentan las gráficas de regresión obtenidas con base en los datos registrados en el periodo estudiado para determinar la correlación de las temperaturas de pulso seco del estero de las cédulas de pulpa (variables dependientes) con la temperatura de pulpa seca del estero (variables independientes). Se analizaron cuatro tipos de datos de referencia: 1) Línea, 2) Logaritmo, 3) Potencia y 4) Exponencial, que dieron como resultado cuatro fórmulas de regresión.

Las gráficas muestran que el coeficiente de correlación entre la temperatura de pulpa seca exterior y la temperatura de pulpa seca de referencia fue de 0.71 para el método de referencia, 0.74 para el método de pulpa seca y de 0.77 para el método de pulpa seca exterior. La correlación fue mayor en el método de pulpa seca y menor en el método de pulpa seca exterior.

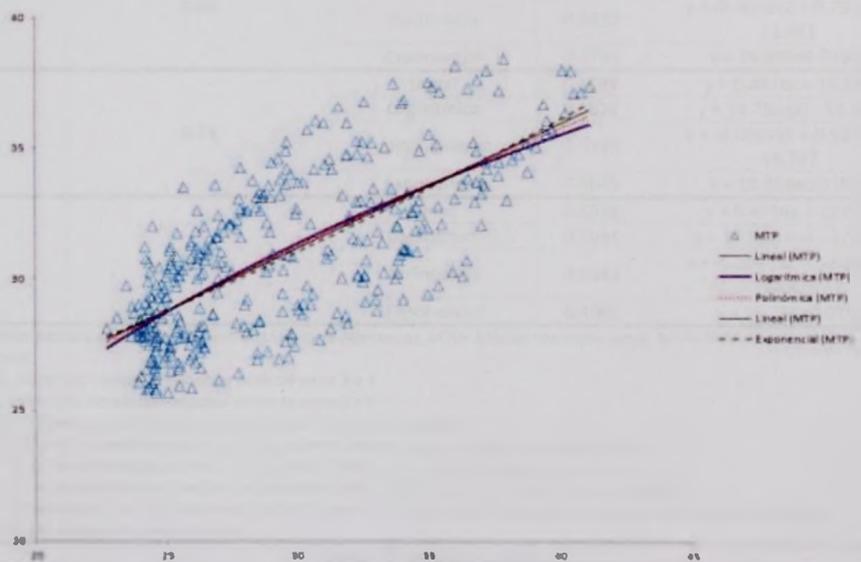


(a) Línea de referencia y correlación de 0.71 entre las variables de pulpa seca y pulpa seca exterior.

MATE, DIEGO Y HERRERA



(b). Líneas de tendencia y correlación de TBS exterior y TBS interior de MTV.



(c). Líneas de tendencia y correlación de TBS exterior y TBS interior de MTP.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 93. Líneas de tendencia y correlación de módulos de prueba.

1971. 1972. 1973. 1974. 1975. 1976. 1977. 1978. 1979. 1980. 1981. 1982. 1983. 1984. 1985. 1986. 1987. 1988. 1989. 1990. 1991. 1992. 1993. 1994. 1995. 1996. 1997. 1998. 1999. 2000. 2001. 2002. 2003. 2004. 2005. 2006. 2007. 2008. 2009. 2010. 2011. 2012. 2013. 2014. 2015. 2016. 2017. 2018. 2019. 2020. 2021. 2022. 2023. 2024. 2025.

1971. 1972. 1973. 1974. 1975. 1976. 1977. 1978. 1979. 1980. 1981. 1982. 1983. 1984. 1985. 1986. 1987. 1988. 1989. 1990. 1991. 1992. 1993. 1994. 1995. 1996. 1997. 1998. 1999. 2000. 2001. 2002. 2003. 2004. 2005. 2006. 2007. 2008. 2009. 2010. 2011. 2012. 2013. 2014. 2015. 2016. 2017. 2018. 2019. 2020. 2021. 2022. 2023. 2024. 2025.

1971. 1972. 1973. 1974. 1975. 1976. 1977. 1978. 1979. 1980. 1981. 1982. 1983. 1984. 1985. 1986. 1987. 1988. 1989. 1990. 1991. 1992. 1993. 1994. 1995. 1996. 1997. 1998. 1999. 2000. 2001. 2002. 2003. 2004. 2005. 2006. 2007. 2008. 2009. 2010. 2011. 2012. 2013. 2014. 2015. 2016. 2017. 2018. 2019. 2020. 2021. 2022. 2023. 2024. 2025.

En el módulo de referencia, el coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) más fuerte se presentó en una línea de tendencia logarítmica que fue de 0.4843, es decir, la relación estadística de los datos fue del 48.43% y la relación más débil fue de 0.4785 en una línea de tendencia exponencial (Tabla 38).

En el módulo con techo verde el valor mayor de  $R^2$  fue de 0.5539, es decir del 55.39% y se presentó en dos líneas de tendencia: lineal y polinómica. En el módulo de techo con poliestireno la  $R^2$  fue de 0.5041, esto es un 50.41% en dos líneas de tendencia: logarítmica y polinómica (Tabla 38). Lo anterior mostró que el coeficiente de determinación fue mayor en el módulo con techo verde.

| <b>Tabla 38</b><br><i>Periodo templado. Coeficiente de correlación de Pearson, <math>R^2</math> y regresión entre la temperatura de bulbo seco interior y el exterior.</i> |                             |                    |        |                                     |
|--|-----------------------------|--------------------|--------|-------------------------------------|
| Módulo   | Coeficiente de correlación* | Línea de tendencia | $R^2$  | Ecuación de regresión               |
| MVB  | 0.69                        | Lineal             | 0.4828 | $y = 0.4972x + 16.251$              |
|  |                             | Logarítmica        | 0.4843 | $y = 15.103\ln(x) - 20.021$         |
|  |                             | Polinómica         | 0.4837 | $y = -0.0048x^2 + 0.7922x + 11.811$ |
|  |                             | Exponencial        | 0.4785 | $y = 19.301e0.0158x$                |
| MTV  | 0.74                        | Lineal             | 0.5539 | $y = 0.4878x + 16.378$              |
|  |                             | Logarítmica        | 0.5528 | $y = 14.78\ln(x) - 19.081$          |
|  |                             | Polinómica         | 0.5539 | $y = -0.0007x^2 + 0.5304x + 15.737$ |
|  |                             | Exponencial        | 0.5645 | $y = 19.356e0.0156x$                |
| MTP  | 0.71                        | Lineal             | 0.5038 | $y = 0.4716x + 17.001$              |
|  |                             | Logarítmica        | 0.5041 | $y = 14.308\ln(x) - 17.346$         |
|  |                             | Polinómica         | 0.5041 | $y = -0.0027x^2 + 0.6394x + 14.475$ |
|  |                             | Exponencial        | 0.4965 | $y = 19.769e0.015x$                 |

**Nota.** MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia), MTV= Módulo con techo verde, MTP= Módulo de techo con poliestireno.

\* Si  $R = 1$ , existe una correlación positiva perfecta entre X e Y

Si  $R = -1$ , existe una correlación negativa perfecta entre X e Y

Si  $R = 0$ , no existe correlación lineal, pudiendo existir otro tipo de relación

Si  $-1 < R < 0$ , existe correlación negativa y dependencia inversa, mayor cuanto más se aproxime a -1

Si  $0 < R < 1$ , existe correlación positiva, y dependencia directa, mayor cuanto más se aproxime a 1

\*\* Si  $R^2 = 1$ , existe dependencia funcional; la totalidad de la variabilidad de Y es explicada por la regresión

Si  $R^2 = 0$ , dependencia nula; la variable explicativa no aporta información válida para la estimación de la variable explicada

Si  $R^2 \geq 0.75$ , se acepta el modelo ajustado

Fuente: Elaboración propia.

En el módulo de referencias, el coeficiente de determinación múltiple ( $R^2$ ) más grande se presentó en una línea de base de referencias que fue de 0.927, lo que indica una relación estadística de los datos de 0.85 y se relaciona más estrechamente con 0.927 en una línea de base de referencias experimentales (Tabla 2).

En el módulo con factor variable el valor máximo de  $R^2$  fue de 0.927, lo que indica que se presentó en dos líneas de base de referencias para el módulo de 0.927 y se presentó en  $R^2$  más de 0.927, pero en un 0.927 más de referencias estadísticas y estadísticas (Tabla 2). La menor muestra que el coeficiente de determinación fue mayor en el módulo con factor variable.

| Linea de Base de Referencias    | Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) | Coeficiente de Correlación ( $R$ ) |
|---------------------------------|--|------------------------------------|
| Linea de Base de Referencias 1  | 0.927                                  | 0.963                              |
| Linea de Base de Referencias 2  | 0.927                                  | 0.963                              |
| Linea de Base de Referencias 3  | 0.927                                  | 0.963                              |
| Linea de Base de Referencias 4  | 0.927                                  | 0.963                              |
| Linea de Base de Referencias 5  | 0.927                                  | 0.963                              |
| Linea de Base de Referencias 6  | 0.927                                  | 0.963                              |
| Linea de Base de Referencias 7  | 0.927                                  | 0.963                              |
| Linea de Base de Referencias 8  | 0.927                                  | 0.963                              |
| Linea de Base de Referencias 9  | 0.927                                  | 0.963                              |
| Linea de Base de Referencias 10 | 0.927                                  | 0.963                              |

En cuanto a la ecuación de regresión obtenida, esta permitirá extrapolar datos en función de la variable independiente, es decir, con base en una temperatura de bulbo seco exterior dada ( $x$ ) se podrá proyectar o estimar un valor de temperatura de bulbo seco interior ( $y$ ), para diferentes periodos de estudio. Se escogería la de mejor ajuste o la que presente un valor de  $R^2$  cercano a 1 o -1, en el caso del techo verde las ecuaciones serían:  $y = 0.4878x + 16.378$  o  $y = -0.0007x^2 + 0.5304x + 15.737$ .

En cuanto a la ecuación de la función de la variable independiente, en esta, los datos de los momentos de trabajo son exteriormente (a) se puede observar a través de los momentos de trabajo (b), para diferentes períodos de tiempo de trabajo, la variable independiente (y), que presenta un vector de 12, donde  $y = 12$ , en el caso de los momentos de trabajo, y  $y = 12$  en el caso de los momentos de trabajo.

### 3.5. Prueba con ventanas abiertas.

En este apartado se presenta el análisis del monitoreo térmico realizado en los tres módulos de prueba durante cinco días (01 al 06 de julio) pertenecientes a un periodo cálido estimado por medio de un diagnóstico bioclimático para Mérida, Yucatán. La prueba consistió en medir temperatura (bulbo seco y globo negro) y humedad relativa en los tres módulos de prueba pero sin vidrios en las ventanas, para representar la acción habitual de los habitantes de viviendas de tipo económico de abrir las ventanas, sobre todo, en temporada de calor y que sirvió para conocer el efecto del viento en las mediciones realizadas (Figura 94).



Fuente: Archivo personal.

Figura 94. Prueba 1: Módulos con ventanas abiertas.

En esta prueba, los registros de temperatura de bulbo seco (TBS) indicaron que la TBS máxima del exterior fue de  $36.08^{\circ}\text{C}$ , en los módulos de prueba la TBS máxima, fue la siguiente:  $34.39^{\circ}\text{C}$  en el módulo de referencia,  $34.89^{\circ}\text{C}$  en el módulo con techo verde,  $34.57^{\circ}\text{C}$  en el módulo de techo con poliestireno. En relación a la TBS mínima los registros del monitoreo indicaron que en el exterior esta fue de  $23.10^{\circ}\text{C}$ ,  $24.46^{\circ}\text{C}$  en el módulo de referencia,  $24.70^{\circ}\text{C}$  en el módulo con techo verde,  $24.51^{\circ}\text{C}$  en el módulo de techo con poliestireno (Tabla 39).



La temperatura promedio del exterior fue de 28.05°C, de 28.42°C en el módulo de referencia, 28.58°C en el módulo con techo verde y de 28.29°C en el módulo de techo con poliestireno (Tabla 39). Lo anterior mostró que en el interior la temperatura fue mayor en comparación con el exterior, 1.32% mayor en el módulo de referencia, 1.89% en el módulo con techo verde y 0.86% en el módulo de techo con poliestireno. El módulo con techo verde mostró temperaturas mayores en comparación con los otros dos módulos, aunque esta diferencia fue menor a 1°C, esto debido al efecto de la masa térmica que retuvo el proceso de flujo de calor en sus capas.

**Tabla 39**

*Periodo cálido con ventanas abiertas. Temperaturas máximas, promedio y mínimas.*

| Temperaturas (°C) | Módulo techo vigueta y bovedilla (MVB) | Módulo techo verde (MTV) | Módulo techo de poliestireno (MTP) | Exterior |
|-------------------|--|--------------------------|------------------------------------|----------|
| Máxima            | 34.39                                  | 34.89                    | 34.57                              | 36.08    |
| Promedio          | 28.42                                  | 28.58                    | 28.29                              | 28.05    |
| Mínima            | 24.46                                  | 24.70                    | 24.51                              | 23.10    |

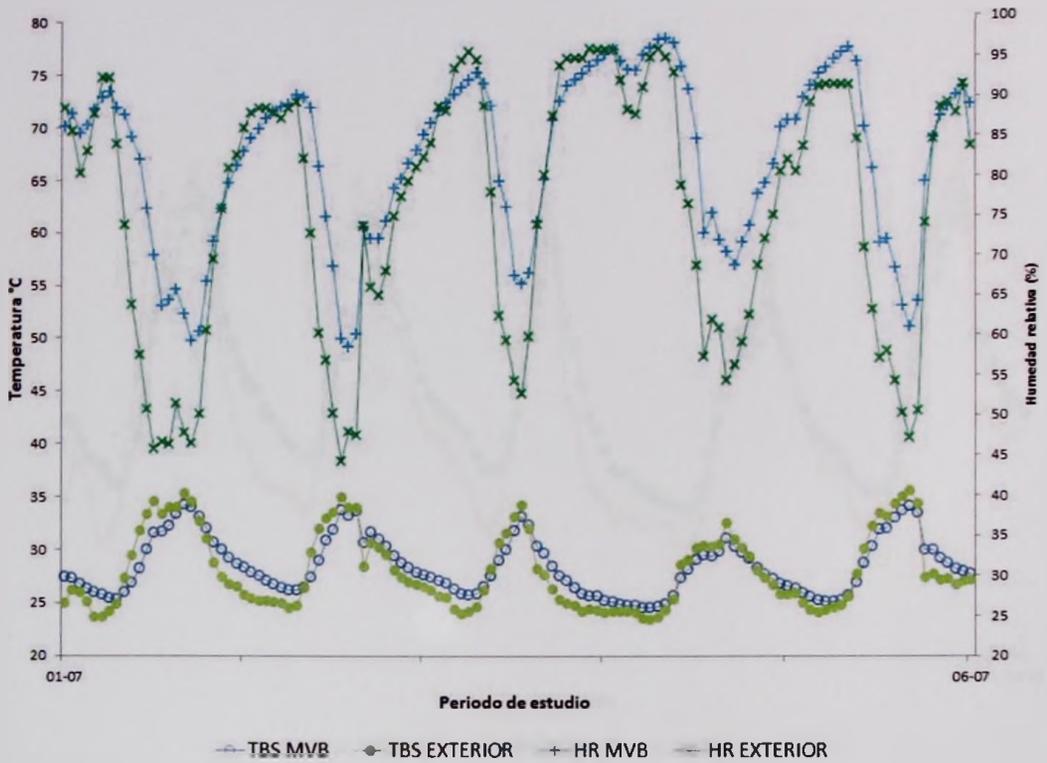
Fuente: Elaboración propia.

En el módulo de referencia la TBS fue similar a la TBS exterior mientras que la humedad relativa interior presentó oscilaciones de hasta 40%, esto por efecto del viento que permitió la liberación de la humedad interior. En este módulo la humedad relativa máxima registrada fue de 97.68%, la mínima de 56.64% y la promedio de 82.57% (Figura 95a). En relación con la temperatura de globo negro (TGN) esta fue similar a la TBS interior, por lo que en la figura 95b las curvas se sobreponen, esto indicó que la ganancia o pérdida de calor por radiación no fue significativa en la mayor parte de los días de este periodo de estudio.

La temperatura promedio del exterior fue de 28.95°C, de 22.45°C en el módulo de referencia, 26.58°C en el módulo con lactina verde y de 28.29°C en el módulo de lacto con poliestireno (Tabla 3B). La animal mostró más de un pico de temperatura, fue mayor en comparación con el exterior. El 23% mayor en el módulo de referencia, 1.59% en el módulo con lacto verde y 0.88% en el módulo de lacto con poliestireno. El módulo con lacto verde mostró temperatura más alta en comparación con los otros dos módulos, aunque esta diferencia fue menor a 1°C. Los picos de temperatura de la masa térmica que estuvo en proceso de fero se dieron en las ceras.

| Variable         | Exterior | Módulo de referencia | Módulo con lacto verde | Módulo con poliestireno |
|------------------|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| Temperatura (°C) | 28.95    | 22.45                | 26.58                  | 28.29                   |
| Humedad (%)      | 78.11    | 78.11                | 78.11                  | 78.11                   |
| Velocidad (m/s)  | 0.41     | 0.41                 | 0.41                   | 0.41                    |

En el módulo de referencia la TBS fue similar a la TBS exterior, mientras que la humedad relativa interior presentó oscilaciones de hasta 10% con respecto al exterior que permitió la liberación de la humedad interior. En este módulo se mantuvo la máxima humedad registrada fue de 73.58%, la mínima de 59.04% y la promedio de 66.31% (Figura 2a). En relación con la temperatura, la gráfica (Figura 2b) muestra que la TBS interior, por lo que en la figura 2b se puede observar que el módulo de lacto con poliestireno presentó la pérdida de calor por radiación en los días de mayor parte de los días de este periodo de estudio.



Periodo de estudio= 01 al 06 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

(a). Temperatura de bulbo seco y humedad relativa interior en comparación con el exterior.

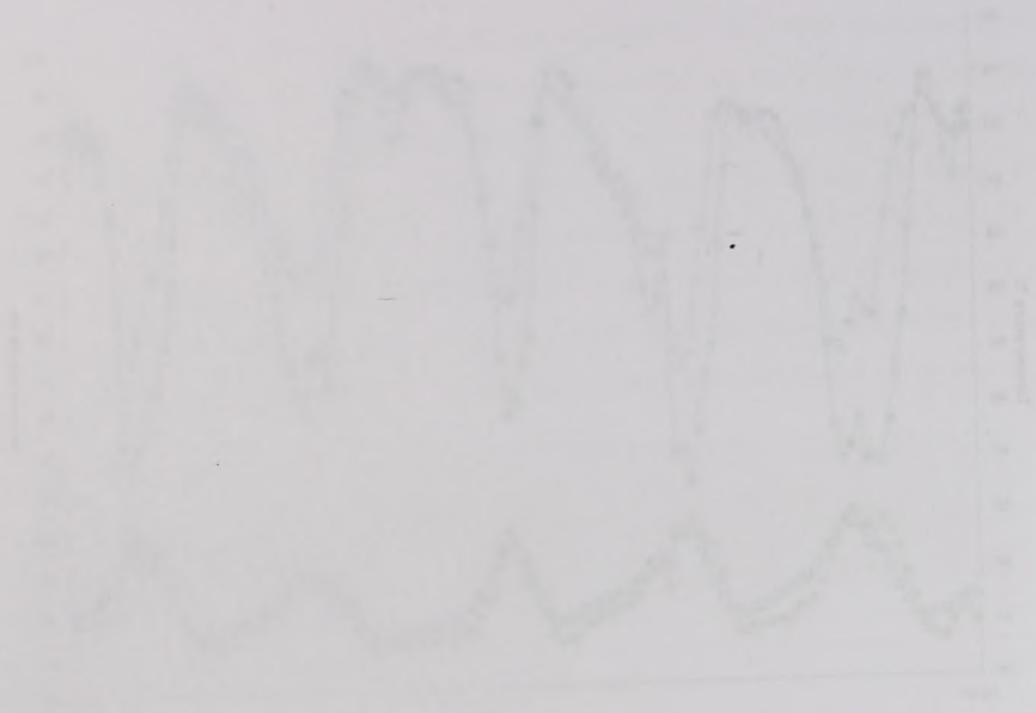
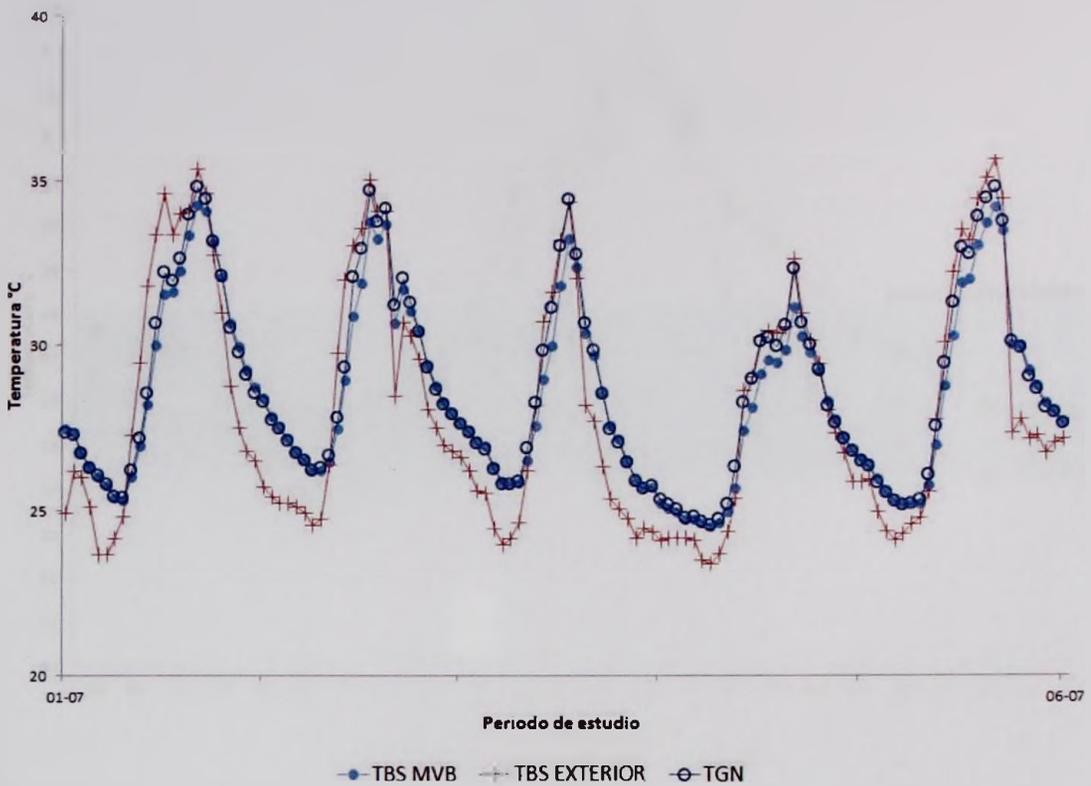


Fig. 1. Comparison of the waveforms of the two signals. The upper curve is the 100 Hz signal and the lower curve is the 50 Hz signal. The two signals are shown for comparison.



*Periodo de estudio*= 01 al 06 de julio, *TBS*= Temperatura de bulbo seco, *TGN*= Temperatura de globo negro, *MVB*= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

(b). Comparación de temperatura de bulbo seco con temperatura de globo negro.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 95. Desempeño térmico del módulo de vigueta y bovedilla. Prueba con ventanas abiertas.

En un día representativo se compararon la TBS interior y la TGN, esto mostró que todas las horas del día la TGN fue mayor a la TBS, particularmente de las 13:00 a las 15:00 horas cuando se registraron las temperaturas máximas exteriores e interiores (Figura 96).

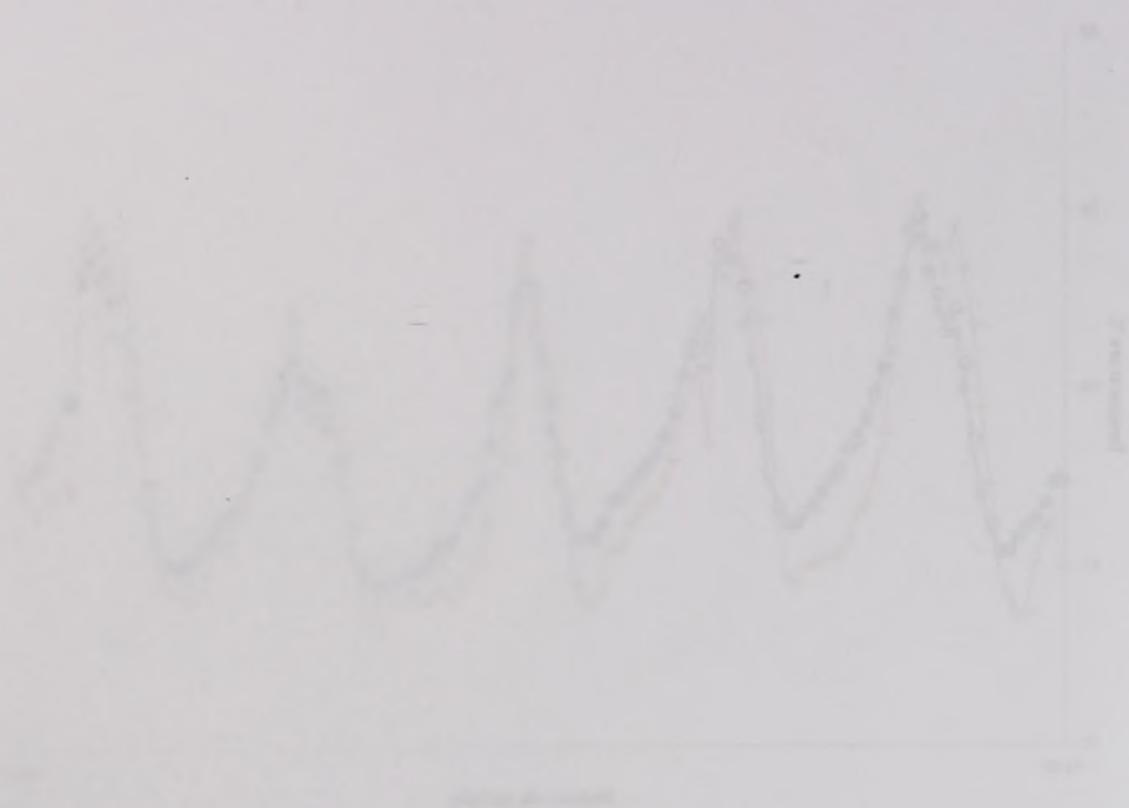
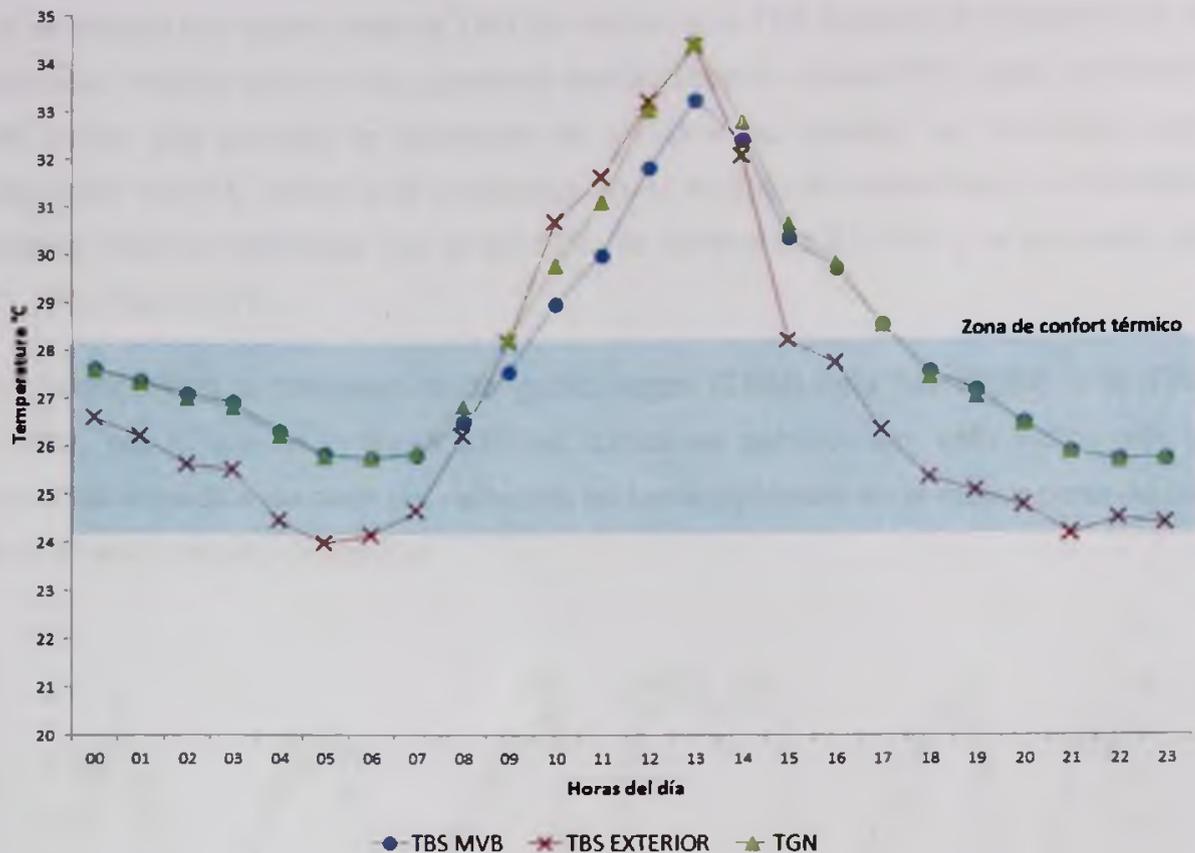


Fig. 1. Pressure (mm Hg) vs. time (sec) for a patient with aortic stenosis. The pressure is recorded during the cardiac cycle. The pressure is high during the systole and low during the diastole. The pressure is recorded during the cardiac cycle. The pressure is high during the systole and low during the diastole.

(b) Comparison of the pressure waveform in a patient with aortic stenosis and a patient with aortic regurgitation. The pressure is recorded during the cardiac cycle. The pressure is high during the systole and low during the diastole.

For an aortic stenosis, the pressure is recorded during the cardiac cycle. The pressure is high during the systole and low during the diastole. The pressure is recorded during the cardiac cycle. The pressure is high during the systole and low during the diastole.



Día representativo= 03 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 96. Temperatura de bulbo seco y temperatura de globo negro en comparación con el exterior y zona de confort térmico (Día representativo). Prueba con ventanas abiertas.

En relación con la zona de confort térmico la TBS y la TGN estuvieron por encima de esta zona de las 10:00 a las 18:00 horas y el resto de las horas del día dentro de la zona de confort térmico, de las 24:00 a las 10:00 y de las 18:00 a las 24:00 horas (Tabla 40).

Tabla 40

Periodo cálido con ventanas abiertas. TBS y TGN en relación con la zona de confort térmico (Día representativo).

| Módulo | Encima de la zona de confort térmico | Dentro de la zona de confort térmico | Debajo de la zona de confort térmico |
|--------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| MVB    | 8 h<br>33.33%                        | 16 h<br>66.67%                       | ---                                  |

Fuente: Elaboración propia.



Figure 1: Intensity vs. Wavelength graph showing a peak at approximately 650 nm.

The graph displays the relationship between the wavelength of light and its intensity. The x-axis represents the wavelength in nanometers (nm), and the y-axis represents the relative intensity. The curve shows a characteristic emission spectrum with a single prominent peak.

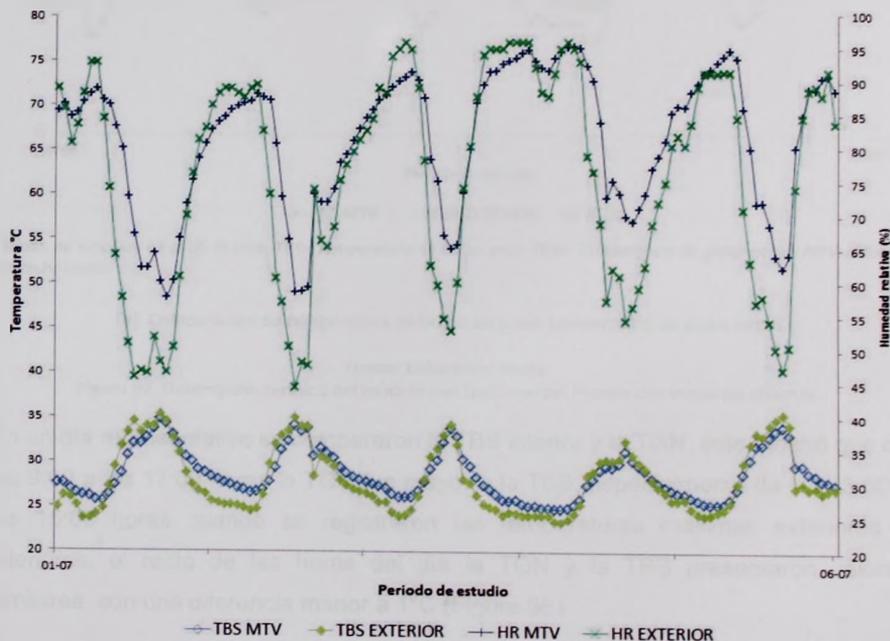
The peak of the curve is observed at a wavelength of approximately 650 nm, which corresponds to the red region of the visible spectrum. This indicates that the light source emits most strongly in the red region.

The intensity of the light decreases significantly as the wavelength moves away from the peak, both towards shorter (blue/violet) and longer (infrared) wavelengths. This behavior is typical of a narrow emission line or a laser source.

| Wavelength (nm) | Relative Intensity |
|-----------------|--------------------|
| 400             | 0.1                |
| 500             | 0.2                |
| 600             | 0.8                |
| 650             | 1.0                |
| 700             | 0.8                |
| 800             | 0.2                |
| 900             | 0.1                |

En el módulo con techo verde la TBS fue similar a la TBS exterior, en relación con la humedad relativa interior esta presentó oscilaciones de hasta 35°C, esto por efecto del viento que permitió la liberación de la humedad interior, sin embargo, esta oscilación fue 5°C menor a la registrada en el módulo de referencia. La humedad relativa máxima registrada fue de 95.87%, la mínima de 57.04% y la promedio de 81.56% (Figura 97a).

En relación con la temperatura de globo negro (TGN) esta fue similar a la TBS interior, por lo que en la figura 97b las curvas se superponen, esto indicó que la ganancia o pérdida de calor por radiación no fue significativa en la mayor parte de los días de este periodo de estudio.



Periodo de estudio= 01 al 06 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa, MTV= Módulo con techo verde.

(a). Temperatura de bulbo seco y humedad relativa interior en comparación con el exterior.

En el módulo con techo verde la TBS fue similar a la TBS exterior, en relación con la humedad relativa interior esta presentó variaciones de entre 35°C, solo por efecto del viento que permitió la renovación de la humedad interior, en promedio esta oscilación fue 5°C menor a la registrada en el módulo de referencia. La humedad relativa máxima registrada fue de 82.5%, la mínima de 57.5% y la promedio de 67.5% (Figura 91a).

En relación con la temperatura de punto negro (TPN) entre las series a la TBS interior, por lo que en el punto TPN las curvas se aproximan, esto indica que la ganancia o pérdida de calor es reflejada en las superficies en la mayor parte de los días de este periodo de estudio.

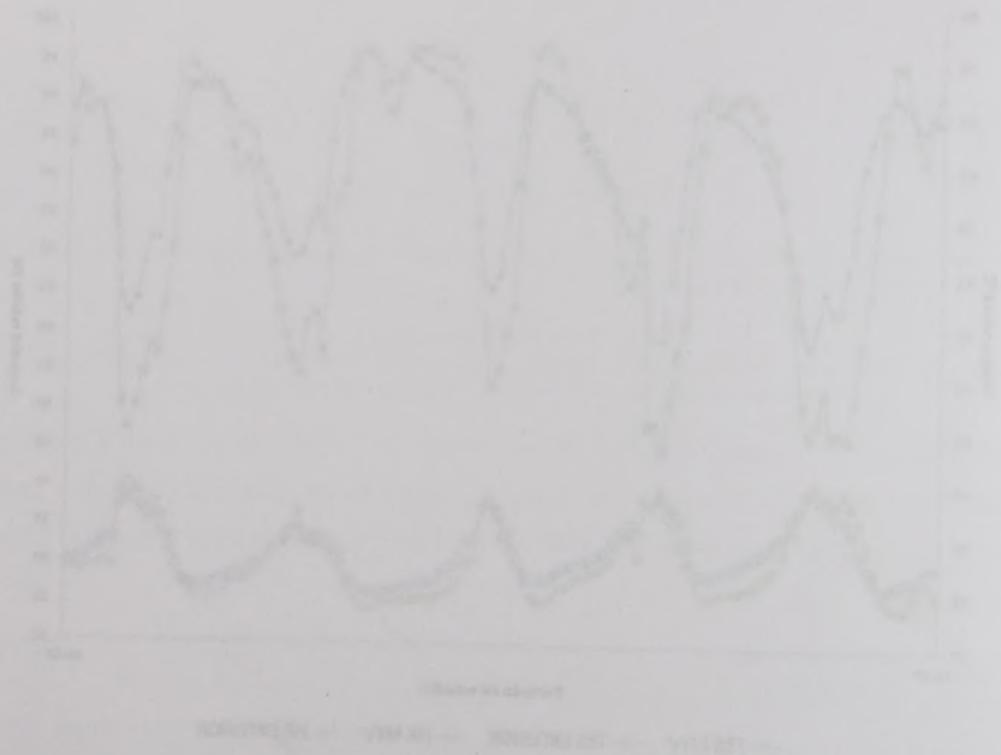
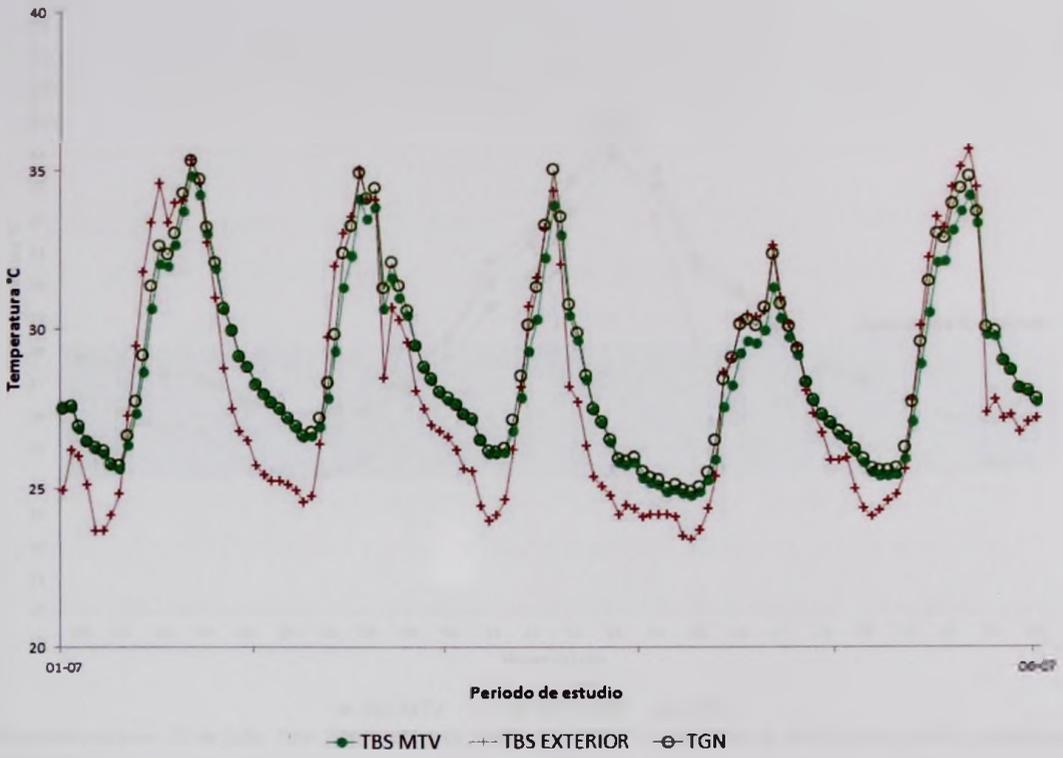


Figura 91a. Variación de la humedad relativa y la temperatura de punto negro en el módulo de referencia y el módulo con techo verde durante el periodo de estudio.

(a) Variación de la humedad relativa y la temperatura de punto negro en el módulo de referencia y el módulo con techo verde durante el periodo de estudio.



Periodo de estudio= 01 al 06 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MTV= Módulo con techo verde.

(b). Comparación de temperatura de bulbo seco con temperatura de globo negro.

Fuente: Elaboración propia.

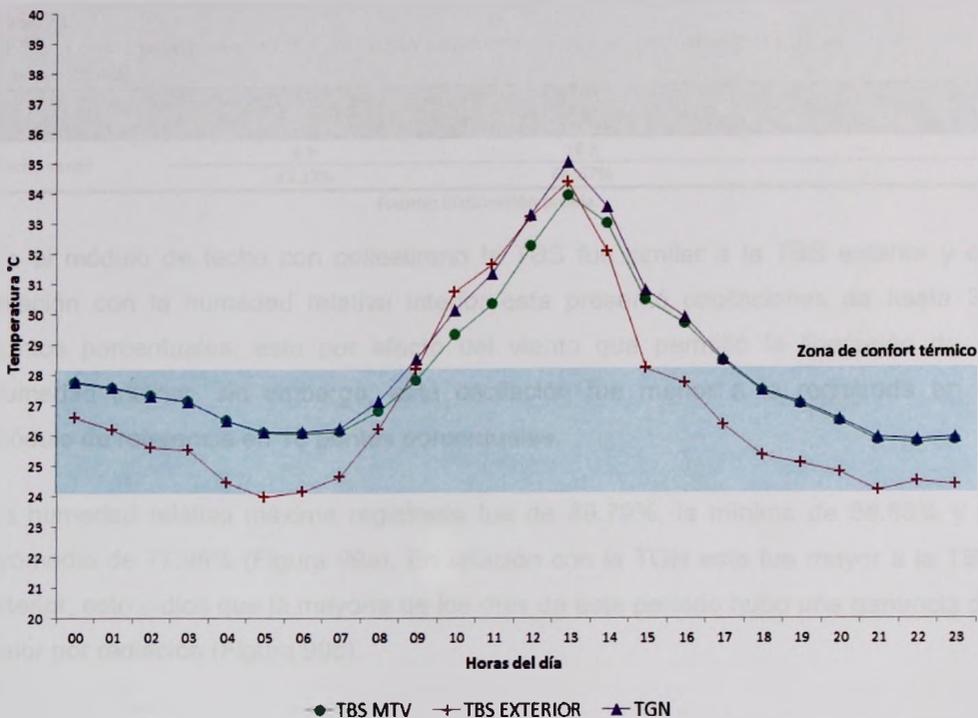
Figura 97. Desempeño térmico del módulo con techo verde. Prueba con ventanas abiertas.

En un día representativo se compararon la TBS interior y la TGN, esto mostró que de las 9:00 a las 17:00 horas la TGN fue mayor a la TBS, especialmente de las 13:00 a las 15:00 horas cuando se registraron las temperaturas máximas exteriores e interiores, el resto de las horas del día la TGN y la TBS presentaron valores similares, con una diferencia menor a 1°C (Figura 98).



Figure 1. A line graph showing a periodic, oscillating signal. The signal has a regular, repeating pattern with approximately four full cycles visible. The peaks and troughs are clearly defined, suggesting a sinusoidal or similar periodic waveform. The x-axis and y-axis are present but their scales and labels are illegible due to the image's low resolution.

The graph displays a periodic waveform with a consistent amplitude and frequency. The signal oscillates between a maximum and minimum value, characteristic of a periodic function. The overall appearance is that of a clean, regular signal, possibly representing a specific physical or mathematical phenomenon.



**Día representativo= 03 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MTV= Módulo con techo verde**

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 98.** Temperatura de bulbo seco y temperatura de globo negro en comparación con el exterior y zona de confort térmico (Día representativo). Prueba con ventanas abiertas.

En relación con la zona de confort térmico, la TBS y la TGN del módulo con techo verde fueron similares a las registradas en el módulo de referencia, ya que de las 10:00 a las 18:00 horas estuvieron encima de la zona de confort térmico. El resto de las horas del día dentro de la zona de confort térmico (Tabla 41), y en este horario la TBS y la TGN registraron un balance térmico en la mayoría de las horas, efecto que no se presentó en los otros dos módulos.



Figura 2. Temperatura ambiente en la zona de estudio durante el día del 15 de mayo de 2017. La temperatura ambiente en la zona de estudio durante el día del 15 de mayo de 2017 se muestra en la Figura 2. La temperatura ambiente en la zona de estudio durante el día del 15 de mayo de 2017 se muestra en la Figura 2.

En relación con la zona de estudio, la temperatura ambiente en la zona de estudio durante el día del 15 de mayo de 2017 se muestra en la Figura 2. La temperatura ambiente en la zona de estudio durante el día del 15 de mayo de 2017 se muestra en la Figura 2. La temperatura ambiente en la zona de estudio durante el día del 15 de mayo de 2017 se muestra en la Figura 2.

**Tabla 41**

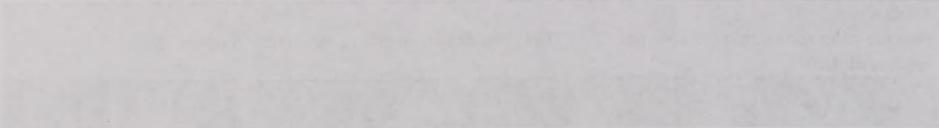
*Periodo cálido con ventanas abiertas. TBS y TGN en relación con la zona de confort térmico (Día representativo).*

| Modulo      | Encima de la zona de confort térmico | Dentro de la zona de confort térmico | Debajo de la zona de confort térmico |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Techo verde | 8 h                                  | 16 h                                 | ---                                  |
|             | 33.33%                               | 66.67%                               | ---                                  |

Fuente: Elaboración propia.

En el módulo de techo con poliestireno la TBS fue similar a la TBS exterior y en relación con la humedad relativa interior esta presentó oscilaciones de hasta 30 puntos porcentuales, esto por efecto del viento que permitió la liberación de la humedad interior, sin embargo, esta oscilación fue menor a la registrada en el módulo de referencia en 10 puntos porcentuales.

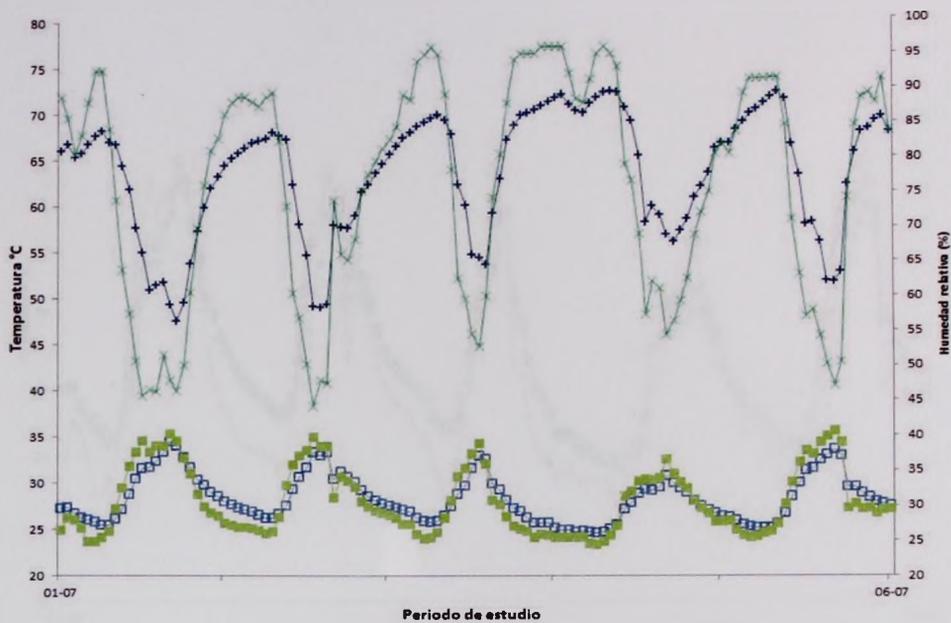
La humedad relativa máxima registrada fue de 89.79%, la mínima de 56.53% y la promedio de 77.95% (Figura 99a). En relación con la TGN esta fue mayor a la TBS interior, esto indicó que la mayoría de los días de este periodo hubo una ganancia de calor por radiación (Figura 99b).



En el módulo de teatro con el desarrollo de 700 y 800 años a la 180 teatro y en relación con la humedad relativa interior que depende de los factores de la humedad exterior, esto que depende de varios factores como la humedad de la humedad interior, en cualquier caso, relación de la humedad a la humedad en el módulo de referencia en 10 grados porcentuales.

La humedad relativa máxima registrada en el 1997, la humedad de 20 20% y la humedad de 77 20% (Figura 20). En cualquier caso, la humedad de la humedad a la 180 años, esto indica que la humedad de la humedad de este periodo no es demasiado alta por razones (Figura 20).

En el módulo de teatro con el desarrollo de 700 y 800 años a la 180 teatro y en relación con la humedad relativa interior que depende de los factores de la humedad exterior, esto que depende de varios factores como la humedad de la humedad interior, en cualquier caso, relación de la humedad a la humedad en el módulo de referencia en 10 grados porcentuales.



—□— TBS MTP    —■— TBS EXTERIOR    —+— HR MTP    —x— HR EXTERIOR

Periodo de estudio= 01 al 06 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa, MTP= Módulo de techo con poliestireno.

(a). Temperatura de bulbo seco y humedad relativa en comparación con el exterior.

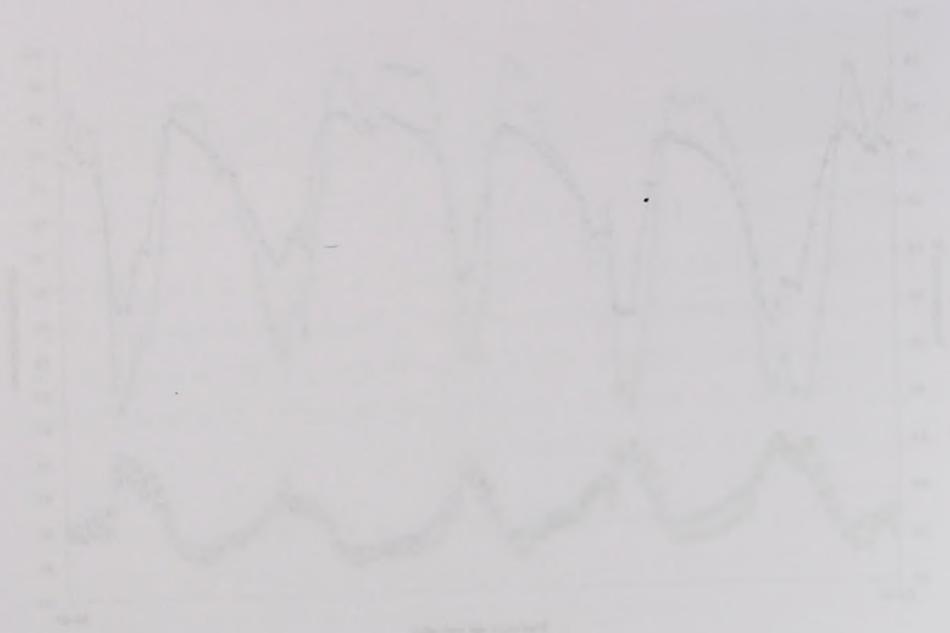
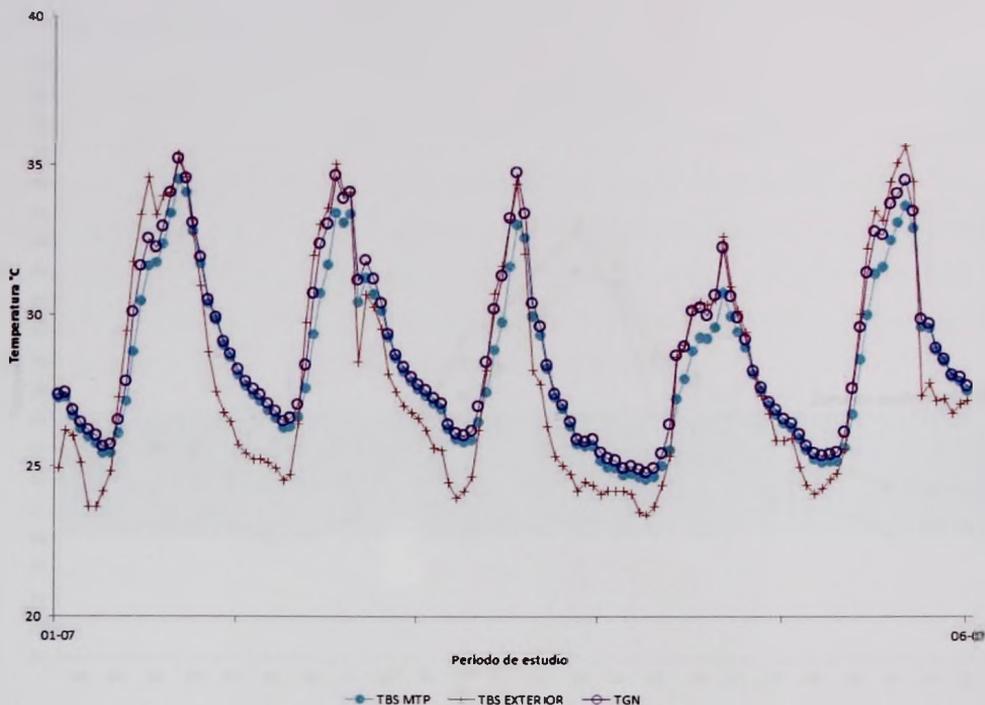


Figura 1. Gráfico de amplitud versus tiempo para un sistema de control de temperatura. El eje horizontal representa el tiempo en segundos (s) y el eje vertical representa la amplitud en grados Celsius (°C). El gráfico muestra dos curvas oscilatorias que representan la respuesta del sistema ante una perturbación. La curva superior muestra una mayor amplitud y frecuencia de oscilación, mientras que la curva inferior muestra una menor amplitud y frecuencia de oscilación.



Periodo de estudio= 01 al 06 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MTP= Módulo de techo con poliestireno.

(b). Comparación de temperatura de bulbo seco con temperatura de globo negro.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 99. Desempeño térmico del módulo de techo con poliestireno. Prueba con ventanas abiertas.

En un día representativo se compararon la TBS interior y la TGN, esto mostró que la mayor parte de las horas la TGN fue mayor a la TBS, especialmente de las 13:00 a las 15:00 horas cuando se registraron las temperaturas máximas exteriores e interiores (Figura 100).

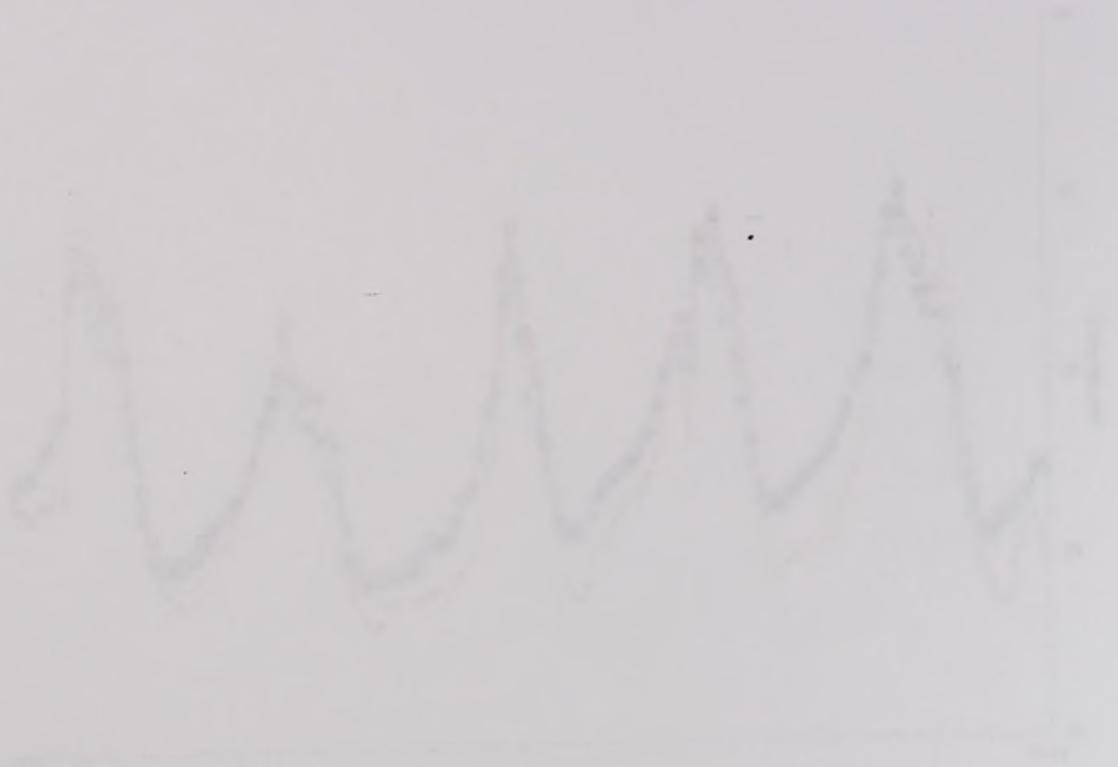


Figura 100. Diagrama de un sistema de control de temperatura de un edificio.

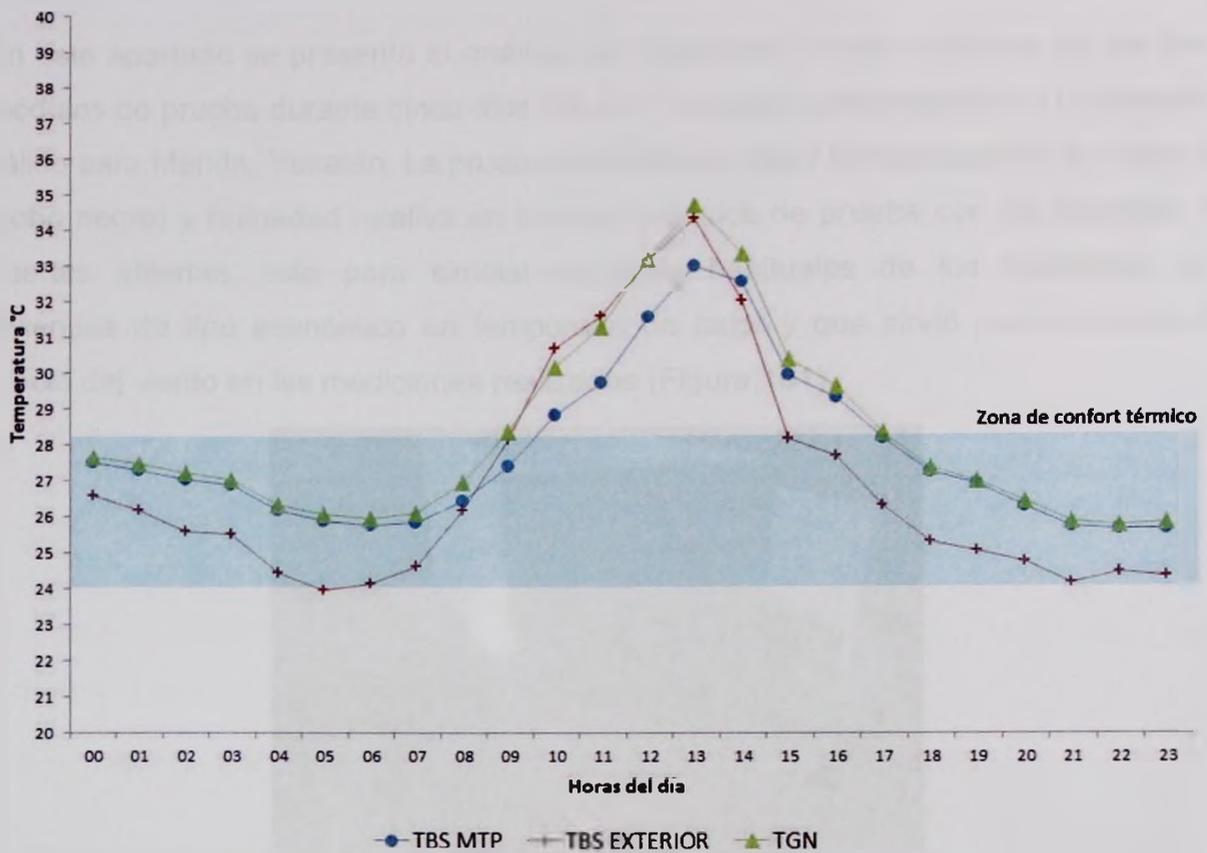
El diagrama muestra la variación de la temperatura interior del edificio a lo largo del tiempo.

Temperatura interior (°C)

Figura 101. Diagrama de un sistema de control de iluminación de un edificio.

El diagrama muestra la variación de la intensidad de la iluminación interior del edificio a lo largo del tiempo.

Intensidad de iluminación (lux)



Día representativo= 03 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MTP= Módulo de techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 100. Temperatura de bulbo seco y temperatura de globo negro en comparación con el exterior y zona de confort térmico (Día representativo). Prueba con ventanas abiertas.

En relación con la zona de confort térmico la TBS y la TGN fue similar en los tres módulos, de las 10:00 a las 18:00 horas estuvieron encima de la zona de confort térmico y el resto de las horas del día dentro de la zona de confort térmico (Tabla 42).

Tabla 42

Periodo cálido con ventanas abiertas. TBS y TGN en relación con la zona de confort térmico (Día representativo).

| Módulo                 | Encima de la zona de confort térmico | Dentro de la zona de confort térmico | Debajo de la zona de confort térmico |
|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Techo con poliestireno | 8 h<br>33.33%                        | 16 h<br>66.67%                       | ---                                  |

Fuente: Elaboración propia.



El desarrollo de la obra arquitectónica se basa en el estudio de las condiciones del terreno y el entorno urbano. El proyecto se desarrolla en un terreno de 1000 m<sup>2</sup> y se plantea un programa de vivienda para 10 familias. El diseño se basa en la creación de un espacio común y en la integración de los espacios privados. El proyecto se desarrolla en un terreno de 1000 m<sup>2</sup> y se plantea un programa de vivienda para 10 familias. El diseño se basa en la creación de un espacio común y en la integración de los espacios privados. El proyecto se desarrolla en un terreno de 1000 m<sup>2</sup> y se plantea un programa de vivienda para 10 familias. El diseño se basa en la creación de un espacio común y en la integración de los espacios privados.

| Item | Quantity | Unit | Price |
|------|----------|------|-------|
| ...  | ...      | ...  | ...   |
| ...  | ...      | ...  | ...   |
| ...  | ...      | ...  | ...   |
| ...  | ...      | ...  | ...   |
| ...  | ...      | ...  | ...   |

### 3.6. Prueba con ventanas y puertas abiertas.

En este apartado se presenta el análisis del monitoreo térmico realizado en los tres módulos de prueba durante cinco días (06 al 11 de julio) pertenecientes a un periodo cálido para Mérida, Yucatán. La prueba consistió en medir temperatura (bulbo seco y globo negro) y humedad relativa en los tres módulos de prueba con las ventanas y puertas abiertas, esto para simular acciones habituales de los habitantes de viviendas de tipo económico en temporada de calor y que sirvió para conocer el efecto del viento en las mediciones realizadas (Figura 101).



Fuente: Archivo personal.

**Figura 101.** Prueba 2: Módulos con ventanas y puertas abiertas.

Es importante mencionar que durante este periodo de estudio se registraron lluvias de moderadas a fuertes en la mayor parte de los días así como vientos fuertes de 20.1 a 40 km/h provenientes del Noreste en la mayor parte de la Península de Yucatán.

En esta prueba, los registros de temperatura de bulbo seco (TBS) indicaron que la TBS máxima del exterior fue de 36.95°C, en los módulos de prueba la TBS máxima, fue la siguiente: 35.99°C en el módulo de referencia, 35.88°C en el módulo con techo verde, 35.16°C en el módulo de techo con poliestireno. En relación a la TBS mínima los registros del monitoreo indicaron que en el exterior esta fue de 22.72°C, 23.91°C

En este apartado se presenta el estudio de los resultados obtenidos en las pruebas de humedad relativa en el interior de las viviendas durante las pruebas de ventilación. Los datos de humedad relativa se muestran en los gráficos y tablas adjuntas. En general, se puede observar que la humedad relativa en el interior de las viviendas es superior a la humedad relativa en el exterior, lo que indica que el aire interior es más húmedo que el aire exterior. Esto puede deberse a la presencia de fuentes de humedad en el interior, como la respiración humana, la transpiración y la humedad del suelo.

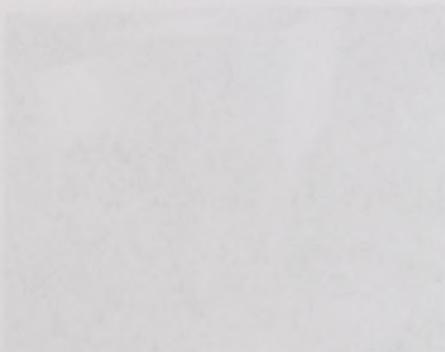


Gráfico 3.6. Humedad relativa en el interior de las viviendas.

El estudio de los resultados de las pruebas de humedad relativa en el interior de las viviendas muestra que la humedad relativa es superior a la humedad relativa en el exterior, lo que indica que el aire interior es más húmedo que el aire exterior. Esto puede deberse a la presencia de fuentes de humedad en el interior, como la respiración humana, la transpiración y la humedad del suelo.

En este apartado se presenta el estudio de los resultados obtenidos en las pruebas de humedad relativa en el interior de las viviendas durante las pruebas de ventilación. Los datos de humedad relativa se muestran en los gráficos y tablas adjuntas. En general, se puede observar que la humedad relativa en el interior de las viviendas es superior a la humedad relativa en el exterior, lo que indica que el aire interior es más húmedo que el aire exterior. Esto puede deberse a la presencia de fuentes de humedad en el interior, como la respiración humana, la transpiración y la humedad del suelo.

en el módulo de referencia, 24.10°C en el módulo con techo verde, 23.95°C en el módulo de techo con poliestireno (Tabla 43).

La temperatura promedio del exterior fue de 27.80°C, de 28.12°C en el módulo de referencia, 28.13°C en el módulo con techo verde y de 27.86°C en el módulo de techo con poliestireno. Lo anterior mostró que en el interior la temperatura fue mayor en comparación con el exterior, 1.15% mayor en el módulo de referencia, 1.19% en el módulo con techo verde y 0.22% en el módulo de techo con poliestireno (Tabla 43).

El módulo con techo verde mostró temperaturas mayores en comparación con los otros dos módulos, debido al retraso del flujo del calor por efecto de la masa térmica aplicada, aunque esta diferencia fue menor a 1°C y el módulo de techo con poliestireno mostró temperaturas menores en comparación con los otros dos módulos (Tabla 43).

**Tabla 43**

*Periodo cálido con puertas y ventanas abiertas. Temperaturas máximas, promedio y mínimas.*

| Temperaturas [°C] | Módulo techo viguera y bovedilla (MV8) | Módulo techo verde (MTV) | Módulo techo de poliestireno (MTP) | Exterior |
|-------------------|--|--------------------------|------------------------------------|----------|
| Máxima            | 35.99                                  | 35.88                    | 35.16                              | 36.95    |
| Promedio          | 28.12                                  | 28.13                    | 27.86                              | 27.80    |
| Mínima            | 23.91                                  | 24.10                    | 23.95                              | 22.72    |

Fuente: Elaboración propia.

En el módulo de referencia la TBS fue similar a la TBS exterior mientras que la humedad relativa interior presentó oscilaciones de hasta 35 puntos porcentuales, esto por efecto del viento que permitió la liberación de la humedad interior. En este módulo la humedad relativa máxima registrada fue de 99.03%, la mínima de 50.31% y la promedio de 85.27% (Figura 102a). En relación con la temperatura de globo negro (TGN) esta fue mayor o similar a la TBS interior, por lo que en la figura 102b las curvas se sobreponen la mayoría de los días de este periodo de estudio, esto también indicó que hubo una ganancia de calor por radiación en el interior.

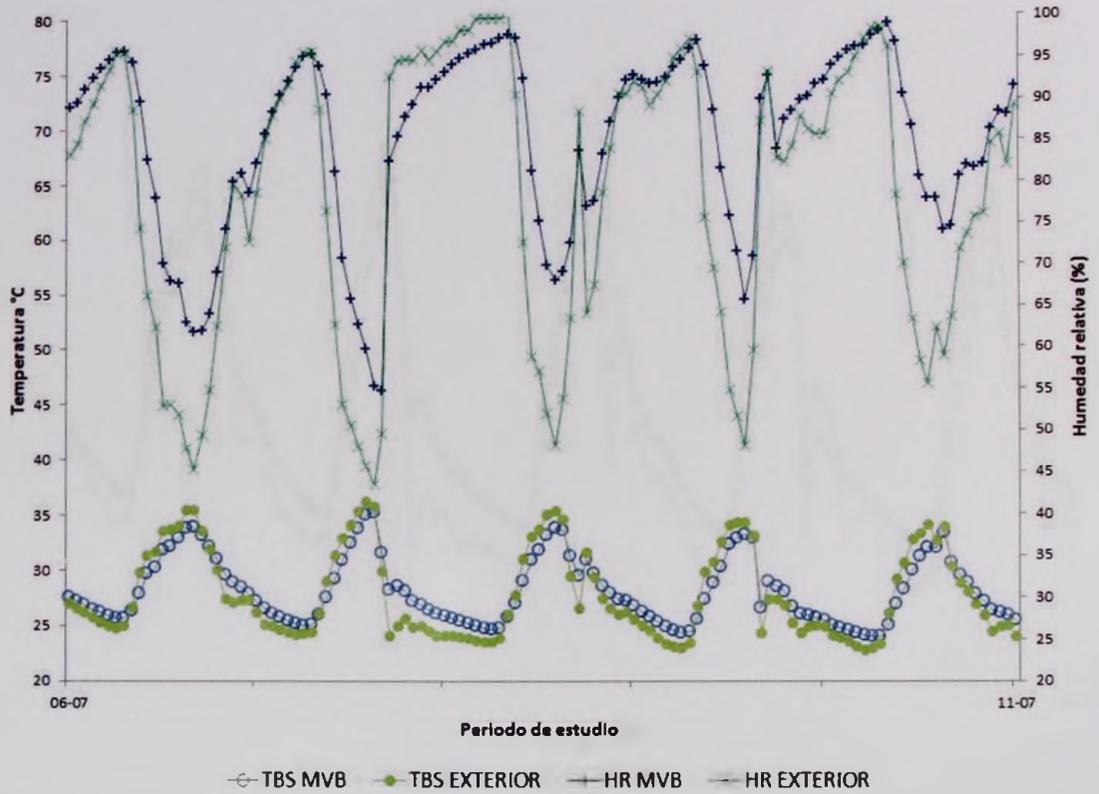
En el módulo de referencia 24.10°C en el módulo con aislamiento 23.93°C en el módulo de techo con aislamiento 17.53°C

La temperatura promedio del espacio fue de 27.30°C, de 25.12°C en el módulo de referencia, 26.12°C en el módulo con techo plano y de 27.86°C en el módulo de techo con aislamiento. La mayor humedad se presentó en la referencia, la mayor temperatura en el espacio fue de 27.86°C en el módulo de referencia, 27.12°C en el módulo con techo plano y 23.12°C en el módulo con techo con aislamiento. (Tabla 13)

El módulo con techo con aislamiento presentó menor temperatura en comparación con los otros dos módulos, debido a la mayor diferencia de temperatura entre el espacio y el módulo de techo con aislamiento, además de la mayor diferencia de temperatura entre el espacio y el módulo de techo con aislamiento. (Tabla 13)

| Variable             | Referencia | Techo plano | Techo con aislamiento |
|----------------------|------------|-------------|-----------------------|
| Temperatura promedio | 27.30      | 25.12       | 26.12                 |
| Temperatura máxima   | 27.86      | 27.12       | 23.12                 |
| Temperatura mínima   | 23.93      | 23.93       | 17.53                 |

En el módulo de referencia la TBC fue similar a la TBC espacio mientras que la humedad relativa interior presentó oscilaciones de hasta 35 puntos porcentuales. En este caso el efecto del viento que permite la ventilación de la humedad interior. En este caso la humedad relativa máxima registrada fue de 69.07%, el rango de 58.31% y la promedio de 58.37% (Figura 105a). En relación con la temperatura de globo (TGM) esta fue mayor o similar a la TBC espacio por lo que en la figura 105b se observan la mayoría de los días de este período de estudio, esto también indicó que hubo una ganancia de calor por radiación en el interior.



Periodo de estudio= 06 al 11 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

(a). Temperatura de bulbo seco y humedad relativa interior en comparación con el exterior.

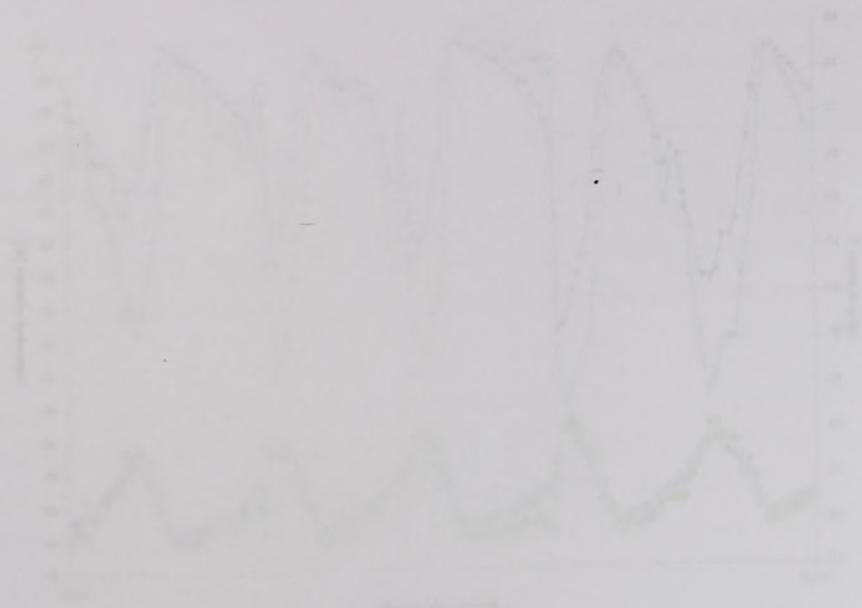
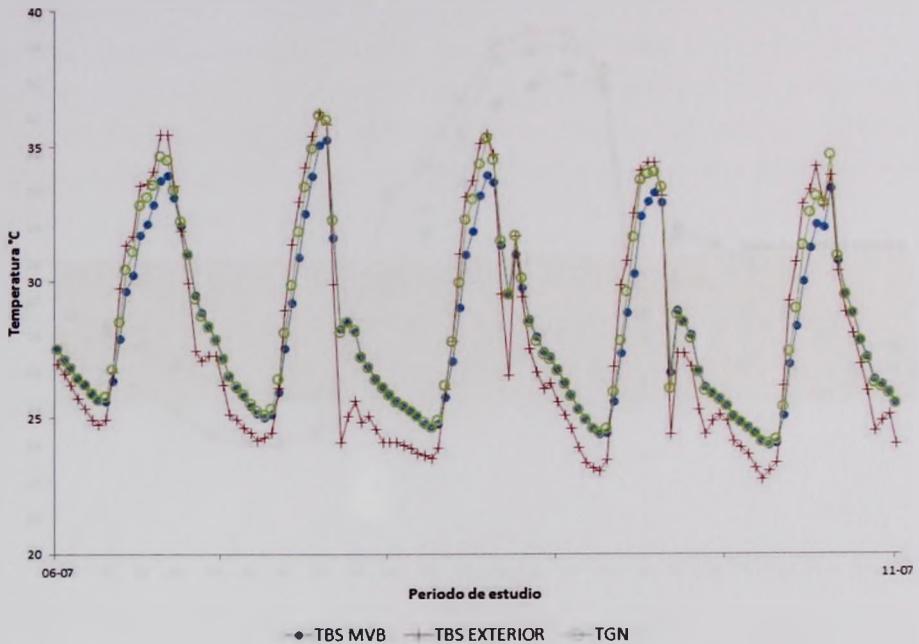


Fig. 1. Plan of the building.

The building is a rectangular structure with a central courtyard. The plan shows the layout of the rooms and the courtyard.

The drawing illustrates the architectural details of the building, including the placement of windows and doors.



Periodo de estudio= 06 al 11 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

(b). Comparación de temperatura de bulbo seco con temperatura de globo negro.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 102. Desempeño térmico del módulo de vigueta y bovedilla. Prueba con puertas y ventanas abiertas.

En un día representativo se compararon la TBS interior y la TGN, esto mostró que la mayor parte de las horas del día la TGN fue mayor a la TBS, especialmente de las 13:00 a las 15:00 horas cuando se registraron las temperaturas máximas exteriores e interiores. De las 16:00 a las 17:00 horas se presentó un cambio en las temperaturas debido al aumento de la humedad relativa exterior efecto de las lluvias esporádicas y aisladas de este periodo de estudio (Figura 103).

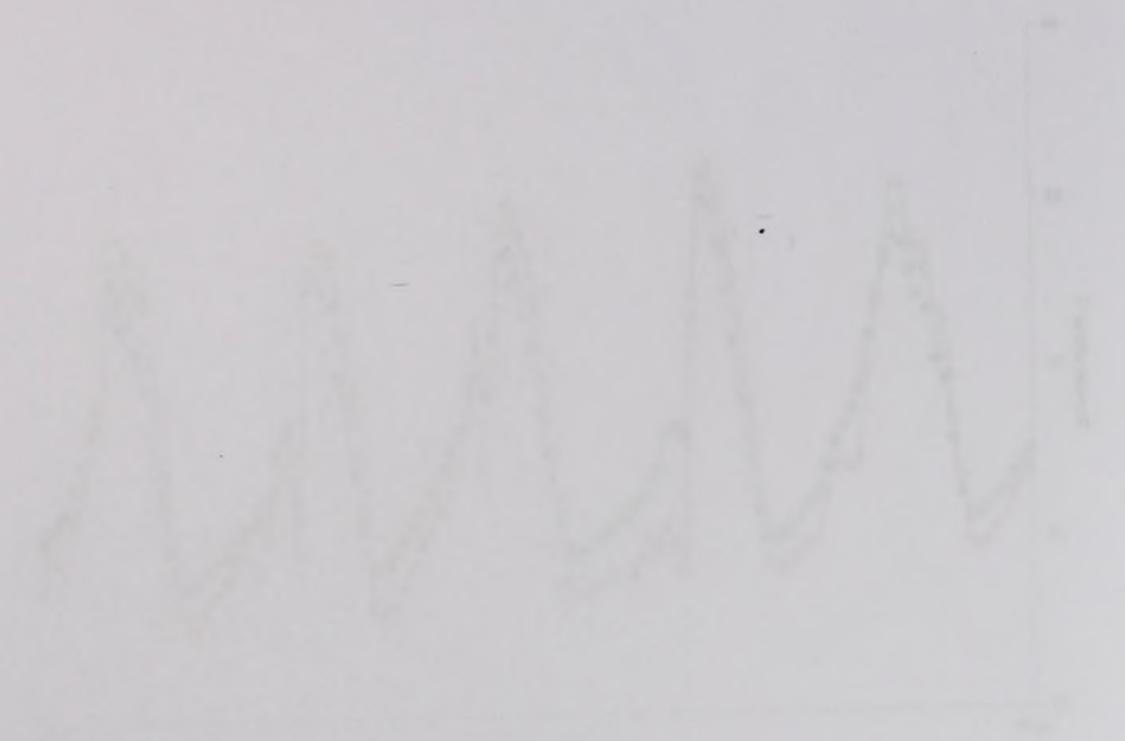
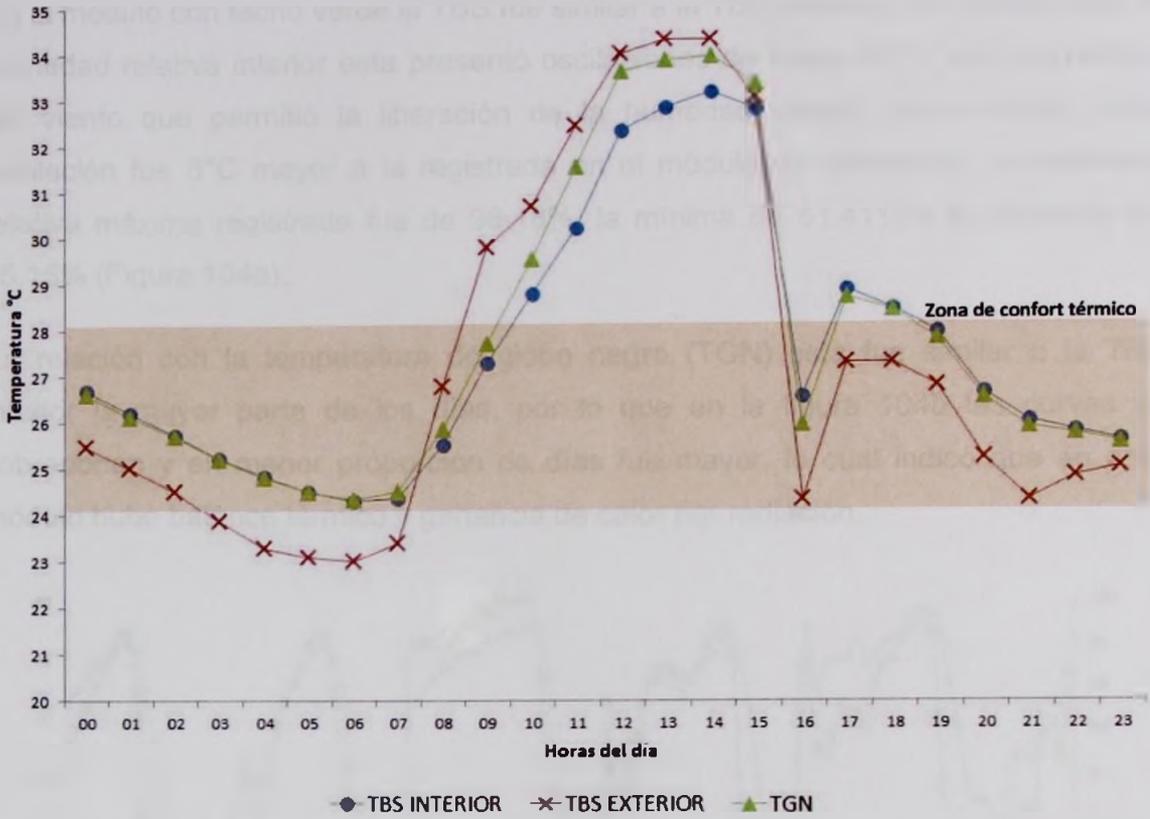


Figura 1. Comparación de temperaturas de interior y exterior de un espacio habitable.

En un día representativo se compararon las TGI y la TGE, este momento que se  
puede ver en la figura 1. Se puede observar que la TGI es mayor que la TGE, especialmente de las  
15:00 a las 18:00 horas cuando se registran las temperaturas más altas.

De las 18:00 a las 17:00 horas se observa un cambio en las temperaturas  
debido al aumento de la humedad relativa existiendo un efecto de las lluvias espaciales y  
debido a este periodo de lluvia (Figura 107).



Día representativo= 09 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 103. Temperatura de bulbo seco y temperatura de globo negro en comparación con el exterior y zona de confort térmico (Día representativo). Prueba con ventanas y puertas abiertas.

En relación con la zona de confort térmico la TBS y la TGN estuvieron por encima de esta zona de las 09:30 a las 16:00 horas y de las 17:00 a las 19:00 horas, el resto de las horas del día dentro de la zona de confort térmico, de las 24:00 a las 09:30, de las 16:00 a las 17:00 horas y de las 19:00 a las 24:00 horas (Tabla 44).

**Tabla 44**  
Periodo cálido con ventanas y puertas abiertas. TBS y TGN en relación con la zona de confort térmico (Día representativo).

| Módulo     | Encima de la zona de confort térmico | Dentro de la zona de confort térmico | Debajo de la zona de confort térmico |
|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Referencia | 8.5 h<br>35.42%                      | 15.5 h<br>64.58%                     | ...                                  |

Fuente: Elaboración propia.

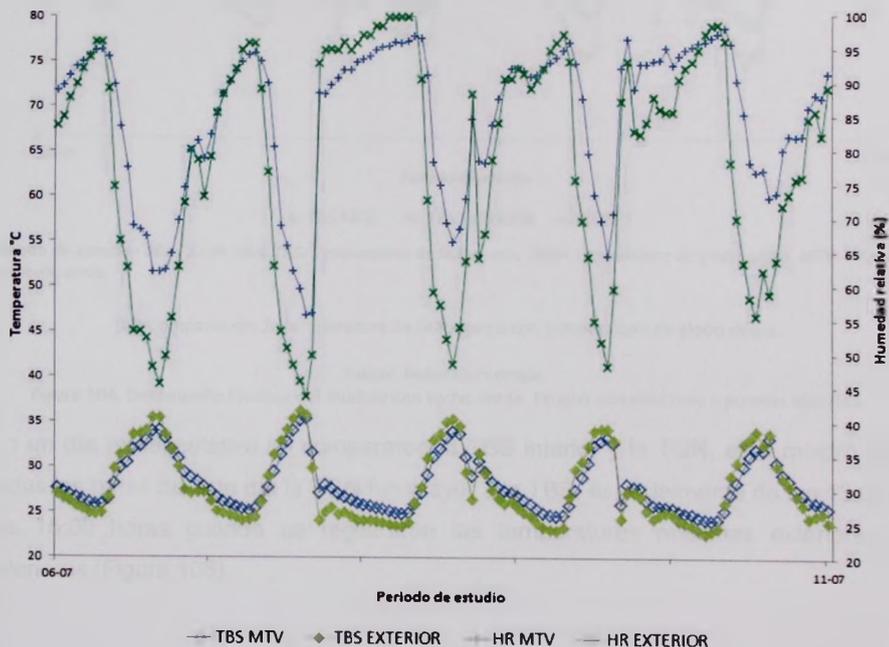


El estudio de la temperatura en el Sahara Occidental se ha realizado durante un periodo de veinte años, desde 1970 hasta 1990. Los datos obtenidos muestran una gran variabilidad interanual, con máximos que alcanzan los 30°C y mínimos que bajan hasta los 10°C. Esta variación se debe a la gran amplitud térmica característica de este tipo de clima, influenciado por la latitud y la proximidad al mar. En general, se puede observar que las temperaturas más altas se registran durante el verano (junio-agosto) y las más bajas durante el invierno (diciembre-febrero).

| Año  | Temperatura Máxima (°C) | Temperatura Mínima (°C) |
|------|-------------------------|-------------------------|
| 1970 | 28                      | 12                      |
| 1971 | 30                      | 10                      |
| 1972 | 25                      | 15                      |
| 1973 | 28                      | 12                      |
| 1974 | 30                      | 10                      |
| 1975 | 32                      | 8                       |
| 1976 | 28                      | 12                      |
| 1977 | 25                      | 15                      |
| 1978 | 22                      | 18                      |
| 1979 | 20                      | 20                      |
| 1980 | 18                      | 22                      |
| 1981 | 15                      | 25                      |
| 1982 | 12                      | 28                      |
| 1983 | 10                      | 30                      |
| 1984 | 12                      | 28                      |
| 1985 | 15                      | 25                      |
| 1986 | 18                      | 22                      |
| 1987 | 20                      | 20                      |
| 1988 | 22                      | 18                      |
| 1989 | 25                      | 15                      |
| 1990 | 28                      | 12                      |

En el módulo con techo verde la TBS fue similar a la TBS exterior y en relación con la humedad relativa interior esta presentó oscilaciones de hasta 40°C, esto por efecto del viento que permitió la liberación de la humedad interior, sin embargo, esta oscilación fue 5°C mayor a la registrada en el módulo de referencia. La humedad relativa máxima registrada fue de 98.18%, la mínima de 51.41% y la promedio de 85.15% (Figura 104a).

En relación con la temperatura de globo negro (TGN) esta fue similar a la TBS interior la mayor parte de los días, por lo que en la figura 104b las curvas se sobreponen y en menor proporción de días fue mayor, lo cual indicó que en este módulo hubo balance térmico y ganancia de calor por radiación.

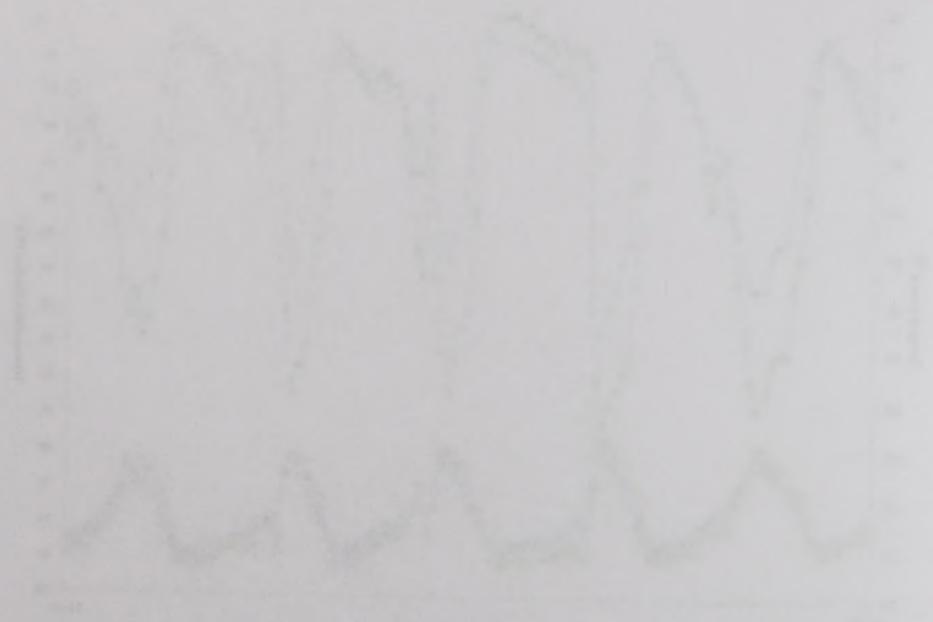


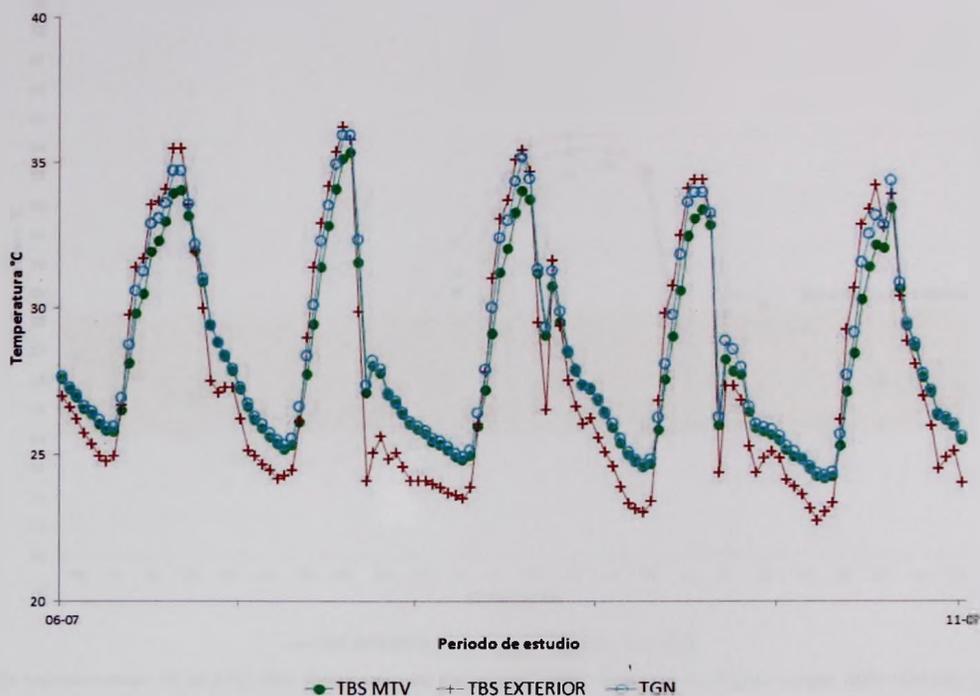
Periodo de estudio= 06 al 11 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa, MTV= Módulo con techo verde.

(a). Temperatura de bulbo seco y humedad relativa interior en comparación con el exterior.

En el módulo con techo verde la T<sub>int</sub> fue similar a la T<sub>ext</sub> exterior y no aumentó con la humedad relativa interior. En las condiciones de prueba 40°C, con un albedo del viento que permitía la formación de la humedad interior, el aumento de la humedad exterior fue 5°C mayor a la humedad en el módulo de referencia. La humedad relativa máxima registrada fue de 55-65%, la mínima de 27-41% y la velocidad de 0.5-1.5 m/s (Figura 104e).

En relación con la temperatura de punto de rocío (T<sub>pd</sub>) esta fue similar a la T<sub>ext</sub> exterior. La mayor parte de los días, así como en la figura 105, las curvas se superponen y en algunas ocasiones de ellas se ve un efecto de que en las noches hubo bajas de humedad y generación de condensación.





Periodo de estudio= 06 al 11 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MTV= Módulo con techo verde.

(b). Comparación de temperatura de bulbo seco con temperatura de globo negro.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 104. Desempeño térmico del módulo con techo verde. Prueba con ventanas y puertas abiertas.

En un día representativo se compararon la TBS interior y la TGN, esto mostró que todas las horas de este día la TGN fue mayor a la TBS, especialmente de las 13:00 a las 15:00 horas cuando se registraron las temperaturas máximas exteriores e interiores (Figura 105).

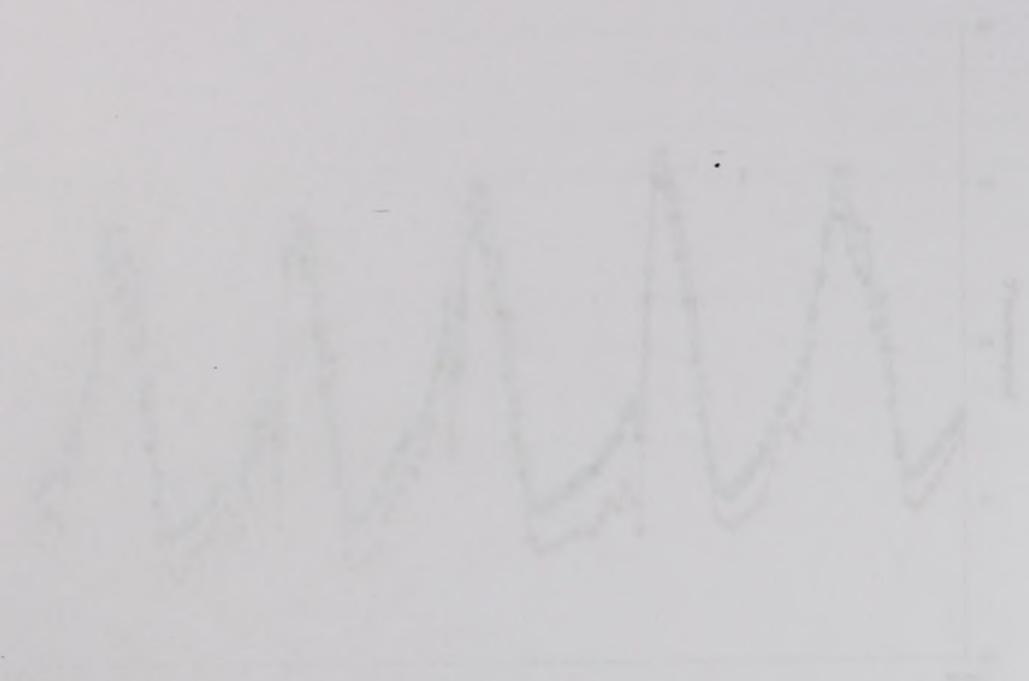
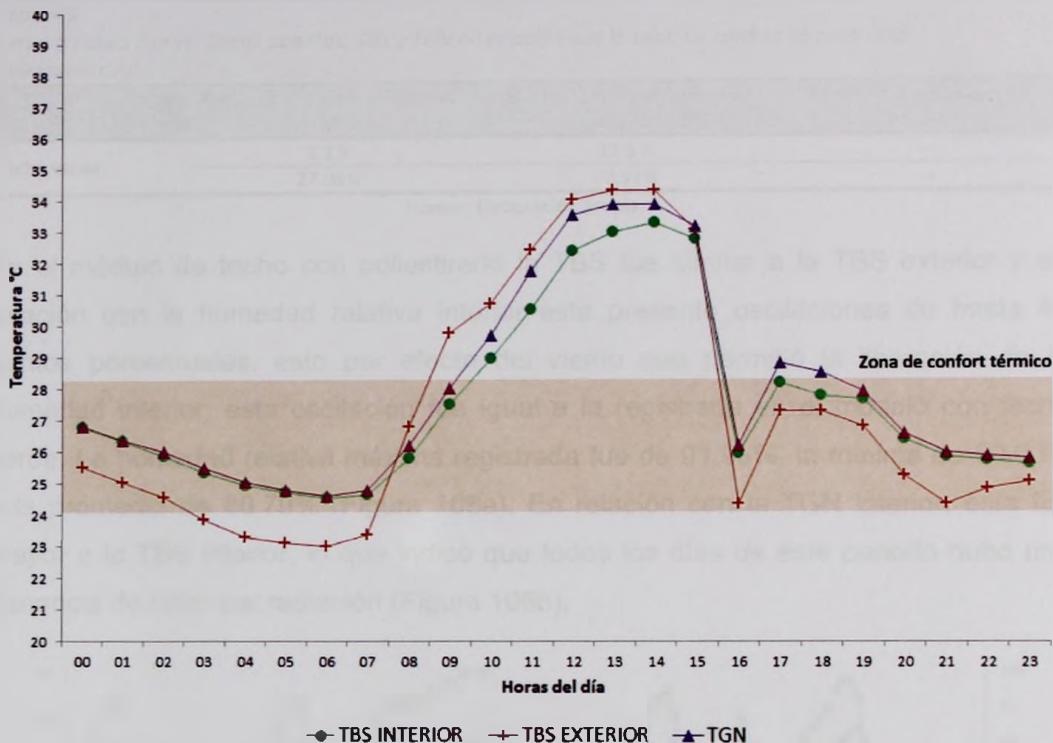


Figura 100. Comparación de los espectros de potencia de los sonidos [a] y [e] en un contexto de habla espontánea. El eje horizontal representa el tiempo en segundos y el eje vertical la amplitud en decibelios. La línea superior corresponde al sonido [a] y la línea inferior al sonido [e].

En un día representativo se compararon la TRS mayor y la TCM, esto es, los dos tipos de horas de este día la TCM fue mayor a TRS, específicamente en las 17:00 a las 18:00 horas cuando se registró un comportamiento bastante extraño = (ver figura 100).



Día representativo= 09 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MTV= Módulo con techo verde

Fuente: Elaboración propia.

Figura 105. Temperatura de bulbo seco y temperatura de globo negro en comparación con el exterior y zona de confort térmico (Día representativo). Prueba con ventanas y puertas abiertas.

En relación con la zona de confort térmico la TBS y la TGN fue similar al módulo de referencia, ya que de las 10:00 a las 16:30 horas la TBS estuvo encima de la zona de confort térmico y el resto de las horas del día dentro de la zona de confort térmico, esto es un 72.92% (Tabla 45). Sin embargo, en el módulo con techo verde la TGN estuvo por encima de la TBS, lo cual indicó que hubo una ganancia de calor por radiación todas las horas del día.



Figura 1. Evolución de la actividad de los estudiantes durante el curso. Fuente: Elaboración propia.

En general, con la zona de control tenemos el 75% y el 100% de actividad de los estudiantes en los días 10-20 y 30-40 respectivamente. Los datos muestran que el 75% de los estudiantes en la zona de control tienen una actividad del 75% o más durante el curso. En la zona de control, el 75% de los estudiantes tienen una actividad del 75% o más durante el curso. En la zona de control, el 75% de los estudiantes tienen una actividad del 75% o más durante el curso.

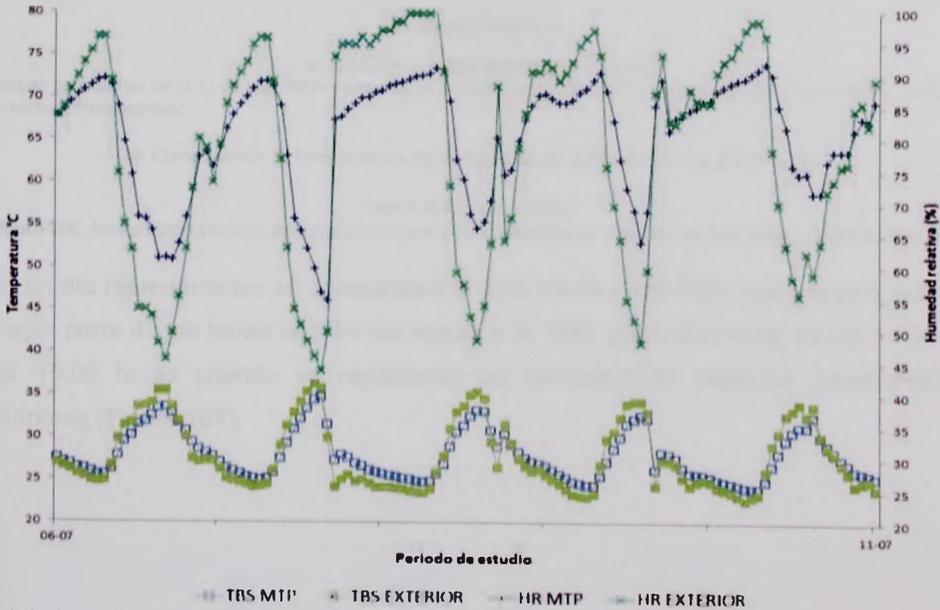
**Tabla 45**

*Periodo cálido con ventanas abiertas. TBS y TGN en relación con la zona de confort térmico (Día representativo).*

| Módulo      | Encima de la zona de confort térmico | Dentro de la zona de confort térmico | Debajo de la zona de confort térmico |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Techo verde | 6.5 h                                | 17.5 h                               | ---                                  |
|             | 27.08%                               | 72.92%                               | ---                                  |

Fuente: Elaboración propia.

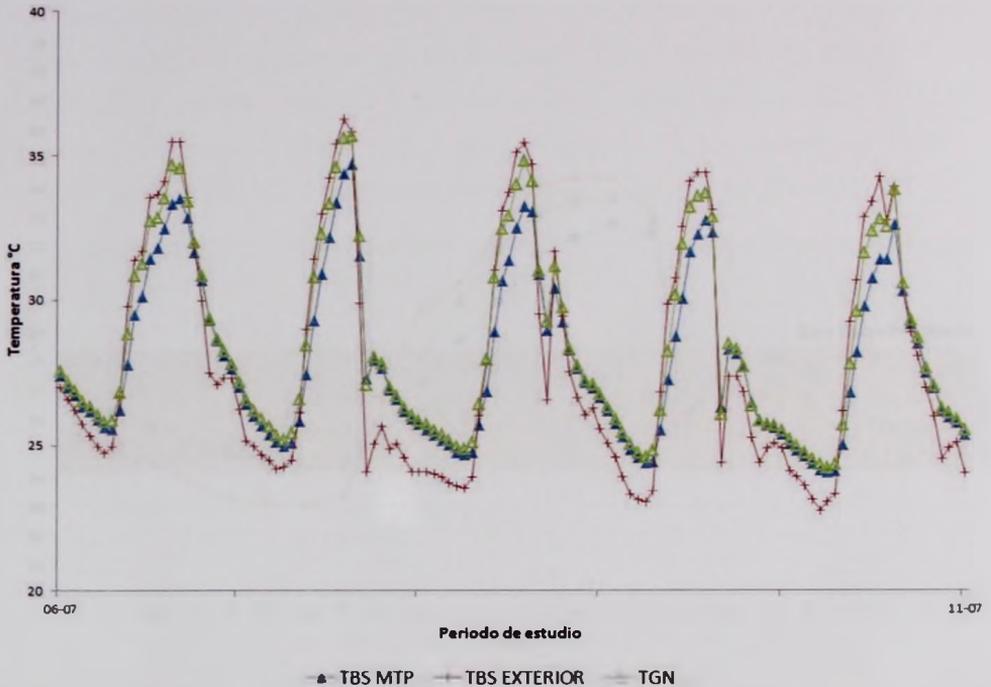
En el módulo de techo con poliestireno la TBS fue similar a la TBS exterior y en relación con la humedad relativa interior esta presentó oscilaciones de hasta 40 puntos porcentuales, esto por efecto del viento que permitió la liberación de la humedad interior, esta oscilación fue igual a la registrada en el módulo con techo verde. La humedad relativa máxima registrada fue de 91.98%, la mínima de 50.00% y la promedio de 80.79% (Figura 106a). En relación con la TGN interior, esta fue mayor a la TBS interior, lo que indicó que todos los días de este periodo hubo una ganancia de calor por radiación (Figura 106b).



Periodo de estudio= 06 al 11 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa, MTP= Módulo de techo con poliestireno.

(a). Temperatura de bulbo seco y humedad relativa interior en comparación con el exterior.





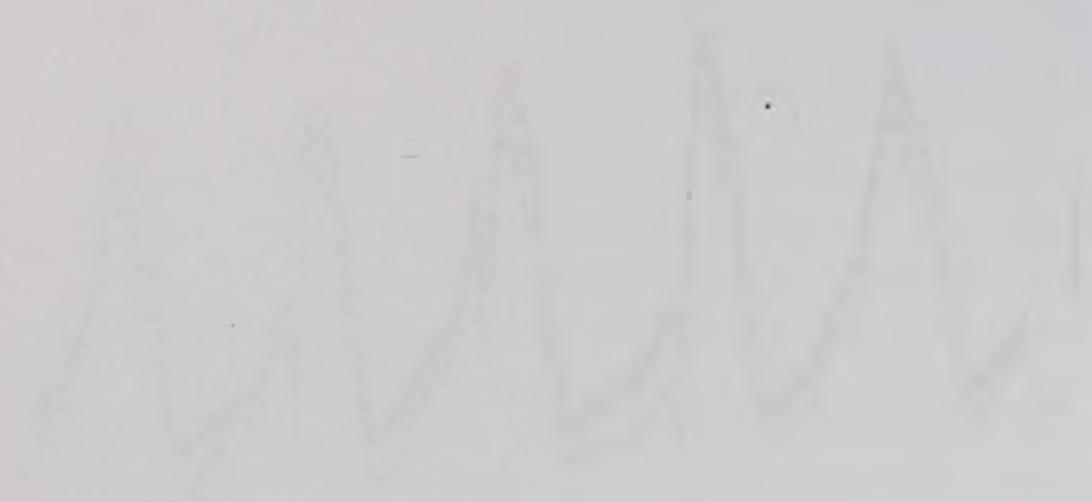
*Periodo de estudio* = 06 al 11 de julio, *TBS*= Temperatura de bulbo seco, *TGN*= Temperatura de globo negro, *MTP*= Módulo de techo con poliestireno.

(b). Comparación de temperatura de bulbo seco con temperatura de globo negro.

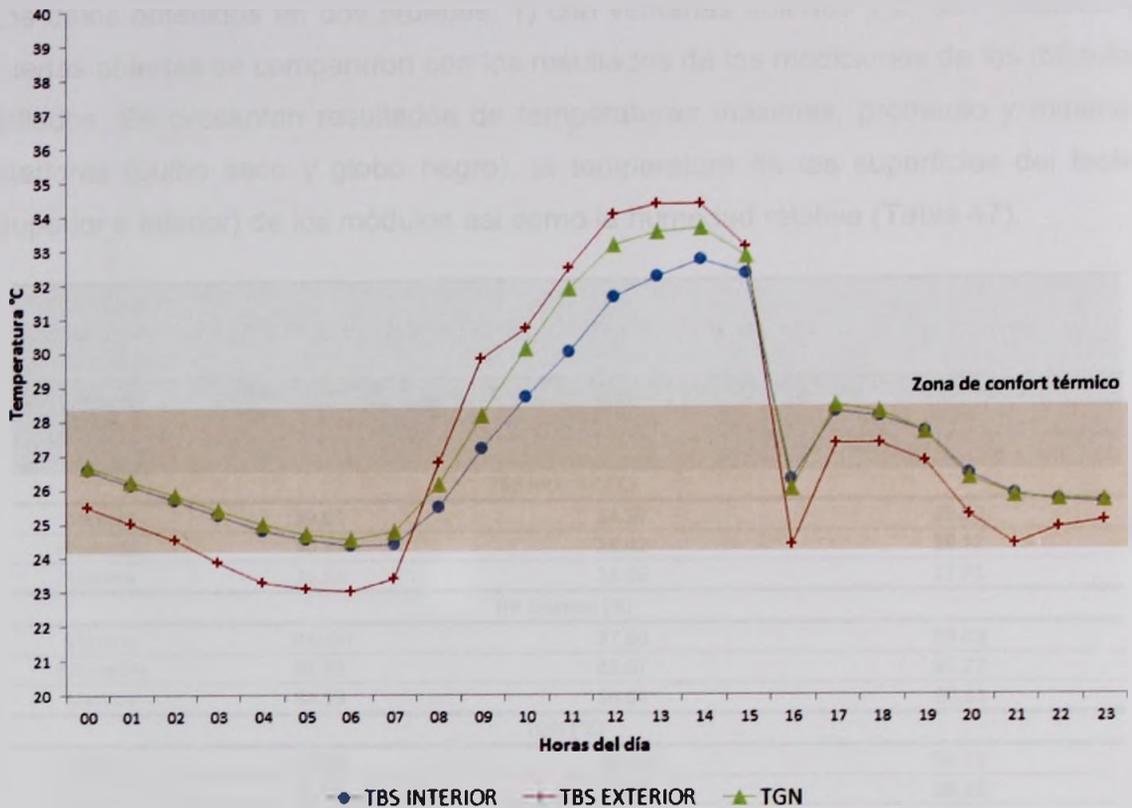
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 106.** Desempeño térmico del módulo de techo con poliestireno. Prueba con ventanas y puertas abiertas.

En un día representativo se compararon la TBS interior y la TGN, esto mostró que la mayor parte de las horas la TGN fue mayor a la TBS, particularmente de las 13:00 a las 15:00 horas cuando se registraron las temperaturas máximas exteriores e interiores (Figura 107).



Faint, illegible text or a very light drawing occupying the lower half of the page.



Día representativo= 09 de julio, TBS= Temperatura de bulbo seco, TGN= Temperatura de globo negro, MTP= Módulo de techo con poliestireno.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 107. Temperatura de bulbo seco y temperatura de globo negro en comparación con el exterior y zona de confort térmico (Día representativo). Prueba con puertas y ventanas abiertas.

En relación con la zona de confort térmico la TBS interior estuvo encima de la zona de confort térmico de las 10:00 a las 16:30 horas y el resto de las horas del día dentro de la zona de confort térmico, esto es un 72.92% de las horas, variación similar a la registrada en el módulo con techo verde (Tabla 46).

Tabla 46

Periodo cálido con ventanas abiertas. TBS y TGN en relación con la zona de confort térmico (Día representativo).

| Módulo                 | Encima de la zona de confort térmico | Dentro de la zona de confort térmico | Debajo de la zona de confort térmico |
|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Techo con poliestireno | 6.5 h<br>27.08%                      | 17.5 h<br>72.92%                     | ---                                  |

Fuente: Elaboración propia.



ARTICLE TITLE

The following text is a placeholder for the main body of the article, which is extremely faint and illegible in this scan. It appears to contain several paragraphs of text, likely discussing the data presented in the graph above.

| Author | Year | Journal | Volume | Page |
|--------|------|---------|--------|------|
|        |      |         |        |      |
|        |      |         |        |      |
|        |      |         |        |      |

Los datos obtenidos en dos pruebas: 1) con ventanas abiertas y 2) con ventanas y puertas abiertas se compararon con los resultados de las mediciones de los módulos sellados. Se presentan resultados de temperaturas máximas, promedio y mínimas interiores (bulbo seco y globo negro), la temperatura de las superficies del techo (superior e inferior) de los módulos así como la humedad relativa (Tabla 47).

**Tabla 47**

*Comparación de resultados en tres pruebas de monitoreo térmico de los módulos de prueba en el periodo cálido.*

| Característica                         | Módulos sellados | Prueba: ventanas abiertas | Prueba: ventanas y puertas abiertas |
|--|------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| <b>MVB</b>                             |                  |                           |                                     |
| TBS interior (°C)                      |                  |                           |                                     |
| Máxima                                 | 39.04            | 34.39                     | 35.99                               |
| Promedio                               | 30.83            | 28.42                     | 28.12                               |
| Mínima                                 | 25.53            | 24.46                     | 23.91                               |
| HR interior (%)                        |                  |                           |                                     |
| Máxima                                 | 100.00           | 97.68                     | 99.03                               |
| Promedio                               | 91.65            | 82.57                     | 85.27                               |
| Mínima                                 | 84.59            | 56.64                     | 50.31                               |
| TGN (°C)                               |                  |                           |                                     |
| Máxima                                 | 39.46            | 35.40                     | 36.77                               |
| Promedio                               | 31.05            | 28.66                     | 28.38                               |
| Mínima                                 | 25.57            | 24.51                     | 23.95                               |
| TBS Superficie superior del techo (°C) |                  |                           |                                     |
| Máxima                                 | 47.74            | 39.89                     | 41.56                               |
| Promedio                               | 30.13            | 28.58                     | 28.00                               |
| Mínima                                 | 23.21            | 23.06                     | 22.49                               |
| TBS Superficie inferior del techo (°C) |                  |                           |                                     |
| Máxima                                 | 38.49            | 33.74                     | 35.33                               |
| Promedio                               | 30.81            | 28.62                     | 28.38                               |
| Mínima                                 | 25.51            | 24.64                     | 24.16                               |
| <b>MIV</b>                             |                  |                           |                                     |
| TBS interior (°C)                      |                  |                           |                                     |
| Máxima                                 | 38.28            | 34.89                     | 35.88                               |
| Promedio                               | 30.68            | 28.58                     | 28.13                               |
| Mínima                                 | 25.79            | 24.70                     | 24.10                               |
| HR interior (%)                        |                  |                           |                                     |
| Máxima                                 | 100.00           | 95.87                     | 98.18                               |
| Promedio                               | 94.63            | 81.56                     | 85.15                               |
| Mínima                                 | 89.29            | 57.04                     | 51.41                               |
| TGN (°C)                               |                  |                           |                                     |
| Máxima                                 | 39.07            | 35.58                     | 36.69                               |
| Promedio                               | 31.00            | 28.89                     | 28.49                               |
| Mínima                                 | 25.94            | 24.82                     | 24.20                               |
| TBS Superficie superior del techo (°C) |                  |                           |                                     |
| Máxima                                 | 33.91            | 30.62                     | 29.84                               |
| Promedio                               | 29.09            | 28.35                     | 27.81                               |

The following table shows the results of the analysis of variance for the dependent variable of interest. The table is organized into columns representing different factors and rows representing different levels of those factors. The values in the table represent the mean and standard deviation for each combination of factors.

| Factor 1 | Factor 2 | Mean | Standard Deviation |
|----------|----------|------|--------------------|
| Level 1  | Level 1  | 1.2  | 0.5                |
| Level 1  | Level 2  | 1.5  | 0.6                |
| Level 1  | Level 3  | 1.8  | 0.7                |
| Level 2  | Level 1  | 2.1  | 0.8                |
| Level 2  | Level 2  | 2.4  | 0.9                |
| Level 2  | Level 3  | 2.7  | 1.0                |
| Level 3  | Level 1  | 3.0  | 1.1                |
| Level 3  | Level 2  | 3.3  | 1.2                |
| Level 3  | Level 3  | 3.6  | 1.3                |
| Total    |          | 2.0  | 0.8                |

**Tabla 47**

*Comparación de resultados en tres pruebas de monitoreo térmico de los módulos de prueba en el periodo cálido.*

| Característica                                | Módulos cerrados | Prueba: ventanas abiertas | Prueba: ventanas y puertas abiertas |
|---|------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Minima  | 25.89            | 25.82                     | 25.57                               |
| <b>TBS Superficie inferior del techo (°C)</b> |                  |                           |                                     |
| Máxima  | 36.55            | 33.21                     | 34.12                               |
| Promedio                                      | 30.42            | 28.68                     | 28.33                               |
| Mínima  | 26.01            | 25.50                     | 25.07                               |
| <b>MIP</b>                                    |                  |                           |                                     |
| <b>TBS interior (°C)</b>                      |                  |                           |                                     |
| Máxima  | 38.42            | 34.57                     | 35.16                               |
| Promedio                                      | 30.83            | 28.29                     | 27.86                               |
| Mínima  | 25.65            | 24.51                     | 23.95                               |
| <b>HR interior (%)</b>                        |                  |                           |                                     |
| Máxima  | 94.33            | 89.79                     | 91.98                               |
| Promedio                                      | 88.44            | 77.95                     | 80.79                               |
| Mínima  | 84.42            | 56.53                     | 50.00                               |
| <b>TGN (°C)</b>                               |                  |                           |                                     |
| Máxima  | 39.60            | 35.40                     | 36.42                               |
| Promedio                                      | 31.37            | 28.79                     | 28.37                               |
| Mínima  | 25.96            | 24.73                     | 24.15                               |
| <b>TBS Superficie superior del techo (°C)</b> |                  |                           |                                     |
| Máxima  | 36.96            | 31.56                     | 31.74                               |
| Promedio                                      | 30.62            | 28.29                     | 27.89                               |
| Mínima  | 26.11            | 25.50                     | 25.33                               |
| <b>TBS Superficie inferior del techo (°C)</b> |                  |                           |                                     |
| Máxima  | 37.40            | 33.05                     | 33.73                               |
| Promedio                                      | 31.06            | 28.56                     | 28.24                               |
| Mínima  | 26.13            | 25.38                     | 24.92                               |

*Nota. MVB= Módulo de vigueta y bovedilla (Módulo de referencia), MTV= Módulo con techo verde, MTP= Módulo de techo con poliestireno, TBS= Temperatura de bulbo seco, HR= Humedad relativa, TGN= Temperatura de globo negro.*

Fuente: Elaboración propia.

En el módulo MVB, los datos obtenidos mostraron que la TBS promedio interior disminuyó con las puertas y las ventanas de los módulos de prueba abiertas, esto debido al efecto de la ventilación que permitió liberar el calor del interior al exterior. La humedad relativa interior fue menor en la prueba con ventanas abiertas y puertas cerradas ya que hubo una menor oscilación entre la HR máxima y la HR mínima en comparación con las otras dos pruebas.

La TGN fue menor en la prueba con ventanas y puertas abiertas, pues el viento permitió que la radiación de calor al interior fuera menor. Las superficies del techo



tuvieron temperaturas menores en la prueba con ventanas y puertas abiertas, esto debido a que el viento permitió disminuir el flujo de calor por conducción en la envolvente del módulo.

En el módulo MTV la TBS promedio fue menor en la prueba con ventanas y puertas abiertas. La humedad relativa fue menor en la prueba con solo ventanas abiertas, esto debido al aumento de la temperatura interior que provocó tener las puertas cerradas que evitó mayor circulación del viento en comparación con la prueba con puertas abiertas.

La TGN promedio fue menor en la prueba con ventanas y puertas abiertas, sin embargo, la oscilación fue menor en la prueba con ventanas abiertas y puertas cerradas, esto debido al efecto de la circulación del viento del exterior al interior que aumenta con las puertas abiertas.

La superficie superior del techo tuvo registros de TBS menores en la prueba con puertas y ventanas abiertas, mientras que la TBS de la superficie inferior del techo del módulo fue menor en la prueba con solo ventanas abiertas, esto debido al mismo efecto del viento registrado en la TGN que influyó en las mediciones de TBS de la superficie inferior del techo, en cambio la TBS de la superficie superior depende del efecto de la masa térmica y del flujo de calor por conducción de la envolvente.

En el módulo MTP la TBS promedio interior fue menor en la prueba con puertas y ventanas abiertas, sin embargo hubo una menor oscilación entre la TBS máxima y mínima en la prueba con solo ventanas abiertas. La humedad relativa fue menor en la prueba con ventanas abiertas en contraste con la TGN que fue menor con las puertas y ventanas abiertas. Las superficies del módulo registraron TBS menores en la prueba con solo ventanas abiertas.

Se asume que el flujo del viento del exterior al interior disminuyó las temperaturas y humedad en interiores en los tres módulos de prueba, pero también afectó las mediciones al observarse oscilaciones mayores de TBS interior, TGN y HR interior en la prueba con ventanas y puertas abiertas en comparación con las otras pruebas con módulos sellados.



## CONCLUSIONES

En este apartado se mencionan las conclusiones generales del desarrollo de la investigación y la discusión de los resultados obtenidos, en relación con el planteamiento del problema formulado al principio de este trabajo. También se incluyen recomendaciones para estudios similares posteriores.

La hipótesis formulada menciona que: el empleo de un sistema de techo verde en la vivienda económica de clima cálido húmedo aumenta los periodos de confort térmico en sus habitantes, en comparación con dos de los sistemas constructivos de techo más utilizados en la región. Para determinar si esta hipótesis es válida y si se cumplen los objetivos planteados se presentan las conclusiones y aspectos siguientes.

En la evaluación del confort térmico se utilizó un enfoque de predicción, al medir solo variables cuantitativas de temperatura (bulbo seco y globo negro) y humedad relativa en tres módulos de prueba con tres tipos de techos: 1) Techo sin estrategia térmica (techo de referencia), 2) Techo verde y 3) Techo con placas de poliestireno como aislante térmico, en tres periodos de estudio, en total se analizaron nueve escenarios, además de dos pruebas adicionales realizadas en el periodo cálido.

En el periodo templado los periodos de confort térmico fueron mayores en el módulo con techo verde y el módulo con poliestireno, 35.68% y 57.11% respectivamente en comparación con el módulo de referencia. En los periodos de transición y cálido el módulo con techo verde presentó periodos de confort térmico mayores en comparación con los otros dos módulos.

En el periodo de transición el módulo con techo verde presentó periodos de confort térmico 17.65% mayores en comparación con el techo de referencia y 5.05% mayores en comparación con el módulo con poliestireno. En el periodo cálido el módulo con techo verde presentó periodos de confort térmico 7.72% mayores en

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en el estudio de la investigación y la discusión de los resultados obtenidos en relación con el planteamiento del problema formulado al inicio de este trabajo. También se incluyen recomendaciones para futuras investigaciones.

La hipótesis formulada inicialmente que el estudio de un sistema de gestión de recursos humanos de una empresa privada de la zona de la costa de la provincia de Cádiz, en comparación con los de las empresas de la zona de la sierra, en relación con los objetivos planteados en el estudio, se cumplió en la medida que se esperaba, se cumplió en la medida que se esperaba.

En el estudio de la hipótesis se utilizó un enfoque de estudio de caso, en el que se analizaron los resultados de la investigación y se compararon con los de las empresas de la zona de la sierra. Se utilizó un enfoque de estudio de caso, en el que se analizaron los resultados de la investigación y se compararon con los de las empresas de la zona de la sierra. Se utilizó un enfoque de estudio de caso, en el que se analizaron los resultados de la investigación y se compararon con los de las empresas de la zona de la sierra.

En el estudio de la hipótesis se utilizó un enfoque de estudio de caso, en el que se analizaron los resultados de la investigación y se compararon con los de las empresas de la zona de la sierra. Se utilizó un enfoque de estudio de caso, en el que se analizaron los resultados de la investigación y se compararon con los de las empresas de la zona de la sierra.

En el estudio de la hipótesis se utilizó un enfoque de estudio de caso, en el que se analizaron los resultados de la investigación y se compararon con los de las empresas de la zona de la sierra. Se utilizó un enfoque de estudio de caso, en el que se analizaron los resultados de la investigación y se compararon con los de las empresas de la zona de la sierra.

comparación con el módulo de referencia y 40.03% mayores en comparación con el módulo con poliestireno.

Lo anterior indica que en los periodos de transición y cálido en el módulo con techo verde hubo un aumento en los periodos de confort térmico en comparación con los otros dos módulos, mientras que, en el periodo templado este aumento se presentó solo en relación con el módulo de referencia.

En relación con el desempeño térmico de los módulos de prueba, los resultados obtenidos muestran que la envolvente del módulo con techo verde tuvo un mejor desempeño térmico en el periodo templado en comparación con los otros periodos de estudio. Es importante mencionar que el monitoreo térmico del periodo templado se realizó en los primeros días de marzo y no en el mes de febrero como se determinó según el diagnóstico bioclimático realizado, esto debido a problemas en el sellado de los módulos.

En lo que respecta al amortiguamiento térmico del módulo con techo verde este fue mayor al registrado en los otros dos módulos en dos periodos de estudio: el templado y el de transición. En el periodo cálido el amortiguamiento térmico del módulo con techo verde fue menor en comparación con el módulo de techo con poliestireno pero mayor en relación con el módulo de referencia.

Debido a que el periodo cálido es crítico para la ciudad de Mérida, pues se presentan las temperaturas más altas de todo el año, se realizaron dos pruebas adicionales de monitoreo térmico para conocer el efecto del viento en las mediciones de temperatura y humedad realizadas. En estas pruebas, el viento influyó en la temperatura de globo negro (TGN) registrada en el interior de los módulos, pero su variación en relación con las pruebas con módulos sellados fue mínima.

La humedad relativa del interior de los módulos no presentó oscilaciones significativas en los tres periodos de estudio, esto a causa del sellado de los módulos que la mantuvo constante. En contraste con las pruebas con ventanas y puertas



abiertas, donde las oscilaciones registradas fueron de hasta 40 puntos porcentuales con variaciones entre el 50% como mínima al 98% como máxima.

La correlación entre la temperatura de bulbo seco exterior e interior fue estadísticamente significativa en el módulo con techo verde en los periodos templado y de transición. Al comparar los tres módulos de prueba se observa que esta correlación fue mayor en el módulo con techo verde en los tres periodos de estudio.

En general, se observa que en los tres periodos de estudio el techo verde presentó ventajas térmicas en comparación con los otros tipos de techos, además, ésta estrategia bioclimática afecta positivamente los cambios en la temperatura de bulbo seco interior que están relacionados directamente con el confort térmico de quienes habitan las viviendas.

El tipo de techo verde utilizado (extensivo) mostró ser una estrategia pasiva que influyó directamente en el aislamiento y retardo del flujo de calor por conducción del exterior al interior como se menciona en Santamouris (2012), se asumió también que es la opción adecuada para una vivienda de tipo económico debido a que requiere menor mantenimiento y materiales en sus capas que otros tipos de techos verdes.

La vegetación plantada en el techo verde mostró tener cualidades de resistencia y adecuación al clima cálido húmedo de Mérida, en contraste con otros estudios realizados en diferentes condiciones climáticas (Sahagun, 2012), se utilizaron hierbas introducidas de bajo porte y no especies cactáceas o *sempervivum*. En el 40% del techo verde predominó la especie *Tradescantia Zebrina*, esto debido a una diferencia en los tiempos de propagación y formas de crecimiento de cada planta como se menciona en Emilsson (2008).

El diseño y espesor del techo verde así como su peso por metro cuadrado, cumplió con los requisitos de las normas NADF-013-RNAT-2007 y ASTM E2400-06. El espesor de 0.05 m del medio de crecimiento (tierra negra vegetal) no necesitó mantenimiento durante los seis meses del cuasi-experimento, ni fertilizantes y como

debe ser de al menos 10 veces el espesor de la lámina.  
El espesor de la lámina debe ser de al menos 10 veces el espesor de la lámina.

La conexión entre la lámina de fibra de vidrio y el resina debe ser adecuada y de transición. Al comparar los tres métodos de unión se encontró que el método de unión por resina es el más adecuado para la unión de las láminas de fibra de vidrio.

En general, se observa que en los tres métodos de unión el método de unión por resina es el más adecuado para la unión de las láminas de fibra de vidrio. En comparación con los otros dos métodos de unión, el método de unión por resina es el más adecuado para la unión de las láminas de fibra de vidrio. Este método de unión es el más adecuado para la unión de las láminas de fibra de vidrio que están relacionadas directamente con el trabajo de las láminas de fibra de vidrio.

El tipo de resina utilizada (epoxi o poliéster) influye en las propiedades mecánicas de la unión. El método de unión por resina epoxi es el más adecuado para la unión de las láminas de fibra de vidrio. Este método de unión es el más adecuado para la unión de las láminas de fibra de vidrio que están relacionadas directamente con el trabajo de las láminas de fibra de vidrio.

La velocidad de curado en el horno influye en las propiedades de resistencia y estabilidad al clima de la unión. En general, el método de unión por resina epoxi es el más adecuado para la unión de las láminas de fibra de vidrio. Este método de unión es el más adecuado para la unión de las láminas de fibra de vidrio que están relacionadas directamente con el trabajo de las láminas de fibra de vidrio.

El diseño y espesor del resaca influyen en las propiedades de resistencia y estabilidad al clima de la unión. En general, el método de unión por resina epoxi es el más adecuado para la unión de las láminas de fibra de vidrio. Este método de unión es el más adecuado para la unión de las láminas de fibra de vidrio que están relacionadas directamente con el trabajo de las láminas de fibra de vidrio.

se indicó en los resultados el riego manual fue casi nulo, aunque mostró mayores ventajas térmicas al estar húmedo como se menciona en la investigación de Jim y Peng (2012).

Las conclusiones anteriores muestran que la hipótesis formulada es válida y que los objetivos planteados se cumplieron al utilizar una estrategia de masa térmica determinada por medio de un diagnóstico bioclimático, caracterizarse el tipo de techo verde utilizado, analizar el desempeño térmico de tres tipos de techos y demostrar la ventaja térmica del uso de los techos verdes, estos aspectos también responden a las preguntas de investigación mencionadas al inicio de este trabajo.

Es necesario incluir en este apartado una serie de recomendaciones que pueden ser útiles en el desarrollo de estudios similares y complementar trabajos relacionados con los techos verdes, el confort térmico en espacios interiores y el monitoreo térmico de módulos de prueba.

Es recomendable realizar el monitoreo térmico en viviendas a escala 1:1 como se menciona en Takakura, Kitade y Goto (2000), ya que esta diferencia influyó en los resultados de este trabajo que difieren de los obtenidos por Castañeda-Nolasco y Vecchia (2007), Parizotto y Lamberts (2011) y Jim y Tsang (2011) quienes utilizaron edificios a escala "real" para la parte experimental de sus estudios.

Además del monitoreo térmico de variables meteorológicas, se recomienda medir las sensaciones térmicas percibidas en espacios interiores de quienes habitan las viviendas económicas de Mérida, de tal manera que estos datos permitan estudiar el confort térmico en dos enfoques: cuantitativo y cualitativo.

Es recomendable también realizar el diseño y construcción de los módulos de prueba específicamente para estudios de techos verdes, ya que esto permite controlar aspectos constructivos que inciden en la precisión de las mediciones realizadas en un monitoreo térmico.



Además, se sugiere realizar estudios de otros aspectos del techo verde que no han sido abordados con profundidad en México, tales como el beneficio térmico de los techos verdes modulares, la capacidad de retención de las aguas pluviales de un techo verde, su capacidad para contrarrestar los efectos de islas de calor urbano, la composición de un techo verde con materiales reciclados y de bajo costo, los huertos urbanos así como las ventajas por ahorro energético de un edificio con techo verde.

Además, se sigue mejorando de día en día el nivel de vida de la población con productos en línea, las redes de distribución de los productos y los servicios, la capacidad de reacción de los proveedores de los productos, su capacidad para responder a las necesidades de los clientes, la composición de los equipos con tecnología de punta, la calidad de los servicios, la atención al cliente y la atención al cliente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agrest, D., Conway P. & Kanés L. (2004). *The sex of architecture*. New York: Harry N. Abrams, p. 320.
- Alexandri E. & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and environment*, 43, 480-493.
- Auliciems, A. (1981). Towards a psycho-physiological model of thermal perception. *International Journal of Biometeorology*, 25, 109-122.
- American Society for Testing and Materials. (1995). *ASTM C 1046-95 Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components*. Pensilvania.
- American Society for Testing and Materials. (1995). *ASTM C 1155-95 Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data*. Pensilvania.
- American Society for Testing and Materials. (1997). *ASTM C 168-97 Standard Terminology Relating to Thermal Insulating Materials*. Pensilvania.
- American Society for Testing and Materials. (2005). *ASTM E 2396-05 Standard Test Method for Saturated Water Permeability of Granular Drainage Media [Falling-Head Method] for Green Roof Systems*. Pensilvania.
- American Society for Testing and Materials. (2005). *ASTM E 2399-05 Standard Test Method for Maximum Media Density for Dead Load Analysis of Green Roof Systems*. Pensilvania.

MEMORANDUM

TO : [Illegible]

FROM : [Illegible]

SUBJECT : [Illegible]

[Illegible text block]

- American Society for Testing and Materials. (2006). *ASTM E 2400-06 Standard Guide for Selection, Installation, and Maintenance of Plants for Green Roof System*. Pensilvania.
- American Society for Testing and Materials. (2009). *ASTM C 29-09 Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. Pensilvania.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. (2009) *ASHRAE handbook fundamentals*. Atlanta: Autor.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2010). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2010: Thermal environmental conditions for human Occupancy*, Atlanta: Autor.
- Ayuntamiento de Mérida. (2011). *Informe de Gobierno, Arq. Angélica Araujo Lara*. Recuperado el 24 de octubre de 2012 de: [http://noticiasdeyucatan.blogspot.mx/2011/06/i-informe-de-gobierno-municipal-de\\_30.html](http://noticiasdeyucatan.blogspot.mx/2011/06/i-informe-de-gobierno-municipal-de_30.html)
- Ayuntamiento de Mérida. (2011). *Diagnóstico de la situación económica y social del Municipio de Mérida 2011*. Recuperado el 12 de junio de 2012 de: <http://www.merida.gob.mx/municipio/portal/umaip/contenido/poas/2009/diagnostico09.pdf>
- Ayuntamiento de Mérida. (2012). *Programa de Desarrollo Urbano del Municipio de Mérida*. Dirección de Desarrollo Urbano. Recuperado el 08 de abril de 2013 de: <http://isla.merida.gob.mx/serviciosInternet/wsSIDU/html/#>
- Bachelard, G. (1975). *La poética del espacio*. México: Fondo de cultura económica, p.281.

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or title.

Second block of faint, illegible text.

Third block of faint, illegible text.

Fourth block of faint, illegible text.

Fifth block of faint, illegible text.

Sixth block of faint, illegible text.

Seventh block of faint, illegible text.

Eighth block of faint, illegible text.

Ninth block of faint, illegible text.

- Berndtsson, J.C., Bengtsson, L. & Jinno, K. (2009). Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Ecological Engineering*, 35, 369-380.
- Berrang-Ford, L., Ford, J.D. & Paterson, J. (2011). Are we adapting to climate change? *Global Environmental Change*, 21, 25-33.
- Bianchini, F. & Hewage, K. (2012). How "green" are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and environment*, 48, 57-65.
- Bianchini, F. & Hewage, K. (2012). Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: A lifecycle approach. *Building and environment*, 58, 152-162.
- Bojórquez, G. (2010). Confort térmico en exteriores: actividades en espacios recreativos, en clima cálido seco extremo. *Tesis de Doctorado no publicada*, Universidad de Colima, Colima, México.
- Bojórquez, G. (Comunicación personal, 4 de noviembre de 2012). Escudo de radiación solar. Mexicali, Mexico.
- Bojórquez, G. & Luna, A. (2012). Rangos de confort térmico. *Curso Confort y habitabilidad térmica*. Instituto Tecnológico de Chetumal, Chetumal, Quintana Roo.
- Cabeza, L.F., Vila, A., Pérez, G., Solé, C. & Fernández, A.I. (2012). Use of rubber crumbs as drainage layer in experimental green roofs. *Building and Environment*, 48, 101-106.
- Castañeda-Nolasco, G. & Vecchia, F. (2007). Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Ingeniería*, 11-2, 21-30. Recuperado de: [http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen11/sistema\\_de\\_techo.pdf](http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen11/sistema_de_techo.pdf) el 10 de agosto de 2013.



Castells, M. (1974). *La cuestión urbana*. México: Siglo XXI, p. 517.

Ceron-Palma, I., Sanyé-Mengual, E., Oliver-Solá, J., Juan-Ignacio, M., J.I., Ponce-Caballero, C., Rieradevall, J. (2013). Towards a green sustainable strategy for social neighbourhoods in Latin America: Case from social housing in Merida, Yucatan, Mexico, *Habitat internacional*, 38, 47-56.

Comisión Federal de Electricidad (2013). *Tarifa 1C 2013*. Consultado el 11 de septiembre de 2013 en:  
[http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas\\_casa.asp?Tarifa=DAC TAR1C&Temporada2=Verano&Anio=2013&imprime=&Periodo=5&mes2=a+octubre.&mes=5](http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_casa.asp?Tarifa=DAC TAR1C&Temporada2=Verano&Anio=2013&imprime=&Periodo=5&mes2=a+octubre.&mes=5)

Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI). (2011). *Vivienda. Glosario de términos, siglas y acrónimos*. Recuperado el 15 de mayo de 2011 de:  
[www.conavi.gob.mx/img/Glosario%20v2\\_176.pdf](http://www.conavi.gob.mx/img/Glosario%20v2_176.pdf)

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Normales climatológicas Mérida, Yucatán, 1981-2000*. Recuperado el 10 de noviembre de 2011 de:  
<http://smn.cna.gob.mx/observatorios/historica/merida.pdf>.

Connor, S.J. et al. (2010). Health and climate – needs. *Procedia Environmental Sciences*, 1, 27-36.

Cooper, I. (1982). Comfort theory and practice: Barriers to the conservation of energy by building occupants. *Applied Energy*, 11, 243-288.

Quarta M (1314) La cantidad de agua...

Quinta N (1315) La cantidad de agua...

Sexta O (1316) La cantidad de agua...

Septima P (1317) La cantidad de agua...

Octava Q (1318) La cantidad de agua...

Novena R (1319) La cantidad de agua...

Decima S (1320) La cantidad de agua...

Undecima T (1321) La cantidad de agua...

Dodecima U (1322) La cantidad de agua...

Decimotercera V (1323) La cantidad de agua...

Decimocuarta W (1324) La cantidad de agua...

Decimoquinta X (1325) La cantidad de agua...

Decimosexta Y (1326) La cantidad de agua...

Decimoséptima Z (1327) La cantidad de agua...

Decimoctava AA (1328) La cantidad de agua...

Decimonovena AB (1329) La cantidad de agua...

Decimosegunda AC (1330) La cantidad de agua...

Decimotercera AD (1331) La cantidad de agua...

Decimocuarta AE (1332) La cantidad de agua...

- Cuevas, P. C., Ochoa, J.M. & Fuentes, V. A. (2010). Importancia de la vegetación a nivel urbano. *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar*, México.
- Chappells, H. & Shove, E. (2004). Comfort: A review of philosophies and paradigms. Recuperado de: [http://www.lancs.ac.uk/fass/projects/futcom/fc\\_litfinal1.pdf](http://www.lancs.ac.uk/fass/projects/futcom/fc_litfinal1.pdf) el 15 de agosto de 2012.
- Cruz, C. & Ley J. (2010). Estudio de sombras, como herramienta complementaria para encontrar áreas aptas de aprovechamiento solar, caso de estudio: San Felipe, B.C. México. *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar*, México.
- Docherty, M. J. & Szokolay, S. (2004). Climate analysis. *En PLEA Note 5. Brisbane: Passive and Low Energy Architecture*, University of Queensland.
- Emilsson, T. (2008). Vegetation development on extensive vegetated green roofs: Influence of substrate composition, establishment method and species mix. *Ecological engineering*, 33, 265-277.
- Fanger, P.O. (1970). *Thermal Comfort*. New York: Mc Graw Hill, U.S.A.
- Fanger, P.O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, 30, 313-324. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1069471/pdf/brjindmed00096-0001.pdf> el 10 de agosto de 2012.
- Fuentes, V.A. (2010). Notas del curso: Arquitectura Bioclimática. *Notas del curso en XXXIV Semana Nacional de Energía Solar*, p. 92

Quares, P. & Ochoa, J.M. & Krumm, V.A. (2010) Influencia de la temperatura y la humedad en el desarrollo de las plantas de maíz en el campo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tucumán*, 42(1), 1-10.

Quares, P. & Ochoa, J.M. & Krumm, V.A. (2010) Influencia de la temperatura y la humedad en el desarrollo de las plantas de maíz en el campo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tucumán*, 42(1), 1-10.

Quares, P. & Ochoa, J.M. & Krumm, V.A. (2010) Influencia de la temperatura y la humedad en el desarrollo de las plantas de maíz en el campo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tucumán*, 42(1), 1-10.

Quares, P. & Ochoa, J.M. & Krumm, V.A. (2010) Influencia de la temperatura y la humedad en el desarrollo de las plantas de maíz en el campo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tucumán*, 42(1), 1-10.

Quares, P. & Ochoa, J.M. & Krumm, V.A. (2010) Influencia de la temperatura y la humedad en el desarrollo de las plantas de maíz en el campo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tucumán*, 42(1), 1-10.

Quares, P. & Ochoa, J.M. & Krumm, V.A. (2010) Influencia de la temperatura y la humedad en el desarrollo de las plantas de maíz en el campo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tucumán*, 42(1), 1-10.

Quares, P. & Ochoa, J.M. & Krumm, V.A. (2010) Influencia de la temperatura y la humedad en el desarrollo de las plantas de maíz en el campo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tucumán*, 42(1), 1-10.

Quares, P. & Ochoa, J.M. & Krumm, V.A. (2010) Influencia de la temperatura y la humedad en el desarrollo de las plantas de maíz en el campo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tucumán*, 42(1), 1-10.

Quares, P. & Ochoa, J.M. & Krumm, V.A. (2010) Influencia de la temperatura y la humedad en el desarrollo de las plantas de maíz en el campo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Tucumán*, 42(1), 1-10.

- Fuentes, V.A. (2009). Modelo de análisis climático y definición de estrategias de diseño bioclimático para diferentes regiones de la república mexicana. *Tesis de doctorado no publicada*. Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Azcapotzalco, México.
- Fuentes, V.A. (s.f.). Clasificación climática de acuerdo a Köppen-García. *Hoja de cálculo en excel*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Flores, J. L. et al. (2000). *Federalismo y desarrollo. La vivienda*. México: BANOBRAS.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2008). *Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal*. México.
- Gallegos, R. (Comunicación personal, 3 de diciembre de 2012). Cálculo de cantidades de arena para monitoreo térmico en módulos de prueba. Mexicali, México.
- García, C. (2009). La toma de decisiones y el confort térmico de la vivienda autoproducida en Mérida, Yucatán. *Tesis de Doctorado no publicada*. Universidad de Colima, Colima, México.
- García, E. (1981). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, I. (2010). Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones. *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar*, México.
- Givoni, B. (1997). *Climate considerations in building and urban design*. México: International Thomson Editors.

Fuente VA (2009) Modelos de análisis de datos y métodos de estimación de parámetros  
 biológicos para diferentes tipos de datos. Universidad Autónoma de México.  
 Fuente VA (2011) Clasificación de datos de experimentos biológicos. Universidad Autónoma  
 de México.  
 Fuente VA (2012) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2013) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2014) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2015) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2016) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2017) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2018) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2019) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2020) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2021) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2022) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2023) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2024) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.  
 Fuente VA (2025) Estadística y métodos de análisis de datos. México: Pearson.

Givoni, B. (2011). Indoor temperature reduction by passive cooling systems. *Solar Energy*, 85, 1692-1726.

Gobierno del Estado de Yucatán. *Plan Estatal de Desarrollo de Yucatán 2001-2007*. Recuperado el 12 de junio de 2012 de: [http://www.lib.utexas.edu/benson/lagovdocs/mexico/yucatan/ped/plan\\_desarrollo\\_yucatan2001\\_2007.pdf](http://www.lib.utexas.edu/benson/lagovdocs/mexico/yucatan/ped/plan_desarrollo_yucatan2001_2007.pdf)

Gobierno Federal et al. (2010). *Estado actual de la vivienda en México 2010*. Recuperado el 10 de enero de 2012 de: [http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/2012/SHF/lo\\_nuevo/EAVM202012.pdf](http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/2012/SHF/lo_nuevo/EAVM202012.pdf)

Gobierno Federal et al. (2011). *Estado actual de la vivienda en México 2011*. Recuperado el 14 de marzo de 2012 de: [http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/2012/SHF/lo\\_nuevo/EAVM202012.pdf](http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/2012/SHF/lo_nuevo/EAVM202012.pdf)

Gobierno Federal et al. (2012). *Estado actual de la vivienda en México 2012*. Recuperado el 15 de agosto de 2013 de: <http://www.shf.gob.mx/estadisticas/costoanualtotal/CAT2010/Documents/Entrega%202012.pdf>

Google Maps. Recuperado de: <https://maps.google.com.mx/?hl=es-419> el 16 de mayo de 2013.

Gómez-Azpeitia, G., Bojórquez, G. & Ruiz, P. (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. *Palapa*, 1-2, 45-57.

Informe de la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR) sobre el caso de la familia de la Sra. María de la Cruz

1997-1998

Informe de la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR) sobre el caso de la familia de la Sra. María de la Cruz

1997-1998

Informe de la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR) sobre el caso de la familia de la Sra. María de la Cruz

1997-1998

Informe de la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR) sobre el caso de la familia de la Sra. María de la Cruz

1997-1998

Informe de la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR) sobre el caso de la familia de la Sra. María de la Cruz

1997-1998

Informe de la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR) sobre el caso de la familia de la Sra. María de la Cruz

1997-1998

Informe de la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR) sobre el caso de la familia de la Sra. María de la Cruz

1997-1998

Informe de la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR) sobre el caso de la familia de la Sra. María de la Cruz

1997-1998

Informe de la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR) sobre el caso de la familia de la Sra. María de la Cruz

1997-1998

Informe de la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR) sobre el caso de la familia de la Sra. María de la Cruz

1997-1998

Informe de la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR) sobre el caso de la familia de la Sra. María de la Cruz

Informe de la Comisión de la Verdad y Reconciliación (CVR) sobre el caso de la familia de la Sra. María de la Cruz

- Gómez-Azpeitia, G., Bojórquez, G., Ruiz, P., Romero, R., Ochoa, J., Pérez, M., Reséndiz, O. & Llamas, A. (2009). Comfort Temperatures inside Low-Cost Housings of six warm climate cities in Mexico. *PLEA 2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Quebec: Les Press de l'Université Laval.
- González, L. (2009). *Viaje por la historia de México*. Recuperado el 12 de Junio de 2012, de <http://www.sep.gob.mx/work/models/sep1/Resource/564/1/images/Viaje%20por%20la%20historia%20de%20M%C3%A9xico.pdf>
- Gossauer, E. & Wagner, A. (2007). *Post-occupancy evaluation and thermal comfort: State of the art and new approaches*. Londres: Earthscan, p. 151-175.
- Haro, E. (2009). Comportamiento de dos tipos de cubiertas vegetales, como dispositivo de climatización, para climas cálido sub-húmedos. *Tesis de Maestría no publicada*. México.
- Hernández, R. et al. (2006). *Metodología de la investigación*, cuarta edición, México: Mc Graw Hill.
- Historia del aire acondicionado*. (s.f.). Consultada el 17 de septiembre de 2013 de: <http://www.carrier.es/news/history.html#top>
- Howland, J. (1997). *Elementos de estadística y diseño de experimentos en la tecnología del hormigón*. La Habana: Ministerio de la construcción.
- Hui, S. & Chan, H.M. (2008). Development of Modular Green Roofs for High-density Urban Cities. *World Green Roof Congress*, Londres, Inglaterra.

Gómez-Acebrón R, Rodríguez R, Ruiz R, Gómez R, López J, Pérez M, Rodríguez C  
A Jiménez A (2009) Control Transgénico: Necesidad de un marco  
regulatorio para la gestión de riesgos en el campo  
de la agricultura. Documento de Trabajo del INIA. Lima

Comisión Ecuatoriana de Alimentos (2007) Reglamentos de Alimentos. Capítulo 12 de Julio de 2012 de  
http://www.ecuador.gob.ec/medios/comision-eucom-alimentos/temas/tema-12-reglamentos-de-alimentos-2007

Comisión Ecuatoriana de Alimentos (2007) Metodología de evaluación de riesgos de alimentos. Capítulo 12 de Julio de 2012 de  
http://www.ecuador.gob.ec/medios/comision-eucom-alimentos/temas/tema-12-reglamentos-de-alimentos-2007

Comisión Ecuatoriana de Alimentos (2007) Metodología de evaluación de riesgos de alimentos. Capítulo 12 de Julio de 2012 de  
http://www.ecuador.gob.ec/medios/comision-eucom-alimentos/temas/tema-12-reglamentos-de-alimentos-2007

Comisión Ecuatoriana de Alimentos (2007) Metodología de evaluación de riesgos de alimentos. Capítulo 12 de Julio de 2012 de  
http://www.ecuador.gob.ec/medios/comision-eucom-alimentos/temas/tema-12-reglamentos-de-alimentos-2007

Comisión Ecuatoriana de Alimentos (2007) Metodología de evaluación de riesgos de alimentos. Capítulo 12 de Julio de 2012 de  
http://www.ecuador.gob.ec/medios/comision-eucom-alimentos/temas/tema-12-reglamentos-de-alimentos-2007

Comisión Ecuatoriana de Alimentos (2007) Metodología de evaluación de riesgos de alimentos. Capítulo 12 de Julio de 2012 de  
http://www.ecuador.gob.ec/medios/comision-eucom-alimentos/temas/tema-12-reglamentos-de-alimentos-2007

Comisión Ecuatoriana de Alimentos (2007) Metodología de evaluación de riesgos de alimentos. Capítulo 12 de Julio de 2012 de  
http://www.ecuador.gob.ec/medios/comision-eucom-alimentos/temas/tema-12-reglamentos-de-alimentos-2007

Humphreys, M. (1976). Field studies of thermal comfort compared and applied. *J. Inst. Heat. & Vent. Eng.* 44, 5-27.

Humphreys, M. A., Nicol, J. F. & Raja, I.A. (2007). *Field studies of indoor thermal comfort and the progress of the adaptive approach*. Londres: Earthscan, p.55-88.

Ibáñez, R.A. (s.f.). Techos vivos extensivos: Una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia. Artículo en revista. *Alarife*. Universidad Piloto de Colombia

Instituto de Geografía. (2013). *Clima*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 05 de abril de 2013 en: [http://www.igeograf.unam.mx/web/sigg/publicaciones/atlas/anm-2007/nat\\_amb/na4.php](http://www.igeograf.unam.mx/web/sigg/publicaciones/atlas/anm-2007/nat_amb/na4.php)

Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT). (2012). *Historia*. Consultado el 20 de febrero de 2012 en: <http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/infonavit/el+instituto>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Vivienda. XIII Censo de población y vivienda 2010*. Recuperado el 05 de abril de 2013 de: <http://www.censo2010.org.mx/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2011). *Anuario estadístico de Yucatán 2011*. Recuperado el 04 de abril de 2013 de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/productos/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). *Clima*. Recuperado el 01 de abril de 2013, de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/clima/default.aspx>

Hurtado, M. (1978). Field studies of ... and applied. J. Trop. Geogr. 44.

Hurtado, M. A., & ... (1978). Field studies of ... and ...

... Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

... Universidad Nacional Autónoma de México

... 2013

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2012). ...

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2013). ...

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2011). ...

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2011). ...

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2013). ...

... 2013

- International Organization for Standardization. (1998). *ISO 7726:1998, Ergonomics of the thermal environment - instruments for measuring physical quantities*. Ginebra: Autor
- International Organization for Standardization. (2005). *ISO 7730:2005 (E) Ergonomics of the thermal environment - analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Ginebra: Autor
- International Organization for Standardization. (2004). *ISO 8996:2004 (E) Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate*. Ginebra: Autor
- International Organization for Standardization. (2007). *ISO 9920:2007 (E) Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble*. Ginebra: Autor
- International Organization for Standardization. (2002). *ISO 10551:1995 (E) Ergonomics of thermal environment - assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales*. Ginebra: Autor.
- Jim, C.Y. (2012). Effect of vegetation biomass structure on thermal performance of tropical green roof. *Landscape Ecol. Eng.*, 8, 173-187.
- Jim, C.Y. & Hongming, H. (2010). Coupling heat flux dynamics with meteorological conditions in the green roof ecosystem. *Ecological Engineering*, 36, 1052-1063.
- Jim, C.Y. & Peng, L. (2012). Substrate moisture effect on water balance and thermal regime of a tropical extensive green roof. *Ecological Engineering*, 47, 9-23.

International Organization for Standardization (ISO) 15926:2013, Petroleum and natural gas industries — Basic definitions and terms related to the petroleum and natural gas value chain

International Organization for Standardization (ISO) 15926:2013, Petroleum and natural gas industries — Basic definitions and terms related to the petroleum and natural gas value chain — Part 2: Terms related to the petroleum and natural gas value chain

International Organization for Standardization (ISO) 15926:2013, Petroleum and natural gas industries — Basic definitions and terms related to the petroleum and natural gas value chain — Part 3: Terms related to the petroleum and natural gas value chain

International Organization for Standardization (ISO) 15926:2013, Petroleum and natural gas industries — Basic definitions and terms related to the petroleum and natural gas value chain — Part 4: Terms related to the petroleum and natural gas value chain

International Organization for Standardization (ISO) 15926:2013, Petroleum and natural gas industries — Basic definitions and terms related to the petroleum and natural gas value chain — Part 5: Terms related to the petroleum and natural gas value chain

International Organization for Standardization (ISO) 15926:2013, Petroleum and natural gas industries — Basic definitions and terms related to the petroleum and natural gas value chain — Part 6: Terms related to the petroleum and natural gas value chain

International Organization for Standardization (ISO) 15926:2013, Petroleum and natural gas industries — Basic definitions and terms related to the petroleum and natural gas value chain — Part 7: Terms related to the petroleum and natural gas value chain

International Organization for Standardization (ISO) 15926:2013, Petroleum and natural gas industries — Basic definitions and terms related to the petroleum and natural gas value chain — Part 8: Terms related to the petroleum and natural gas value chain

- Jim, C.Y. & Tsang, S.W. (2011). Modeling the heat diffusion process in the abiotic layers of green roofs. *Energy and buildings*, 43, 1341-1350.
- Kent, S. (1993). *Domestic architecture and the use of space*. New York: Cambridge University Press.
- Lacomba, R. (comp.). (1991). *Bienestar térmico humano. Manual de Arquitectura solar*. México, Editorial: Trillas, p. 292.
- López, R., Canseco M.A., Morales, J. D. & Ortega, A. R. (2010). Una paleta vegetal para cubiertas verdes en climas templados subhúmedos. *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar*, México.
- Luber G., & McGeehin M. 2008. Climate change and extreme heat events. *American Journal of Preventive Medicine*, 35, 429–435.
- Luna, A. (2008). Diseño y evaluación de vivienda energéticamente sustentable. *Tesis doctoral no publicada*, Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali.
- Luna, A., Bojórquez, G., Gallegos, R. & Mata, D. (2012). Cálculo Térmico en la Edificación (CATEDI). *Hoja de cálculo en Excel*. Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali.
- Mackey, C.W., Lee, X. & Smith, R.B. (2012). Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island. *Building and Environment*, 49, 348-358.
- Maycotte, E. (2005). *Nuevas tipologías de vivienda de interés social financiadas por programas gubernamentales. El caso de la vivienda económica en Ciudad Juárez*

Green roofs Energy Performance 1344-1350

Kent, S. (1993) *Green roofs: design and the use of space*. New York: McGraw-Hill.

López, R., Canales M.A., Montes, J. D. & Ortega, A. R. (2008) *Los patios vegetales para mejorar el ambiente en edificios públicos*. *Revista de la Gerencia Urbana*, México, Editorial THLAS, p. 282.

Luna, A. (2008) *Diseño de viviendas sostenibles*. *Revista de la Gerencia Urbana*, México, Editorial THLAS, p. 282.

Luna, A. (2008) *Diseño de viviendas sostenibles*. *Revista de la Gerencia Urbana*, México, Editorial THLAS, p. 282.

Luna, A. (2008) *Diseño de viviendas sostenibles*. *Revista de la Gerencia Urbana*, México, Editorial THLAS, p. 282.

Luna, A., Boixard, G., Gallegos, G., Mesa, B. (2012) *Cálculo Térmico en la Edificación*. (CATED). *Hoja de vida de la Facultad de Arquitectura y Diseño*. Autónoma de Baja California, México.

Mackey, G.W., Lee, X. & Smith, R.B. (2012) *Remotely sensing the cooling effects of city scale green roofs*. *Building and Environment*, 47, 242-258.

Martínez, E. (2008) *Nuevas tecnologías de vivienda en infraestructura social*. *Revista de la Gerencia Urbana*, México, Editorial THLAS, p. 282.

Chihuahua. Ciudad Juárez Chihuahua, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, p. 22. Recuperado el 22 de junio de 2012 de: <http://www2.uacj.mx/ICSA/Investiga/RNIU/pnencias%20pdf/Pon.%20Mtra.%20Elvira%20Maycotte.pdf>

Mecott, S. (2007). Vivienda bioclimática con paneles modulares de ferrocemento y materiales aislantes alternativos para la ciudad de Oaxaca, Oaxaca. *Tesis de Maestría no publicada*, Instituto Politécnico Nacional, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.

Miller, B. (ed.). (2006). *Housing and dwelling. Perspective on modern domestic architecture*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group.

Minke, G. (2004). *Techos verdes. planificación, ejecución, consejos prácticos*. Uruguay: Fin de Siglo.

Morau, D., Libelle, T. & Garde, F. (2012). Performance Evaluation of Green Roof for Thermal Protection of Buildings In Reunion Island. *Energy Procedia*, 14, 1008-1016.

Morillón, D. et al. (2002). Atlas bioclimático de la República Mexicana. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 10, 57-62.

Neila, F.J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería, p. 443.

Neila, F.J., Bedoya, C., Acha, C., Olivieri, F. & Barbero, M. (2008). Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo material constructivo. *Informes de la Construcción*, 60, 15-24.



- Niachou A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A. & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33, 719-729.
- Norberg-Schultz, T.C. (1983). *Arquitectura occidental. La arquitectura como historia de formas y significados*. Barcelona, España: Gustavo Gili.
- Observatorio de cambio climático de Yucatán. (2013). *Qué es el clima?* Recuperado el 05 de abril de 2013 de: <http://www.cambioclimatico.yucatan.gob.mx/clima-yucatan/index.php>
- Ochoa, J.M. (1999). La vegetación como instrumento para el control microclimático. *Tesis Doctoral no publicada*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili S.A, p.203.
- ONU-Hábitat. (2011). *Informe mundial sobre asentamientos humanos 2011. Las ciudades y el cambio climático: orientaciones para políticas*. Rio de Janeiro: Earthscan, p.66.
- Onset Computer Corporation. Recuperado de: <http://www.onsetcomp.com/products> el 16 de agosto de 2012.
- Ortega, A. R., et al. (2010). Diseño del modelo paramétrico para evaluar el desempeño térmico de una cubierta verde. *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar*, México.
- Ortiz, V. M. (1984). *La casa, una aproximación*. Colección de ensayos. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, p. 153.



Ouldboukhitine, S.E., Belarbi, R. & Djedjig, R. (2012). Characterization of green roof components: Measurements of thermal and hydrological properties. *Building and Environment*, 56, 78-85.

Palomino, B. J. & López R. (2010). Aplicaciones paisajísticas del sedum para el aligeramiento de sustratos sobre azoteas verdes. *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar*, Universidad Nacional Autónoma de México

Parizotto, S. & Lamberts, R. (2011). Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. *Energy and Buildings*, 43, 1712-1722.

Patil, U. & Chalfoun, N. (s.f.). Thermal comfort assessment of a green roof at the College of Architecture and Landscape Architecture in Tucson, Arizona. Universidad de Arizona. Recuperado de: <http://capla.arizona.edu/hed/docs/SIMbuild-08.pdf> el 06 de agosto de 2013.

Pérez, M.M., Cruz, E., García, C. (2008). Evaluación del confort térmico del usuario de vivienda económica en clima cálido húmedo, *Memorias de la 32 Semana Nacional de Energía Solar*, ABC-22, Mérida, Yucatán, México.

Rapoport, A. (1969). *Vivienda y cultura*. Barcelona: Gustavo Gili.

Real Academia Española (RAE). Consultado en: <http://www.rae.es/rae.html>.

Rybczynski, W. (2003). *La casa. Historia de una idea*, Madrid, Editorial Nerea, p. 255.

Santamouris Mat, 2007, *Advances in Building Energy Research*, United States, Earthscan, p.

Carbocation, S.E. Beate, R. & Dede, A. (2012) Investigation of gas and  
component measurement of ethanol and hydrological process. *Water and  
Environment* 22, 12-22

Prasad, B. A. & Loke, R. (2007) Hydrological processes in urban areas  
algorithm for urban water control model. *Journal of Hydrological  
Engineering* 12(1), 1-10

Prasad, S. & Lakshmi, R. (2011) Investigation of ground water recharge in  
urban areas. A case study of an experimental setup in Hyderabad. *Hydrological  
Engineering* 16(1), 1-10

Patel, H. & Ghosh, R. (2011) Hydrological processes of a semi-urban area of  
Hyderabad and its impact on urban water resources. *Journal of Hydrological  
Engineering* 16(1), 1-10

Patel, M. S., Das, E., Ghosh, C. (2008) Evaluation of urban water resources in  
Hyderabad. *Journal of Hydrological Engineering* 13(1), 1-10

Prasad, A. (2011) Hydrological processes in Hyderabad. *Journal of Hydrological  
Engineering* 16(1), 1-10

Prasad, A. (2011) Hydrological processes in Hyderabad. *Journal of Hydrological  
Engineering* 16(1), 1-10

Prasad, A. (2011) Hydrological processes in Hyderabad. *Journal of Hydrological  
Engineering* 16(1), 1-10

Prasad, A. (2011) Hydrological processes in Hyderabad. *Journal of Hydrological  
Engineering* 16(1), 1-10

- Rogers, D.P. et al. (2010). Health and climate – opportunities. *Procedia Environmental Sciences*, 1, 37-54.
- Romero, R.A., et al. (2007). Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones de clima cálido seco y cálido húmedo. *Producto 1: vivienda económica en México en climas cálidos (secos y húmedos)*. CONAFOVI.
- Romero, R.A., et al. (2007). Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones de clima cálido seco y cálido húmedo. *Producto 3: Monitoreo de condiciones de confort térmico*. CONAFOVI.
- Romero, R. A., et al. (2010). Vivienda, usuario y confort térmico en la vivienda económica en México. En A. Figueroa, *Estudios de Arquitectura* (págs. 19-30). México: LIMUSA, S.A. de C.V.
- Sahagun, M.I. (2012). Techo verde como elemento reductor de transferencia de calor en clima cálido seco extremoso”. *Tesis de Maestría no publicada*. Universidad Autónoma de Baja California. Baja California, México.
- Sailor, D.J. & Hagos, M. (2011). An updated and expanded set of thermal property data for green roof growing media. *Energy and Buildings*, 43, 2298-2303.
- Santamouris, M. (2012). Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments (en prensa). *Solar Energy*, 1-22.
- Santamouris, M., Pavlou, C., Doukas, P., Mihalakakou, G., Synnefa, A., Hatzibiros, A. & Patargias, P. (2007). Investigating and analysing the energy and environmental

Rogers, D.P. et al. (2010) *Journal of Environmental Psychology*, 30(1), 1-10

Roman, R.A. et al. (2007) *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 1-10

Roman, R.A. et al. (2007) *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 1-10

Roman, R.A. et al. (2007) *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 1-10

Roman, R.A. et al. (2007) *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 1-10

Roman, R.A. et al. (2007) *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 1-10

Roman, R.A. et al. (2007) *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 1-10

Roman, R.A. et al. (2007) *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 1-10

performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. *Energy*, 32, 1781-1788.

Secretaría de Energía. Sistema de Información Energética. Balance nacional de energía: *Consumo de energía en los sectores residencial, comercial y público 2010*. En: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IE7C03>, consultado el 16 de marzo de 2013.

Simancas, K. C. (2003). Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo, *Tesis no publicada para obtener el grado de Doctor*, Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, p.353.

Simmons, M. T., Gardiner, B., Windhager, S. & Tinsley, J. (2008). Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. *Urban Ecosystem*, 11, 339-348.

Solís, J. & Castañeda G. (2010). La vegetación como estrategia proyectual bioclimática para la vivienda en clima cálido subhúmedo, *Memorias de la XXXIII Semana Nacional de Energía Solar*, Universidad Autónoma de Chiapas, p. 87-92.

Susca, T., Gaffin, S.R. & Dell'Osso G.R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159, 2119-2126.

Tabares-Velasco, P.C. & Srebric, J. (2011). Experimental quantification of heat and mass transfer process through vegetated roof samples in a new laboratory setup. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54, 5149-5162.

performance of an experimental green-field system installed in a nearby coastal  
plant in Arica, Chile. *Energy*, 33, 1151-1159

Centrale de Energie Éolienne de l'Institut Éolien, Bureau National de l'énergie  
Coutable de l'énergie et les autres ressources renouvelables, 1990, 1000  
rapports annuels de l'Institut Éolien, 1990, 1000

Barnard, R. C. (2002). *Renewable energy: The challenge of energy  
supply in a world of finite resources*. London: Earthscan Publications Ltd.  
Barnard, R. C. (2002). *Renewable energy: The challenge of energy  
supply in a world of finite resources*. London: Earthscan Publications Ltd.

Baron, M. T., Gannon, B., Whittaker, J. & Taylor, J. (2007). Green is the new  
black: The impact of the 2007-2008 financial crisis on the renewable energy  
sector. *Energy*, 32, 125-134

Baron, M. T., Gannon, B., Whittaker, J. & Taylor, J. (2007). Green is the new  
black: The impact of the 2007-2008 financial crisis on the renewable energy  
sector. *Energy*, 32, 125-134

Baron, M. T., Gannon, B., Whittaker, J. & Taylor, J. (2007). Green is the new  
black: The impact of the 2007-2008 financial crisis on the renewable energy  
sector. *Energy*, 32, 125-134

Baron, M. T., Gannon, B., Whittaker, J. & Taylor, J. (2007). Green is the new  
black: The impact of the 2007-2008 financial crisis on the renewable energy  
sector. *Energy*, 32, 125-134

- Tabares-Velasco, P.C., Zhao, M., Peterson, M., Srebric, J. & Berghage, R. (2012). Validation of predictive heat and mass transfer green roof model with extensive green roof field data. *Ecological Engineering*, 47, 165-173.
- Takakura, T., Kitade, S. & Goto, E. (2000). Cooling effect of greenery cover over a building. *Energy and Buildings*, 31, 1-6.
- Tello, L. (1989). La acción habitacional del sector público: implicaciones de las políticas de autoconstrucción en Mérida. *Cuadernos de Arquitectura de Yucatán*, 2, p. 51.
- Theodosiou, T. G. (2003). Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy and Buildings*, 35, 909-917.
- Tovar, E.I., Figueroa, A., Gordon, M. & Valiente, A. (2010). Potencial bioclimático de la vegetación nativa de México aplicada en envolventes arquitectónicas como dispositivo de control térmico. *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar*.
- Trejo, L. M. (1974). *El problema de la vivienda en México*. México: Fondo de cultura económica.
- Triola, M. (2009). *Estadística*. México: Pearson.
- Tudela, F. (1991). *Ecodiseño*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Xochimilco, p. 233.
- Tsang, S.W. & Jim, C.Y. (2011). Theoretical evaluation of thermal and energy performance of tropical green roofs. *Energy*, 36, 3590-3598.

Tobias/Veloso, P. G., Diaz, M., Pizarro, M., Lopez, J. & Salgado, R. (2012) *Journal of  
of predictive heat and mass transfer* *Journal of Heat and Mass Transfer* 155, 1-12

Tokumoto, T., Kato, S. & Oishi, S. (2008) *Energy and Buildings* 40, 1-10

Toussaint, J. (1995) *La action internationale de l'Union internationale de la physique  
et de l'astronomie en Médecine* *Comptes Rendus de l'Académie de Médecine* 3, 1-11

Tranquillo, T. G. (2002) *Journal of Energy and Buildings* 34, 1-11

Treanor, E. J., Figueira, A., Gordon, M. & Wang, A. (2007) *Journal of Energy and Buildings* 39, 1-11

Treanor, E. J. (2014) *Journal of Energy and Buildings* 58, 1-11

Treanor, E. J. (2015) *Journal of Energy and Buildings* 60, 1-11

Treanor, E. J. (2016) *Journal of Energy and Buildings* 61, 1-11

Treanor, E. J. & Wang, A. (2017) *Journal of Energy and Buildings* 62, 1-11

Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). (1999). *Atlas de procesos territoriales de Yucatán*. México: PROEESA.

Varini, C. (2011). Eco-envolventes (I+D+I). Envolventes arquitectónicos sensibles al clima para zonas geoclimáticas tropicales con alto desempeño térmico y bajo impacto ambiental. *Ponencias presentadas Ekotectura*. Universidad Piloto de Colombia, Colombia.

Vecchia F. & Castañeda G. (2006). Reacción ante el calor de cuatro sistemas de cubiertas. *Ingeniería*, 1, 17-23. Recuperado el 05 de agosto de 2013 de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46710102>.

VijayaVenkataRaman, S., Iniyar, S. & Ranko, G. (2012). A review of climate change, mitigation and adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 878-897.

What is a Green roof. Recuperado de: [www.toronto.ca/greenroofs/what.htm](http://www.toronto.ca/greenroofs/what.htm) el 01 de mayo de 2013.

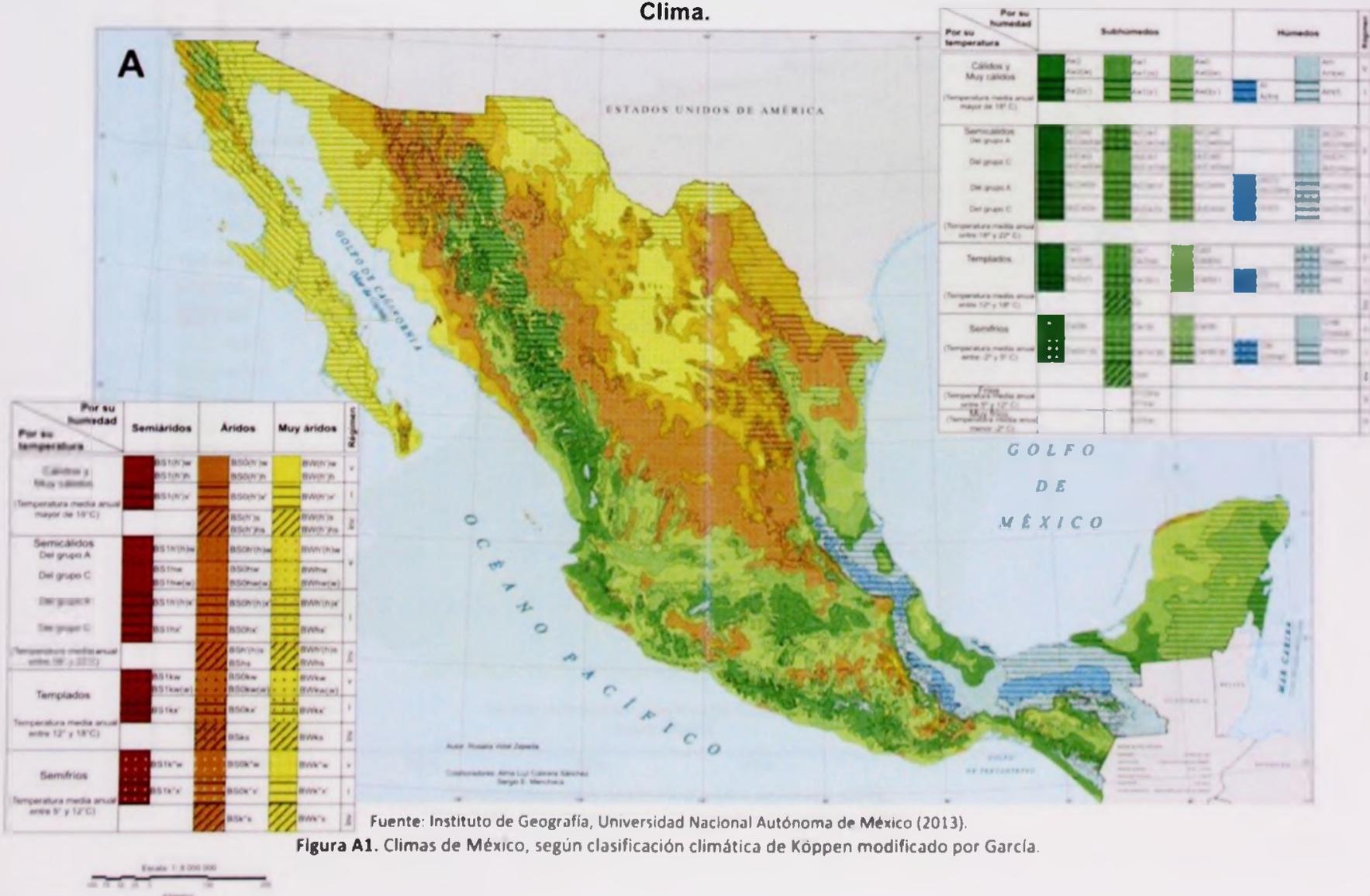
Yarke, E.R. (2011). *Ventilación natural de edificios. Fundamentos y métodos de cálculo*. Bogotá: Nobuko, p. 140.

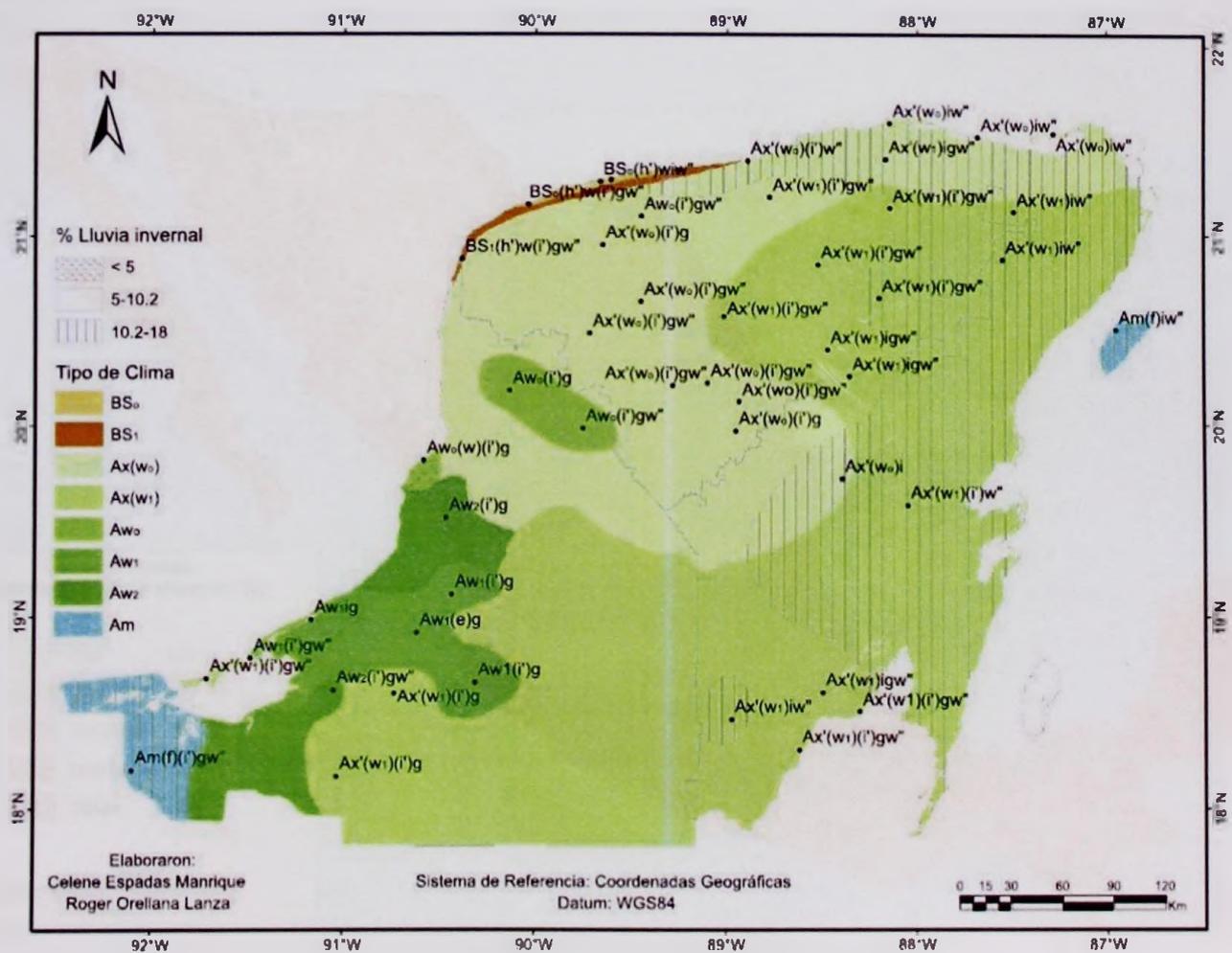
Zhu, L., Hurt, R., Correia, D. & Boehm, R. (2009). Detailed energy saving performance analyses on thermal mass walls demonstrated in a zero energy house. *Energy and Buildings*, 41, 303-310.

# APÉNDICES

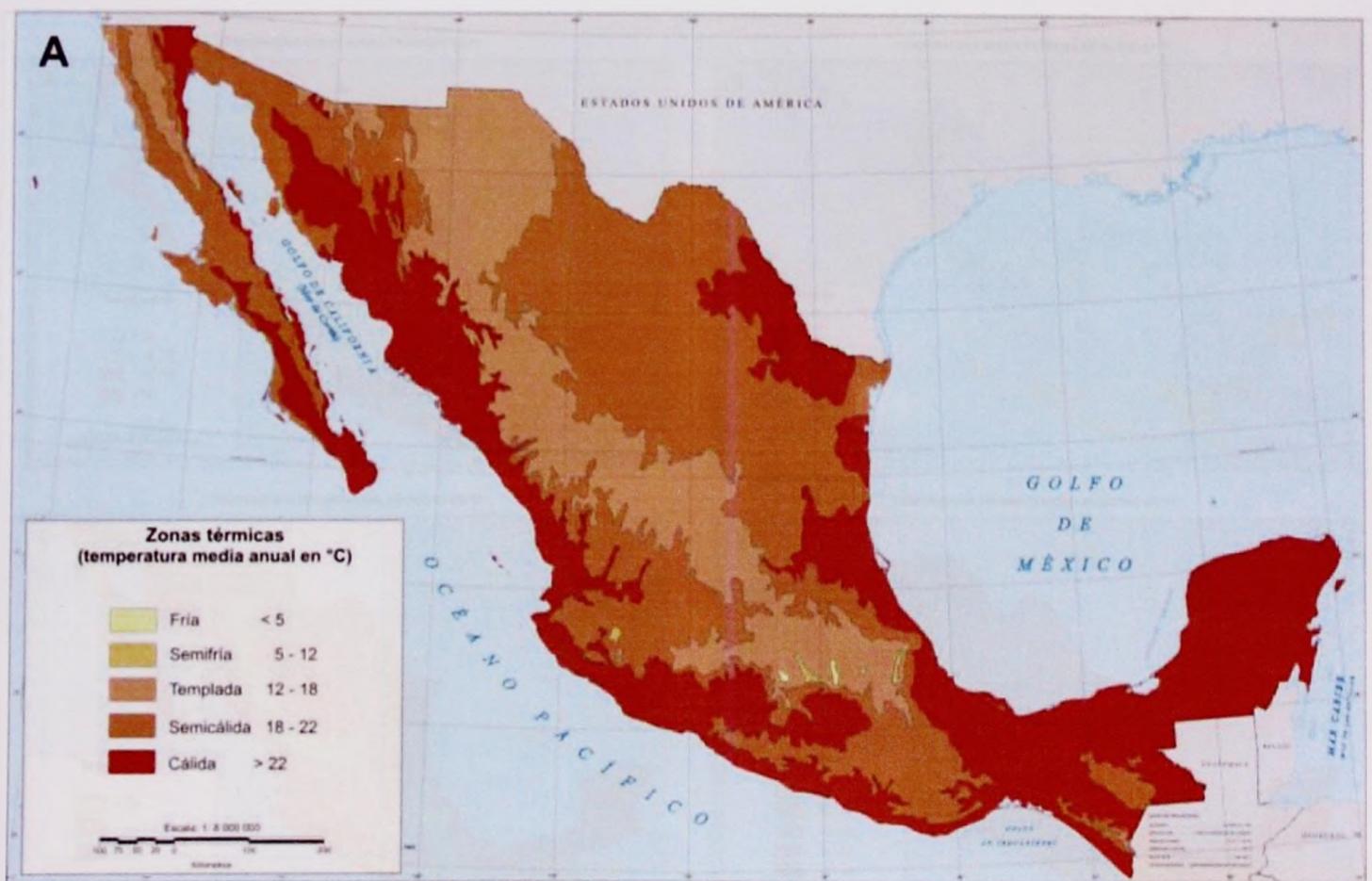
## APÉNDICE A

### Clima.





Fuente: Observatorio de cambio climático de Yucatán (2013).  
 Figura A2. Climas, península de Yucatán. Datos 1961-1990.



Fuente: Instituto de Geografía, UNAM.

Figura A3. Zonas térmicas de México, con base en la temperatura media anual.







Fuente: Instituto de Geografía, UNAM.  
 Figura A7. Precipitación total anual en México.

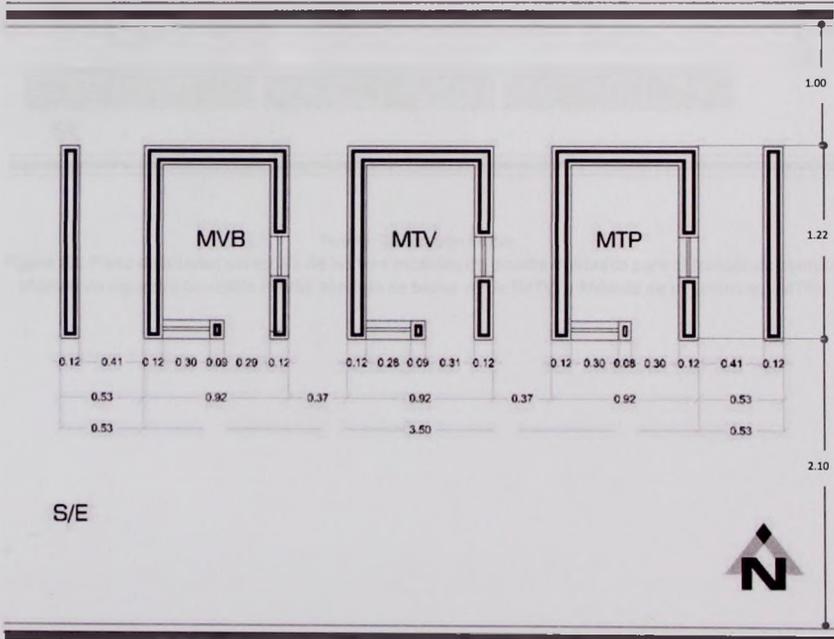
Map of the United States showing the distribution of the species in the genus *...*



## APÉNDICE B

### Módulos de prueba

Los módulos de prueba se adecuaron para cumplir con las condiciones mencionadas en el apartado de estrategia de monitoreo, debido a que anteriormente habían sido utilizados en proyectos similares. Los tres módulos a escala tienen dimensiones idénticas, la altura original era de 0.81 m y la altura final, debido a la adición de pretilos de 0.20 m es de 1.10 m. Las condiciones actuales se muestran en los planos siguientes:



Fuente: Elaboración propia.

**Figura B1.** Plano de plantas arquitectónicas sin escala de los tres módulos de prueba utilizados para el trabajo de campo. Módulo de vigueta y bovedilla (MVB), Módulo de techo verde (MTV) y Módulo de poliestireno (MTP).

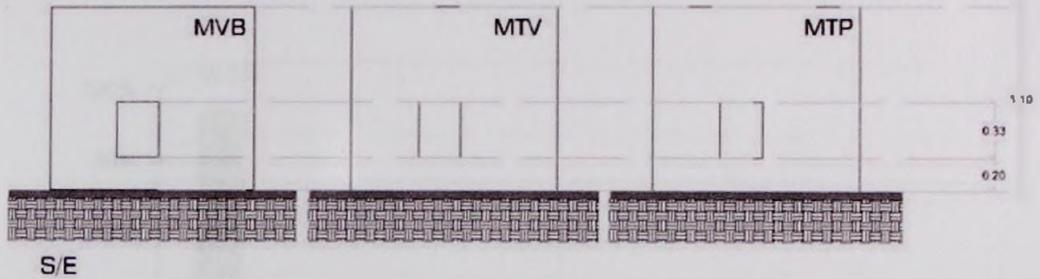
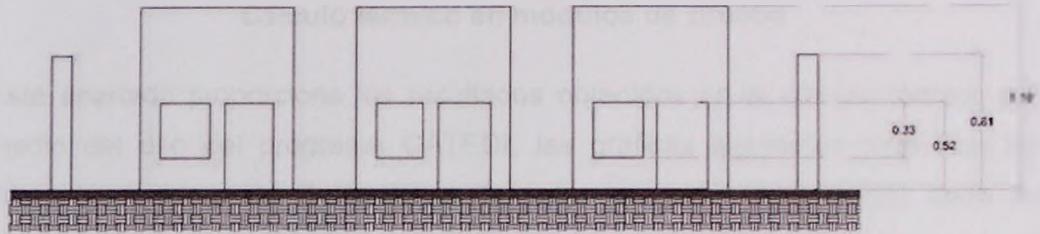
## APÉNDICE B

### Módulos de prueba

Los módulos de prueba se seleccionaron para cumplir con los requisitos mencionados en el apartado de selección de materiales debido a que anteriormente habían sido utilizados en proyectos similares. Los tres módulos a escala tienen dimensiones idénticas, la altura original era de 2.54 m y la anchura final, debido a la adición de paredes de 0.57 m es de 1.10 m. Las configuraciones actuales se muestran en los planos siguientes.



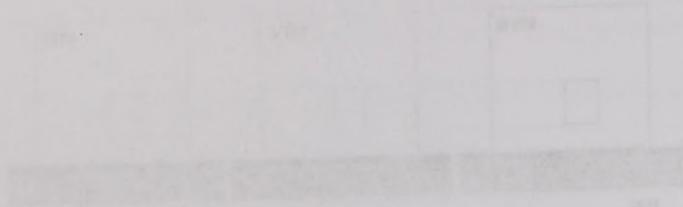
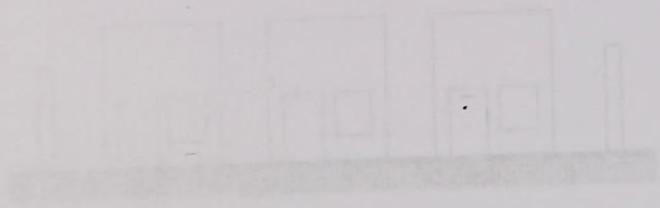
Figura B.1. Planos de planta arquitectónica de escala de los tres módulos de prueba utilizados en el estudio de campo. Módulo M1, Módulo M2 y Módulo M3. Escala: 1:50. Fuente: Autor.



S/E

Fuente: Elaboración propia.

**Figura B2.** Plano de alzados sin escala de los tres módulos de prueba utilizados para el trabajo de campo. Módulo de vigueta y bovedilla (MVB), Módulo de techo verde (MTV) y Módulo de poliestireno (MTP).

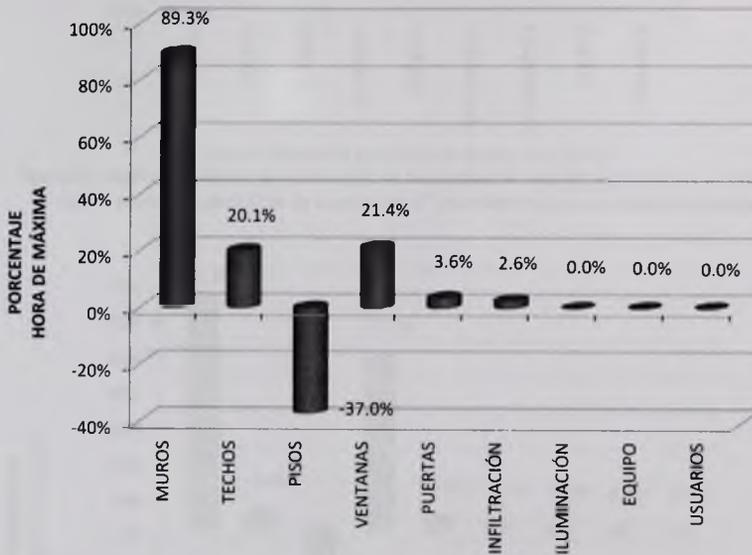


Handwritten text, likely a title or description, which is mostly illegible due to fading. It appears to be a list of items or a set of instructions.

## APÉNDICE C

### Cálculo térmico en módulos de prueba

Este apartado proporciona los resultados obtenidos en el cálculo térmico por medio del uso del programa CATEDI, las gráficas siguientes muestran los diferentes valores de Q (cantidad de calor aportada) para cuatro tipos de techos, lo cual permitió determinar el espesor del techo verde utilizado en el presente trabajo de investigación.



Fuente: Elaboración propia a partir de Luna et al. (2012)

**Figura C1.** Gráfica con valores en porcentajes de la cantidad de calor (Q) aportada por un techo de vigueta y bovedilla de 0.17 m de espesor en un módulo de prueba.

# APÉNDICE C

## Cálculo térmico en métodos de grutas

Este apartado proporciona los resultados obtenidos en el cálculo térmico por medio del uso del programa GATEO. Los gráficos siguientes muestran los diferentes valores de Q (cantidad de calor aportada por cada metro de factor), lo cual permite determinar el espesor del aislamiento necesario en el presente trabajo de investigación.

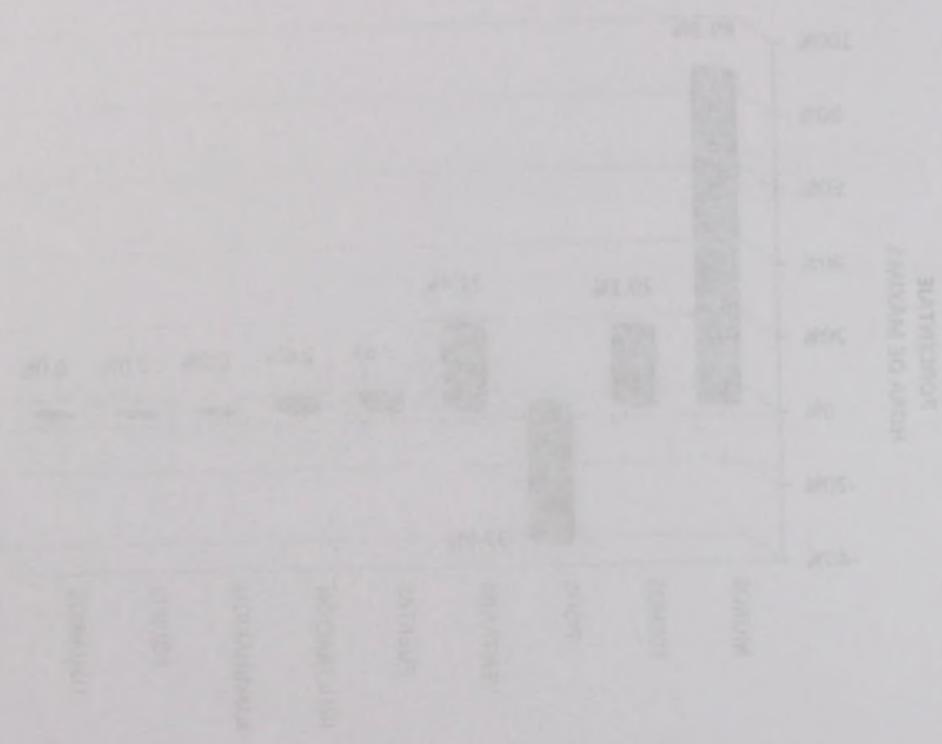
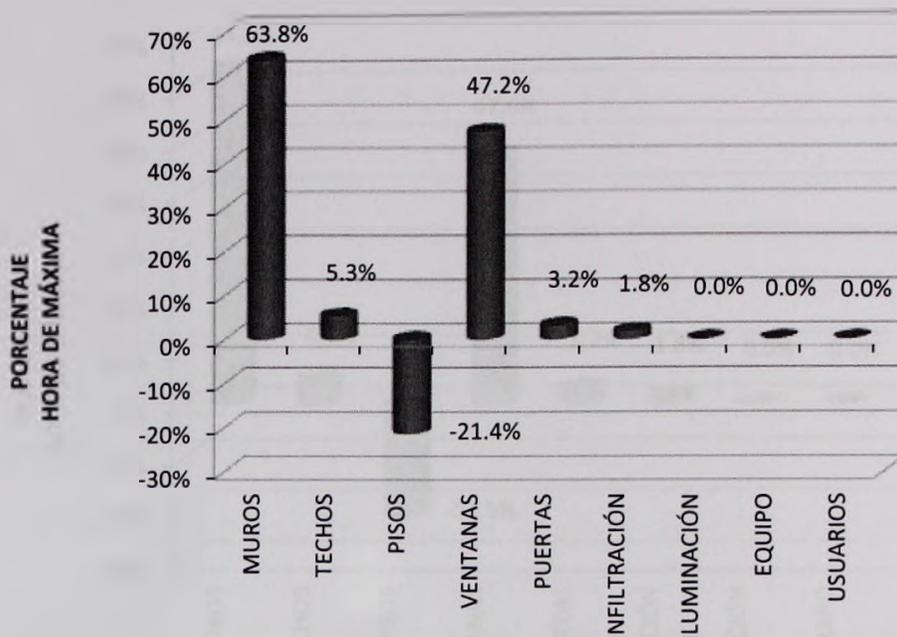
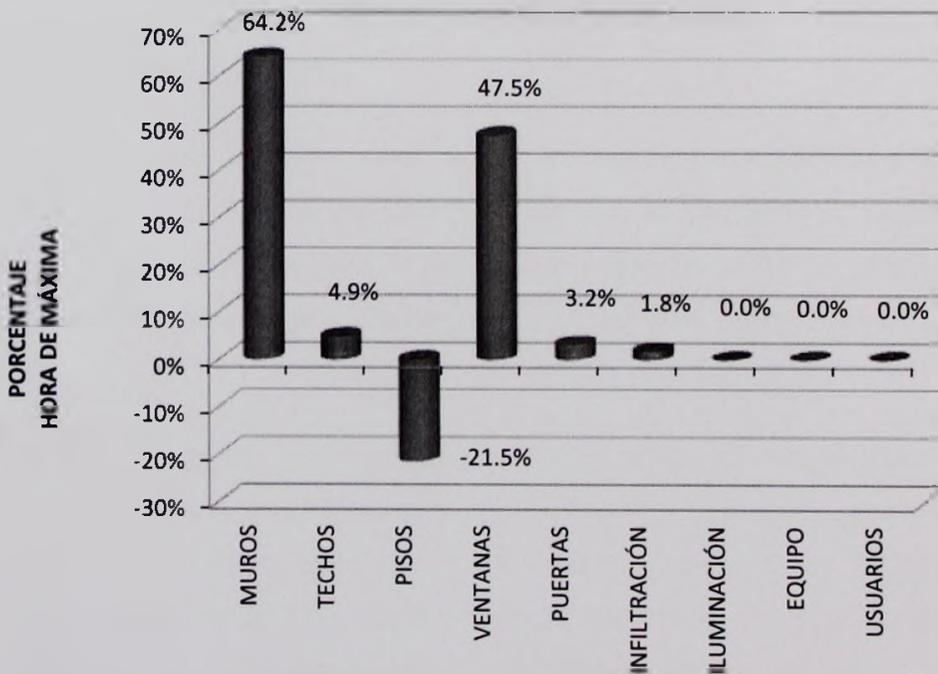


Figura C.1. Gráfico con valores de generación de calor (Q) en cada metro de factor y temperatura de 0,1 m de espesor de aislamiento en metros.



Fuente: Elaboración propia a partir de Luna et al. (2012)

Figura C2. Gráfica con valores en porcentajes de la cantidad de calor (Q) aportada por un techo de vigueta y bovedilla de 0.17 m de espesor con 1" de poliestireno en un módulo de prueba.



Fuente: Elaboración propia a partir de Luna et al. (2012)

Figura C3. Gráfica con valores en porcentajes de la cantidad de calor (Q) aportada por un techo verde de 0.10 m de espesor en módulo de prueba.

Figure 10. Comparison of the number of species in the different trophic levels of the food web in the two lakes. The number of species is shown on the y-axis and the trophic level on the x-axis. The data are presented in Table 1.

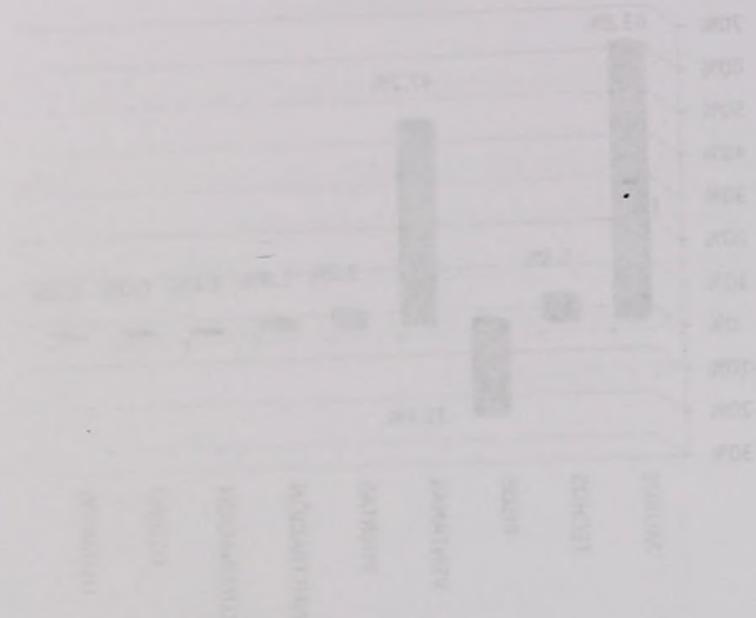
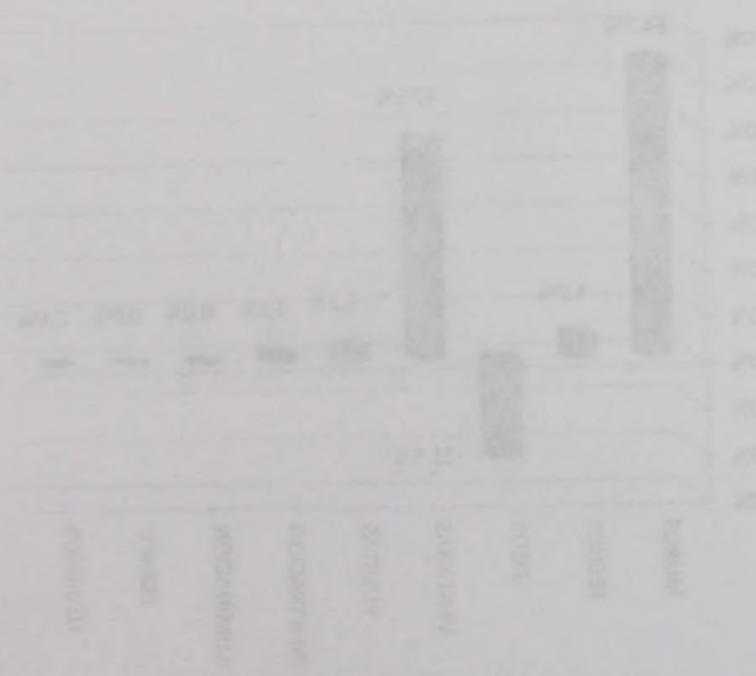
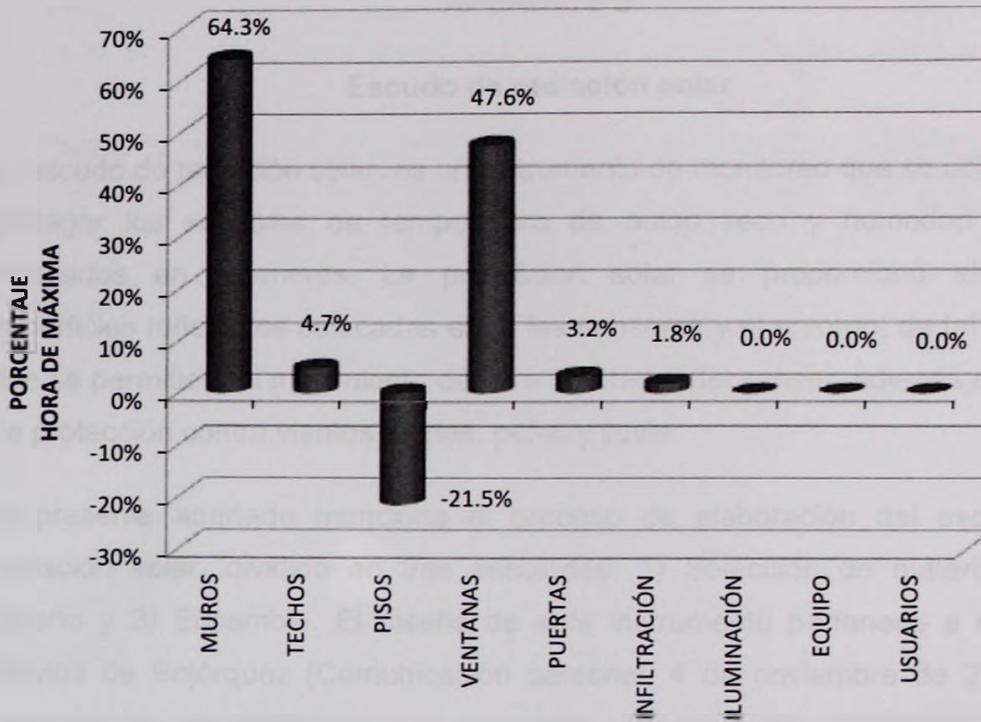


Figure 11. Comparison of the number of species in the different trophic levels of the food web in the two lakes. The number of species is shown on the y-axis and the trophic level on the x-axis. The data are presented in Table 1.





Fuente: Elaboración propia a partir de Luna et al. (2012)

**Figura C4.** Gráfica con valores en porcentajes de la cantidad de calor (Q) aportada por un techo verde de 0.15 m de espesor en módulo de prueba.



## APÉNDICE D

### Escudo de radiación solar

El escudo de radiación solar, es un instrumento de monitoreo que se utilizó para proteger los sensores de temperatura de bulbo seco y humedad relativa colocados en exteriores. La protección solar se proporcionó al utilizar superficies reflejantes colocadas entre los sensores y el entorno, de tal manera que se permitiera el movimiento del aire alrededor del sensor, además de servir de protección contra vientos fuertes, polvo y lluvia.

El presente apartado menciona el proceso de elaboración del escudo de radiación solar, dividido en tres secciones: 1) Selección de materiales, 2) Diseño y 3) Ensamble. El diseño de este instrumento pertenece a estudios previos de Bojórquez (Comunicación personal, 4 de noviembre de 2012), la selección de los materiales y el ensamble se realizó en colaboración con el mismo autor.

#### ***Selección de materiales***

El primer paso para la elaboración del escudo de radiación solar, es la adecuada selección de los componentes que lo integran. Se necesita de una base o soporte, resistente y de fácil manejo para transportarlo o moverlo cuando se necesite, por ello se utilizó un soporte para bocina de 1.50 m de altura.

Los elementos que servirán de protección solar, vientos y lluvia deben ser capaces de cubrir los sensores y al mismo tiempo permitir el paso del aire, por lo cual se utilizaron siete platos de melamina de 0.20 m de diámetro, tres varillas roscadas de 3/8", roscas, tuercas, arandelas, la cubierta de plástico de seis bolígrafos y pintura en aerosol color blanco mate. Se utilizó una placa de poliestireno de 2" de espesor para elaborar un círculo con diámetro similar al de



los platos, al cual se le aplicaron varias capas de mezcla para resanar, este círculo sirvió como aislante térmico de la radiación solar directa (Figura D1).



Fuente: Archivo personal.  
**Figura D1.** Algunos materiales utilizados y círculo de poliestireno.

### **Diseño**

El diseño del escudo de radiación solar, incluye los ajustes a cada uno de los elementos ya mencionados. Al soporte para bocina se le adaptó un tubo de PVC (siglas en inglés de *polyvinyl chloride*, policloruro de vinilo en español) con terminación roscada y se pintó de color blanco mate con la pintura en aerosol (Figura D2).



Fuente: Archivo personal.  
**Figura D2.** Adaptación de tubo con terminación roscada.

Los platos de melamina se perforaron para crear un círculo central en diferentes diámetros, dos platos con una perforación circular de 0.05 m de diámetro y cuatro platos con una perforación de 0.10 m de diámetro, el plato restante se

los platos, se cual se la opción entre estos de modo para tener, este  
 cinco más como sistema también de la industria solar directa (Figura 01)

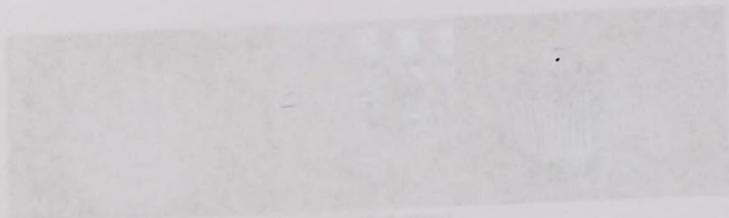


Figura 01 Sistema solar de torre central con helióstatos

Diseño

El diseño del sector de industria solar, incluye las placas solares y los  
 elementos de montaje. Al sistema solar puede ser el tipo de  
 PVC rígido en vidrio de polímero térmico, plástico de vidrio en vidrio, con  
 transacción rápida y se trata de otros platos más con la potencia de platos  
 (Figura 02)

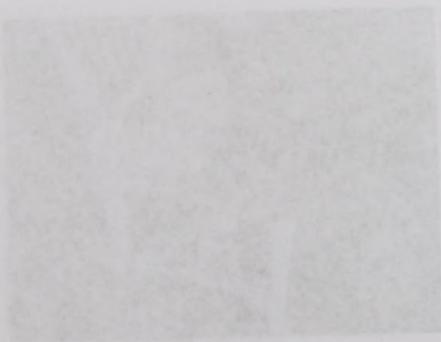


Figura 02 Sistema solar de torre central con helióstatos

Los platos de aluminio se prefieren para tener un costo menor en diseño,  
 y dimensionar los platos con una eficiencia menor de 0.55 m de diámetro y  
 cuatro platos con una eficiencia de 0.10 m de diámetro, el otro sistema se

utilizó para remate superior, se lijaron y se pintaron de color blanco mate, además se le hicieron tres perforaciones (uno de los platos tiene tres perforaciones adicionales, que sirven para sujetar el sensor con cinchos de plástico) para atravesar las varillas roscadas de 3/8" (Figura D3).



Fuente: Archivo personal.

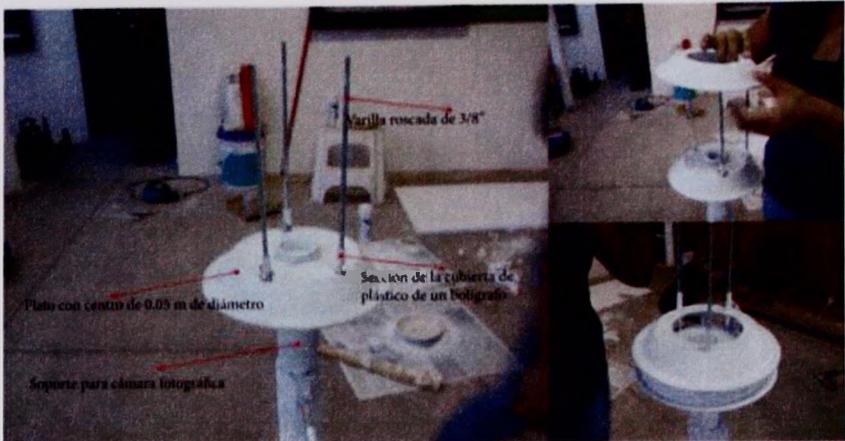
**Figura D3.** Perforación, lijado y aplicación de pintura a platos de melamina.

Las cubiertas de plástico de los bolígrafos se cortaron en secciones de aproximadamente 0.025 m de largo, estos tubos sirvieron de separación entre cada uno de los platos y dieron rigidez a las varillas roscadas de 3/8". Se utilizaron 15 secciones con la dimensión antes mencionada, equivalente a aproximadamente seis cubiertas exteriores de bolígrafos, para separar los platos que conforman el escudo de radiación solar.

### ***Ensamble***

Los pasos para ensamblar cada uno de los elementos descritos anteriormente son ocho y se mencionan a continuación: 1) Se coloca el soporte para bocina a la altura en la que se pretende colocar el sensor (la altura se puede modificar y ajustar incluso después de haber ensamblado todas las partes). 2) Se coloca uno de los platos con diámetro de 0.05 m y se asegura al tubo del soporte de cámara fotográfica con una rosca del mismo diámetro. 3) Se colocan tres varillas roscadas en cada una de las perforaciones de los platos y se aseguran con arandelas y plumillas. 4) Se colocan las secciones de plástico de 0.025 m de altura que sirven como separación y se coloca otro plato (Figura D4).





Fuente: Archivo personal.

**Figura D4.** Ensamble del escudo de radiación solar, pasos 1 al 4.

5) El tercer plato que se coloque deber ser uno con perforación central de 0.10 m de diámetro, que permita colocar el sensor con ayuda de los cinchos de plástico (Figura D5).



Fuente: Archivo personal.

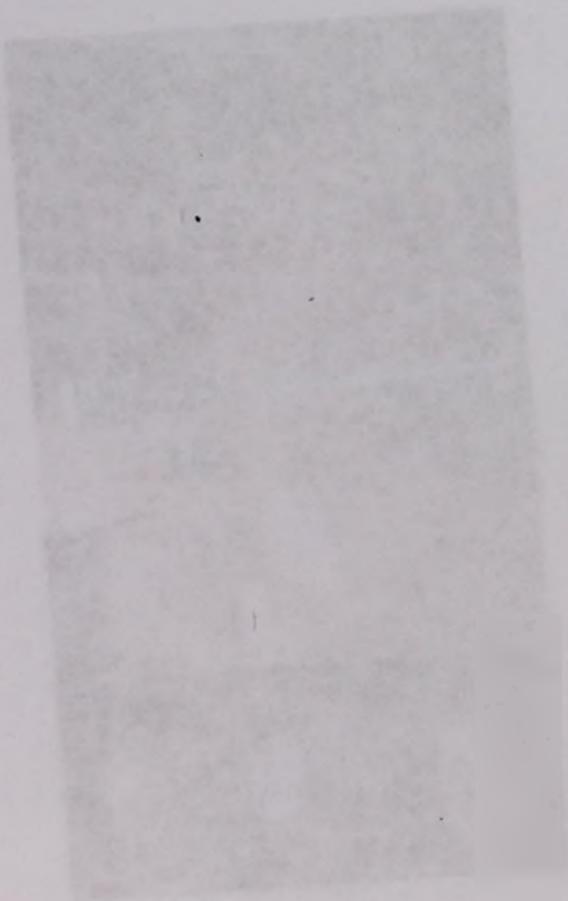
**Figura D5.** Ensamble del escudo de radiación solar, colocación de sensor (paso 5).

6) La colocación de los platos continúa de acuerdo con el paso 4, hasta colocar el plato seis. 7) Se coloca el círculo de poliestireno de 2" de espesor entre los últimos dos platos, este círculo servirá de separación por lo cual en este paso no se colocan secciones de plástico como separadores. 8) Se ajusta el último plato (sin perforación central) con las arandelas y plumillas (Figura D6).





Fuente: Archivo personal.  
**Figura D6.** Escudo de radiación solar.



RECEIVED  
MAY 19 1964  
U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE

