



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE PANELES DE CAÑA DE MAÍZ
EN UN SISTEMA DE CIELO FALSO PARA CONFORT TÉRMICO**

Carlos Alejandro Godoy Solórzano

Asesorado por el Ing. Edgar Virgilio Ayala Zapata

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE PANELES DE CAÑA DE MAÍZ
EN UN SISTEMA DE CIELO FALSO PARA CONFORT TÉRMICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ALEJANDRO GODOY SOLÓRZANO
ASESORADO POR EL ING. EDGAR VIRGILIO AYALA ZAPATA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Juan Ramón Ordóñez Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE PANELES DE CAÑA DE MAÍZ EN UN SISTEMA DE CIELO FALSO PARA CONFORT TÉRMICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 7 de octubre de 2014.



Carlos Alejandro Godoy Solórzano



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Guatemala, 1 de agosto de 2015

Ingeniero

José Gabriel Ordóñez Morales

Jefe de Área de Materiales de Construcción y Obras Civiles

Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Ordóñez:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación "EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE PANELES DE CAÑA DE MAÍZ EN UN SISTEMA DE CIELO FALSO PARA CONFORT TÉRMICO", desarrollado por el estudiante universitario Carlos Alejandro Godoy Solórzano, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Godoy Solórzano, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

EDGAR VIRGILIO AYALA ZAPATA
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 1524

Dr. Edgar Virgilio Ayala Zapata

Ingeniero Civil. Colegiado No. 1524.

Jefe Sección Tecnología de los Materiales

Asesor



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
09 de septiembre de 2015

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE PANELES DE CAÑA DE MAÍZ EN UN SISTEMA DE CIELO FALSO PARA CONFORT TÉRMICO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Carlos Alejandro Godoy Solórzano, quien contó con la asesoría del Ing. Edgar Virgilio Ayala Zapata.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





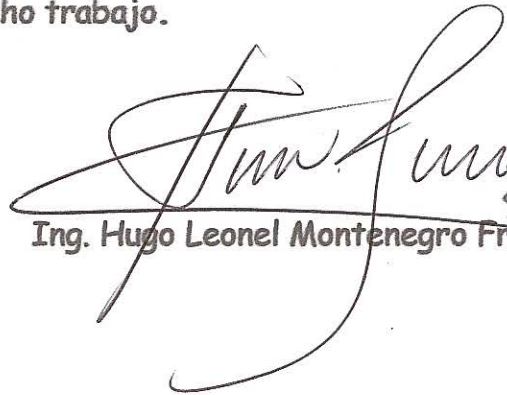
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Edgar Virgilio Ayala Zapata y del Coordinador del Área de Materiales de Construcción, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Carlos Alejandro Godoy Solórzano, titulado **EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE PANELES DE CAÑA DE MAÍZ EN UN SISTEMA DE CIELO FALSO PARA CONFORT TÉRMICO** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre 2015

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





DTG. 505.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE PANELES DE CAÑA DE MAIZ EN UN SISTEMA DE CIELO FALSO PARA CONFORT TÉRMICO**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Alejandro Godoy Solórzano**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, octubre de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser mi guía, apoyo e inspiración en cada una de las metas que me he trazado.
- Mis padres** Carlos Godoy y Marta de Godoy, por su amor, apoyo y confianza en cada paso decisión y momento de mi vida.
- Mi hermano** Edgar Godoy, por su apoyo, amistad y cariño que me dio como hermano.
- Mis abuelos** Héctor Sorín, Matilde Hernández y Ofelia Solórzano, por ser la fuente de cariño inagotable como segundos padres en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Porque sin su divina misericordia y su incondicional amor nada en mi vida sería posible.
Mis padres	Sin su apoyo y amor en cada faceta personal, educativa y profesional en mi vida, ningún éxito sería posible.
Mi hermano	Por ser el mejor amigo, compartiendo mis alegrías y tristezas y siempre contar con su apoyo.
Mi demás familia	Abuelos, tíos y primos por su apoyo incondicional.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Mi alma mater de estudios, por darme la oportunidad de estudiar una carrera profesional y obtener mi título de licenciatura.
Facultad de Ingeniería	Por brindar el conocimiento para desarrollarme como profesional.

Mi asesor

Dr. Virgilio Ayala, por brindarme su ayuda, paciencia y conocimiento en el desarrollo del trabajo de graduación, enseñándome que todo en la vida tiene respuesta y solución.

Ing. Javier Quiñonez

Por las enseñanzas, consejos y conocimientos para desarrollarme como un mejor profesional, como un ejemplo a seguir.

Ing. Magalí Herrera

Por enseñarme a ser mejor estudiante y ser una gran consejera durante el tiempo que laboramos juntos.

Ing. Mario Corzo

Por sus enseñanzas, consejos, que ayudaron a mejorar mi carácter que me ayudaron a enfrentar las adversidades en los aspectos académicos y laborales.

Arq. Daniel Borja

Por su apoyo y cariño, como un ejemplo de profesional, amigo y consejero; una guía en mi nuevo camino profesional laboral y personal.

Mis amigos

Axel Molina, Diego Izaguirre, Eddy Lucas, Erick Morales, Erick Orozco, Francisco Ramos, Fredy Marroquín, Gabriel Lucas, Gabriel Moreira, Génesis Cap, Gerardo de León, Iván Álvarez, Jennifer Sánchez, Jesús Moreno, Luis Baquiaux,

Leticia Aquino, Paola Sánchez, Sergio Báchez, Susan López, Thania Contreras, Wendy Juárez y Wendy Morales, por su apoyo en mi vida.

Mis compañeros de promoción

Abraham Orozco, Carlos Aroche, Carlos Grajeda, Edna Dardón, Giovanni Tahuite, Javier Hernández, José Valdéz, Josué Chic, Josué Galindo, Laura Taracena, Lucía Ramazzini, Luis Corcuera, Marcos Armas, Mario Cuté, Pablo Navas, Pedro Suntecún, Roger Calderón, por su apoyo, amistad y por compartir grandes momentos dentro de la facultad.

Mis compañeros de trabajo

Esmeralda Juárez, Jorge Chumil, Lucía Borja, Rudy Ceballos, por su apoyo y amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. La vivienda y la relación con el confort a lo largo de la historia	1
1.1.2. La vivienda en Guatemala	2
1.1.3. Estudios previos	7
1.2. Confort térmico	9
1.2.1. Confort térmico local.....	14
1.2.2. Disconfort térmico local	14
1.2.3. La definición de los parámetros y factores para evaluación del confort térmico	14
1.2.3.1. Temperatura	16
1.2.3.1.1. Temperatura del suelo..	17
1.2.3.2. Humedad	17
1.2.3.3. Viento	18
1.2.3.4. Vestimenta.....	19
1.2.4. Problemas en la vivienda originados por el calor....	20
1.2.5. Problemas de salud	22

	1.2.5.1.	Estrés térmico	22
	1.2.5.2.	Enfermedades resultado del estrés térmico.....	23
	1.2.5.2.1.	Salpullido.....	24
	1.2.5.2.2.	Calambres y agotamiento	24
	1.2.5.2.3.	Insolación	24
1.3.		Sistema de cielo falso	25
	1.3.1.	Cielo modular	27
	1.3.1.1.	Cielo modular registrable y no registrable.....	27
	1.3.2.	Cielo raso	27
	1.3.3.	Cielo suspendido.....	27
	1.3.4.	Cielo directo	27
	1.3.5.	Cielos falsos especiales	28
	1.3.6.	Partes del sistema de cielo falso convencional	28
	1.3.6.1.	Placas.....	29
	1.3.6.2.	Estructura de soporte	29
	1.3.7.	Propiedades y características de sistemas de cielo falso como aislantes térmicos	30
	1.3.7.1.	Conductividad térmica.....	30
	1.3.7.2.	Transmisión de calor	30
	1.3.7.3.	Resistencia térmica	31
	1.3.8.	Materiales de mayor uso en sistemas de cielos falsos	31
	1.3.8.1.	Fibra mineral	31
	1.3.8.2.	Fibra de vidrio.....	32
	1.3.8.3.	Madera	32
	1.3.8.4.	Yeso (escayola).....	32

	1.3.8.5.	Policarbonato.....	33
	1.3.9.	Consideraciones sobre la construcción de los sistemas de cielos falsos	33
	1.3.10.	Ventajas y desventajas	34
2.	MATERIALES A UTILIZAR EN PROPUESTAS DE NUEVO SISTEMA DE CIELO FALSO		35
2.1.	Materiales		35
	2.1.1.	El maíz, generalidades y su cultivo.....	35
	2.1.1.1.	Producción, importancia y variedad de maíz en Guatemala	37
		2.1.1.1.1.	Producción..... 37
		2.1.1.1.2.	Épocas de siembra..... 37
		2.1.1.1.3.	Cifras del producto 39
		2.1.1.1.4.	Importancia en Guatemala..... 40
	2.1.1.2.	Localización de cultivo de maíz según variedades en Guatemala	42
		2.1.1.2.1.	Trópico bajo..... 43
		2.1.1.2.2.	Zona cálida seca 44
		2.1.1.2.3.	Altiplano..... 44
		2.1.1.2.4.	Variedades ICTA 46
		2.1.1.2.5.	Malezas e insectos que afectan la planta de maíz..... 46
	2.1.1.3.	Residuos de maíz	48
	2.1.1.4.	Características generales de la caña de maíz	50
	2.1.2.	Lámina galvanizada de zinc.....	51

	2.1.2.1.	Elaboración y producción	52
3.	MARCO EXPERIMENTAL		55
3.1.	Características del ambiente		55
	3.1.1.	Exteriores	55
	3.1.2.	Área bajo estudio: oficina	56
3.2.	Materia prima		59
	3.2.1.	Residuo de maíz (caña)	59
3.3.	Preparación del material		60
	3.3.1.	Residuo de maíz (caña)	61
		3.3.1.1.	Corte en campo..... 61
		3.3.1.2.	Limpieza..... 63
3.4.	Experimentación previa al diseño de los paneles		64
	3.4.1.	Elaboración preliminar.....	65
	3.4.2.	Cajas de poliestireno expandido	66
3.5.	Método de construcción de los paneles de caña de maíz.....		68
	3.5.1.	Panel tipo “1C”	69
	3.5.2.	Panel tipo “2C”	70
	3.5.3.	Panel tipo “3C”	71
		3.5.3.1.	Método 1
		3.5.3.2.	Método 2
3.6.	Elaboración de los paneles de caña de maíz.....		73
	3.6.1.	Panel tipo “1C”	74
	3.6.2.	Panel tipo “2C”	74
	3.6.3.	Panel tipo “3C”	75
3.7.	Diseño y elaboración del sistema de cielo falso		75
3.8.	Parámetros, períodos de tiempo y sistema a utilizar para medición térmica.		78
	3.8.1.	Parámetros.....	79

3.8.2.	Sistema de medición y períodos de tiempo	79
3.9.	Medición de temperaturas superficiales de paneles del sistema de cielo falso y techo de lámina galvanizada de zinc	80
3.10.	Medición de temperatura del ambiente por medio de termómetro de mercurio convencional (bulbo seco) y caja de poliestireno expandido para comparación	82
3.11.	Resultados.....	83
3.11.1.	Fase 1.....	84
3.11.1.1.	Características paneles	84
3.11.1.2.	Evaluación de franjas de lámina	85
3.11.1.3.	Evaluación temperaturas ambientales dentro oficina	86
3.11.2.	Fase 2: Evaluación tipo de panel.....	87
3.11.3.	Fase 3.....	88
3.11.3.1.	Septiembre	89
3.11.3.2.	Octubre.....	93
3.11.3.3.	Noviembre	97
3.11.4.	Fase 4.....	102
3.11.4.1.	Febrero	106
3.11.4.2.	Marzo.....	108
3.11.4.3.	Abril	112
3.11.4.4.	Mayo.....	114
3.11.4.5.	Mayo – junio (última etapa de medición)	119
3.12.	Análisis de resultados.....	123
3.12.1.	Experimentación preliminar	124
3.12.2.	Sistema de cielo falso.....	126
3.12.3.	Comportamiento aislante del panel	136

3.12.4.	Horas críticas de medición	136
3.12.5.	Análisis térmico de los paneles	137
3.12.6.	Mapas de calor	137
3.12.6.1.	Mapa de calor del sistema de cubierta de techo	138
CONCLUSIONES		143
RECOMENDACIONES		145
BIBLIOGRAFÍA		147
APÉNDICES		151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Primeras viviendas del hombre	1
2.	Tipo de vivienda rural en Guatemala.....	3
3.	Viviendas cubiertas lámina de zinc	4
4.	Gráfico de techos de vivienda	6
5.	Casa de bajareque	7
6.	Sistema de aislamiento térmico, con cañas decorativas	8
7.	Condiciones ambientales que rodean a la persona	10
8.	Condiciones de temperatura que regulan los ambientes habitacionales	12
9.	Rango estándar de temperatura para confort térmico.....	15
10.	Factores del confort térmico.....	20
11.	Variables que afectan las condiciones térmicas debido al calor	21
12.	Síntomas del estrés térmico por golpe de calor	23
13.	Medidas ante efectos de problemas de salud por estrés térmico	25
14.	Sistema de cielo falso modular en pasillo	26
15.	Cielo falso tipo isla	28
16.	Estructura de soporte básico para cielos falsos	29
17.	Maíz recolectado por agricultores	36
18.	Agricultores en labores de siembra.....	38
19.	Maíz para distribución alimenticia	41
20.	Localización plantaciones de maíz en Guatemala	42
21.	Variedades de caña de maíz.....	45
22.	Insectos encontrados dentro de la caña de maíz	47

23.	Deterioro de la caña por vectores dañinos	48
24.	Residuos del cultivo de maíz	49
25.	Partes de la planta de maíz	50
26.	Exterior oficina área Ecomateriales y Tecnología de los Materiales	55
27.	Frente oficina Ecomateriales y Tecnología de los Materiales	56
28.	Dimensiones generales oficina Ecomateriales y Tecnología de los Materiales	57
29.	Alturas y dirección del sol en oficina	58
30.	Caña de maíz para los trabajos de investigación.....	59
31.	Manejo de la materia prima	61
32.	Recolección de material en campo	62
33.	Selección de material en campo	63
34.	Limpieza de la caña de maíz	64
35.	Elaboración preliminar de paneles de caña de maíz	65
36.	Poliestireno expandido para elaboración de cajas de medición de temperatura	66
37.	Armado de caja de poliestireno expandido	67
38.	Pegado de partes de caja con silicón líquido	68
39.	Pasos básicos para la fabricación de los paneles de 1 y 2 capas	71
40.	Armado de capa adicional en panel.....	73
41.	Colocación de panel con escalera	76
42.	Colocación de paneles ejecutado por 2 personas	77
43.	Colocación de paneles utilizando un andamio	77
44.	Colocación de trozos de metal en paneles para medición superficial por transferencia de calor	80
45.	Termómetro infrarrojo utilizado en mediciones	81
46.	Termómetros convencionales de mercurio	82
47.	Gráfica comparativa Temperatura promedio <i>versus</i> días de medición del sistema	86

48.	Gráfica comparativa de los tipos de paneles respecto a su número de capas y su temperatura superficial.....	88
49.	Sistema de ejes del sistema de cielo falso.....	89
50.	Representación gráfica de la colocación de los paneles en el sistema de cielo falso durante septiembre de 2014	90
51.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> ejes de medición del sistema de cielo falso durante septiembre del 2014	91
52.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> horas de medición del sistema de cielo falso durante septiembre de 2014	92
53.	Representación gráfica de la colocación de paneles en el sistema de cielo falso durante octubre de 2014	93
54.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> ejes medidos del sistema de cielo falso durante el 2014	95
55.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> hora de medición del sistema de cielo falso durante octubre de 2014	96
56.	Representación gráfica de la colocación de paneles en el sistema de cielo falso, noviembre de 2015.....	98
57.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> ejes medidos del sistema noviembre de 2015.....	100
58.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> horas de medición del sistema, noviembre de 2014	101
59.	Representación gráfica de la colocación de paneles en el sistema de cielo falso durante enero de 2015	103
60.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> ejes de medición del sistema de cielo falso durante enero de 2015	104
61.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> horas de medición durante el mes de enero de 2015	105
62.	Representación gráfica de la colocación de paneles en el sistema de cielo falso durante febrero de 2015.....	106

63.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> ejes medidos del sistema, febrero de 2015.....	107
64.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> hora de medición del sistema, febrero de 2015	108
65.	Representación gráfica de la colocación de paneles en el sistema de cielo falso, marzo de 2015	109
66.	Temperatura promedio <i>versus</i> ejes medidos del sistema durante marzo de 2015.....	110
67.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> hora de medición del sistema, marzo de 2015.....	111
68.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> ejes evaluados del sistema, abril de 2015	113
69.	Temperatura promedio <i>versus</i> hora de medición del sistema, abril de 2015.....	114
70.	Gráfica temperatura promedio <i>versus</i> ejes evaluados del sistema, mayo de 2015	115
71.	Representación gráfica de la colocación de paneles correspondiente a mayo de 2015.....	116
72.	Gráfica de temperatura promedio <i>versus</i> ejes evaluados de mayo de 2015.....	117
73.	Gráfica de temperatura promedio <i>versus</i> hora de medición de mayo de 2015	118
74.	Representación gráfica de la colocación de paneles en el sistema de cielo falso, para el periodo entre 21 de mayo y 11 de junio de 2015.....	119
75.	Gráfica de temperatura promedio <i>versus</i> ejes de cubierta de lámina medidos junio 2015.....	120
76.	Gráfica de temperatura promedio <i>versus</i> hora medición junio de 2015.....	121

77.	Comportamiento del sistema durante el tiempo de investigación desde agosto de 2014 a junio de 2015	123
78.	Comportamiento general del sistema en agosto de 2014	126
79.	Comportamiento general del sistema en septiembre de 2014	127
80.	Comportamiento general del sistema en octubre de 2014	128
81.	Comportamiento general del sistema en noviembre de 2014	129
82.	Comportamiento general del sistema en enero de 2015.....	130
83.	Comportamiento general del sistema en febrero de 2015.....	131
84.	Comportamiento general del sistema en marzo de 2015	132
85.	Comportamiento general del sistema en abril de 2015	133
86.	Comportamiento general del sistema en mayo de 2015	134
87.	Comportamiento general del sistema en junio de 2015	135
88.	Mapa de calor de temperaturas promedio máximas	139
89.	Mapa de temperatura de la oficina	140

TABLAS

I.	Características de vivienda en Guatemala, ENCONVI 2011.....	5
II.	Producción de maíz de 2007 a 2014.....	39
III.	Características básicas de las láminas galvanizadas acanaladas de zinc.....	52
IV.	Actividad realizada durante los meses de investigación y avance de la colocación del sistema de cielo falso por fases.....	78
V.	Dimensiones y peso de los tipos de paneles sometidos a evaluación térmica	84
VI.	Datos promedio de temperatura comprendidos en el periodo del 7 al 14 de agosto 2014, respecto de las franjas y alturas de la cubierta de lámina galvanizada acanalada de zinc.....	85

VII.	Comparación de mediciones efectuadas con termómetros convencionales de mercurio, y caja de poliestireno expandido	86
VIII.	Datos de temperatura promedio superficial de los tipos de paneles experimentados	87
IX.	Datos de temperaturas promedio respecto a los ejes medidos del sistema de cielo falso durante septiembre de del 2014	90
X.	Datos de temperaturas promedio respecto de la hora de medición, registradas del sistema de cielo falso durante septiembre de 2014.....	92
XI.	Datos promedio de temperatura del sistema respecto a los ejes medidos durante octubre 2014	94
XII.	Datos de temperatura promedio respecto de las horas de medición del sistema de cielo falso durante octubre de 2014.....	95
XIII.	Resultados de las propiedades térmicas de los paneles del sistema de cielo falso octubre	96
XIV.	Datos de temperaturas promedio respecto a los ejes medidos del sistema durante noviembre de 2014.....	99
XV.	Datos de temperatura promedio respecto a las horas de medición durante noviembre de 2014	100
XVI.	Resultados de las propiedades térmicas del sistema, noviembre de 2015.....	101
XVII.	Datos de temperatura promedio respecto a los ejes medidos del sistema durante enero de 2015	103
XVIII.	Datos de temperaturas promedio respecto a las horas de medición del sistema durante enero de 2015	105
XIX.	Datos de temperatura promedio del sistema respecto de los ejes medidos durante febrero de 2015.....	107
XX.	Datos de temperatura promedio respecto de la hora de medición del sistema durante febrero de 2015	108

XXI.	Datos de temperaturas promedio respecto de los ejes medidos del sistema durante marzo de 2015	109
XXII.	Datos de temperaturas promedio respecto a la hora de medición, marzo de 2015	111
XXIII.	Datos de temperatura promedio del sistema durante abril de 2015 respecto de los ejes medidos.....	112
XXIV.	Datos de temperatura promedio del sistema respecto de la hora de medición durante abril de 2015	113
XXV.	Datos de medición promedio de temperaturas correspondientes a los ejes del sistema medidos durante mayo de 2015	114
XXVI.	Datos de medición de temperatura promedio respecto a los ejes del sistema durante mayo de 2015	116
XXVII.	Datos de temperatura promedio respecto horas de medición durante mayo de 2015	118
XXVIII.	Valores promedio de medición final del sistema correspondiente al periodo entre el 21 de mayo al 11 de junio de 2015	120
XXIX.	Valores de temperatura promedio respecto a la hora de medición durante el periodo del 21 de mayo al 11 de junio.....	121
XXX.	Resultados del comportamiento del sistema durante el periodo de evaluación de agosto de 2014 a junio de 2015	122
XXXI.	Libreta de temperaturas promedio máximas de marzo de 2015	138
XXXII.	Libreta temperaturas promedio dentro de oficina	140

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
°C	Celsius (grados centígrados), unidad de temperatura
Cm²	Centímetro cuadrado, unidad de área
λ	Conductividad térmica
r	Correlación
σ	Desviación estándar
ΔT	Diferencial de temperatura
CO₂	Dióxido de carbono
e	Espesor
Hr.	Hora, unidad de tiempo
K	Kelvin, unidad de temperatura
Kcal	Kilocaloría, unidad de energía térmica
Kg	Kilogramo, unidad de peso
Lb	Libra, unidad de peso
\bar{x}	Media aritmética
m²	Metro cuadrado, unidad de área
m	Metro, unidad de longitud
Núm.	Número
p.m.	Pasado medio día
ft.	Pies, unidad de longitud
%h	Porcentaje de humedad
N	Punto cardinal que indica dirección del Polo Norte
S	Punto cardinal que indica dirección del Polo Sur

Q.	Quetzal, unidad de moneda
R	Resistencia térmica
s	Segundo, unidad de tiempo
Ta.	Temperatura ambiente
To.	Temperatura óptima
Tr.	Temperatura relativa
Clo	Unidad de valor de vestimenta
W	Watt, unidad de energía

GLOSARIO

Aislante térmico	Material utilizado en la construcción por su alta resistencia térmica, al proveer una barrera para el paso de calor.
Anclaje mecánico	Fijaciones que soportan el sistema donde se trasladan los esfuerzos mecánicos.
Calor	Energía que se manifiesta por un aumento en la temperatura, la cual procede de la transformación de otras energías.
Cielo modular	Sistema suspendido o directo, que se coloca de forma colgante, por medio de unos anclajes y fijaciones a una estructura resistente ya existente, donde sus módulos son de tamaños variados, que dependen del detalle de los mismos.
Cielo registrable	Es aquel cuyos módulos se apoyan sobre la estructura resistente ya existente, que pueden desinstalarse libremente.
Cielo no registrable	Cielo modular cuyos módulos se fijan al sistema de existente.

CII	Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
<i>Clothing</i>	Medida utilizada para determinar lo aislante que puede ser la vestimenta de las personas.
Coguanor	Comisión Guatemalteca de Normas.
Conductancia térmica	Medida de transferencia de calor a través de los materiales.
Conductividad térmica	Propiedad física de los materiales, que mide la capacidad que tienen para conducir el calor.
Conectores	Elemento utilizado para unir dos o más componentes de un sistema.
Confort térmico	Sensación neutra respecto de un ambiente térmico determinado.
CYTED	Programa iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo.
Disconfort térmico	Estado opuesto al confort térmico; resulta de la incomodidad de las personas en un ambiente determinado, a causa de las características térmicas.

Estrés térmico	Es la sensación de malestar que se experimenta cuando la permanencia en un ambiente determinado exige esfuerzos desmesurados a los mecanismos de que dispone el organismo, para mantener la temperatura interna en 37 grados centígrados.
Fijaciones	Elementos que permiten fijar el sistema de entramado a una estructura existente.
Flujo de calor	Cantidad de calor que pasa a través de una superficie unitaria de un elemento por unidad de tiempo, dada una cierta diferencia de temperatura.
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola.
ISO	Organización Internacional de Normalización (<i>International Organization for Standardization</i>)
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
Módulo	Elemento que forma parte de un conjunto o sistema.
NCh	Normas Chilenas del área de construcción.
Panel	Plancha prefabricada utilizada en construcción para dividir o separar espacios, o unir y conformar un sistema.
PIB	Producto Interno Bruto.

Resistencia térmica	Oposición al paso de calor en un material.
Sistema de suspensión	Sistema mediante el cual se suspende el cielo falso desde la estructura resistente, compuesto por colgadores de acero, madera u otro material.
Tecnosistema	Ambiente caracterizado por ser de tipo artificial constituido por un conjunto de elementos tecnológicos.
Zinc	Metal de color blanco azulado, utilizado como capa protectora en elementos fabricados con acero.

RESUMEN

En este trabajo se elaboraron y evaluaron paneles con el residuo de la planta de maíz, es decir la caña (tallo), como parte de un sistema constructivo tipo cielo falso para dar *confort* térmico a un ambiente.

Con base en la documentación sobre diseño y parámetros habitacionales sobre los sistemas que contienen aislantes térmicos y construcciones de sistemas de cielos falsos, se encaminó la investigación para dar una opción de este tipo de sistema, con una tecnología basada en material comúnmente llamado desecho, que es la caña de maíz.

La parte experimental se realizó en el área de Ecomateriales y Tecnología de los Materiales, del Centro de Investigaciones de Ingeniería, área de Prefabricados de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Se realizaron evaluaciones y caracterizaciones físicas preliminares tanto en la materia prima, como en la elaboración de los paneles antes de llegar al modelo definitivo de módulos; se construyó el sistema de cielo falso tipo modular colgante en un ambiente de oficina, donde se evaluaron sus capacidades aislantes y térmicas, en el periodo comprendido desde el 7 agosto del 2014 hasta el 10 junio del 2015.

Esta evaluación incluyó la medición superficial de temperatura tanto del sistema de cielo falso como de la cubierta de lámina y medición de la temperatura ambiente de la oficina.

OBJETIVOS

General

Evaluar de forma experimental los paneles de caña de maíz para un sistema de cielo falso para dar confort térmico dentro de un ambiente con techo de lámina galvanizada acanalada de zinc, tomando como base una oficina.

Específicos

1. Estudiar las condiciones de confort térmico dentro de un ambiente con techo de lámina galvanizada acanalada de zinc.
2. Diseñar y experimentar el proceso de elaboración de los paneles de caña de maíz.
3. Construir y evaluar los paneles para su experimentación como aislante térmico.
4. Analizar las ventajas y desventajas respecto de otros sistemas convencionales de cielos falsos.
5. Resumir las características generales de la caña de maíz como materia prima en la construcción de los paneles del sistema de cielo falso.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de Guatemala en el ambiente constructivo, ha llevado a buscar nuevas tecnologías que ayuden a mejorar condiciones de habitabilidad de las personas. Un problema de la infraestructura nacional es la falta de tecnología en el desarrollo de un nuevo sistema para aislante térmico, en un ambiente con techos de lámina galvanizada acanalada de zinc.

Debido la actividad agrícola en Guatemala, donde el cultivo de maíz es el más importante, se recolectan grandes cantidades de residuos de dicha planta, entre los que se pueden mencionar los tallos, hojas, olotes y granos secos, que son en gran parte quemados o utilizados como alimento para ganado; en el área constructiva, es donde se ha podido dar uso alternativo a dicho material.

En la actualidad, son muy pocos los estudios que buscan el uso de los residuos del maíz; en el área de Ecomateriales de la Universidad de San Carlos de Guatemala se han realizados estudios con este material, como núcleos para sistemas tipo emparedado que constituirán la base de una estructura de ferrocemento, como también un sistema de cerramiento tipo muro para construcción de viviendas a bajo costo.

Al enlazar la búsqueda del uso de los desechos de la planta del maíz, con la necesidad de un sistema capaz de entregar confort térmico en ambientes habitacionales, se presenta una tecnología de un sistema de cielo falso con cañas de maíz, de bajo costo, utilizado en lugares donde las cubiertas de láminas galvanizadas de zinc predominan, que son de fácil acceso a las

personas, y que no requieren de mano de obra calificada que pueda proveer el confort térmico que requieren las personas.

Se construyó el sistema propuesto, siguiendo los lineamientos de la normativas chilenas NCh de construcción de cielos falsos, y con parámetros de las condiciones térmicas en locales cerrados y ambientes habitacionales de acuerdo con la ISO 7730, y el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, con sede en España.

En el presente trabajo se presenta el camino para buscar el resultado satisfactorio del sistema, logrando un sistema constructivo con bajo impacto ambiental, de bajo costo y con buenas capacidades aislantes.

La justificación del trabajo se basa en la búsqueda de un nuevo sistema constructivo, donde materiales que son desechados provenientes de la naturaleza, puedan dar una respuesta a problemas de desarrollo constructivo, aportando un valor significativo en la conservación ecológica del país, y en el tema de la infraestructura nacional.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

La vivienda como tal, es un lugar donde los habitantes puedan sentirse seguros, cómodos, en armonía con el entorno que ellos mismos puedan crear o modificar a lo largo del tiempo; ha tenido una constante evolución la forma de cómo mejorar un ambiente habitacional para cada grupo de personas.

1.1.1. La vivienda y la relación con el confort a lo largo de la historia

Los métodos han tenido variación cuando se habla de esta evolución, buscando ese equilibrio entre el ambiente y la persona, que es donde interviene en gran medida el confort de los individuos. Al principio de la civilización la preocupación del individuo era por su alimento y protección durante el día, y no tanto por ver condiciones como temperatura, humedad, viento, entre otras.

Figura 1. **Primeras viviendas del hombre**



Fuente: FERRARIO, Giulio. *Los Charrúas, descripción Félix de Azara*. p. 36.

Al momento que se inicia una evolución real en la vivienda, el bienestar de las personas y su comodidad con el medio se basaba en tener apariencia vistosa, prevaleciendo un estado de banalidad, con viviendas de tipo colectivo, dejando a un lado la intimidad y la comodidad de las percepciones íntimas y personales.

Con el paso del tiempo estas condiciones fueron cambiando; apareció la conciencia individual y con ello una idea distinta del ambiente, en donde se empieza a buscar lo íntimo, el desarrollo de lo individual, lo privado y la comodidad en un ambiente único o familiar.

Los cambios en la forma de establecer y generar la construcción llevaron a una condición de creación de ambientes térmicos. Estos aislamientos se ven reflejados en cámaras de barreras de vapor, muros estructurales y tabiques con acabados prácticos, llevando las sensaciones arquitectónicas e ingenieriles a nuevos niveles.

En la actualidad existe la problemática de la aplicación de estándares internacionales, cambios tecnológicos y criterios habitacionales, que distan de tener una relación acorde con el entorno de ciertos niveles sociales, obligando a los sectores constructivos a buscar soluciones, para crear sistemas térmicos adecuados al ambiente que rige cierta región, y al alcance de las personas.

1.1.2. La vivienda en Guatemala

La vivienda en el entorno nacional también ha sufrido cambios a lo largo de la historia, teniendo en cuenta la diversidad de factores que condicionan la construcción en el país, como capacidad monetaria, accesibilidad a materiales, mano de obra, estilos arquitectónicos novedosos, entre otros.

Las condiciones de clima, fauna, topografía y tradición, tienden a dar un camino distinto entre una sola localidad. Al inicio se tienen datos de viviendas antiguas hechas con paja y madera.

Las condiciones en algunos sitios, por ejemplo en la costa, debido a los grados de calor y humedad, utilizarían hojas de palma para unos ambientes tipo rancho. Aunque para muchos sitios lo principal era el tener un lugar de refugio antes las adversidades, llegando al mismo punto de dejar a un lado las condiciones de comodidad.

Con el paso del tiempo, se tienen las modificaciones, por ejemplo, al momento de la conquista, en 1524, cuando en las primeras colonias como la ciudad de Santiago de los Caballeros, se hicieron viviendas urbanísticas con adobe y paja.

Figura 2. **Tipo de vivienda rural en Guatemala**



Fuente: *Vivienda rústica en Aguacatán, Huehuetenango.*

<<http://www.guate360.com/galeria/img-vivienda-rastica-en-aguacatan-huehuetenango--4477.htm>>. Consulta: octubre de 2014.

En este momento se empieza a dar un giro también al sistema de vivienda ostentoso, en algunos casos dejando por lado las partes cómodas, pero con un sistema estructural que opera de gran forma, y que predomina inclusive en nuestros días.

En la actualidad las viviendas tienen nuevos aspectos: fundiciones de concreto, mampostería reforzada, losas prefabricadas, aire acondicionado, sistemas internos de agua potable y drenajes, electricidad, y otros que hacen comfortable cada ambiente.

Es importante mencionar que no es general esta representación de vivienda en el país; sectores de la población carecen de estos medios debido a la pobreza; los índices de habitabilidad en el país reflejan una necesidad de los sectores más afectados económicamente para construir lugares habitables, en general con láminas, cartón y madera, que den una condición de vivienda. Existen viviendas que poseen techos de lámina galvanizada acanalada de zinc, debido a sus bajos costos y a la facilidad de manejo del material.

Figura 3. **Viviendas cubiertas lámina de zinc**



Fuente: LARA, Juan. *Dieta de hambre en un laberinto de ranchos de zinc y heces de perro*. <<http://www.nacion.com/mundo/Dieta-hambre-ranchos-heces.html>>. Consulta: julio de 2015.

Debido a poca información actualizada respecto de los censos poblacionales, el INE propone en un estudio realizado en 2011, la contabilización de 2 983 543 hogares en Guatemala, de los cuales se determinaron las características de su vivienda dependiendo del nivel socioeconómico; existe un gran número de viviendas con techumbre de lámina, según se muestra en la tabla I.

Tabla I. **Características de vivienda en Guatemala, ENCONVI 2011**

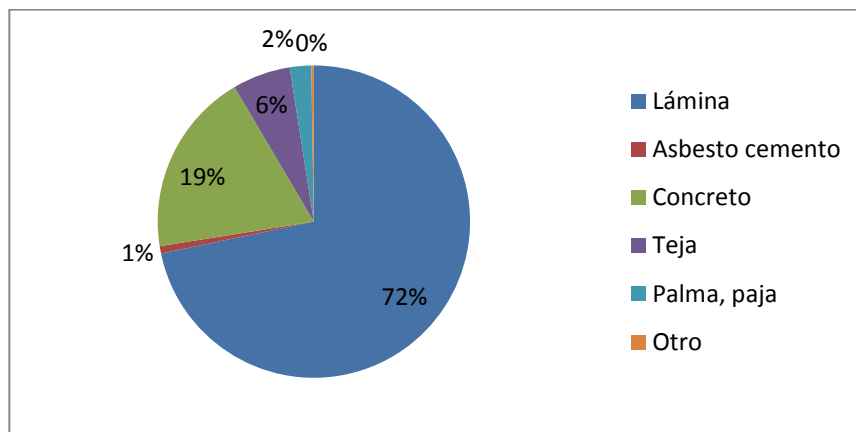
Característica	Relación pobre	Relación no pobre	Total de casas
Total casas estudiadas	1 689 356	1 294 187	2 983 543
Techos lámina	1 078 678	1 057 678	2 136 356
Techos asbesto cemento	3 095	19 745	22 840
Concreto	70 250	496 800	567 050
Teja	105 133	73 793	178 926
Palma, paja o similares	53 406	12 458	65 864
Otro	4 625	12 507	7 882

Fuente: elaboración propia, con datos de ENCOVI, INE, 2011.

Se observa en la figura 4, que el 72 % de las viviendas del país poseen techos de lámina, y el siguiente en rango (19 %) corresponde a los techos de losa de concreto. El estudio muestra en el plano socioeconómico, que gran parte de viviendas de los guatemaltecos están formadas por techos de láminas, donde predomina la estadística en personas de “relación pobre” (1 078 678 viviendas).

Estos datos representan la actualidad de las condiciones de vivienda en Guatemala, donde una gran parte de la población acude al uso de un material económico y de fácil instalación para cubrir sus necesidades de vivienda.

Figura 4. **Gráfico de techos de vivienda**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Esto ha producido un cambio brusco y una diferencia abismal en el territorio nacional; por un lado las personas con capacidades para mejorar una vivienda con los materiales recomendados para la construcción, mientras que otros se ven en la necesidad de recortar gastos y buscar los más acordes a su realidad. Esto implica que la comodidad ya sea parte importante en este estudio, donde las tecnologías constructivas no están al alcance de muchos, solo de algunos sectores específicos marginados.

Se requieren que los avances en las tecnologías basadas en la construcción, beneficien a todos los niveles sociales de Guatemala, proponiendo alternativas para distintos sistemas, y que además sean factibles de realizar por las mismas personas.

1.1.3. Estudios previos

Se puede detallar que a lo largo de historia de la humanidad, se ha buscado encontrar el equilibrio entre el entorno y el ser humano, dando a este una sensación de comodidad. Entre los estudios actuales, se encuentra el realizado por los profesores Francisco Vecchia y Gabriel Castañeda Nolasco en el 2003, en el cual evaluaron el del comportamiento térmico de casa experimental con bajareque mejorado.

Como parte del proyecto 10 x 10 con techo y posteriormente Casa-partes, los dos dependientes del subprograma XIV - Habyted, del CYTED (programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) se trabajó en la evaluación térmica de diferentes materiales aplicables a la vivienda social en Iberoamérica. En el estudio, se exponen resultados de dicho trabajo aplicado a la técnica del bajareque, en un prototipo experimental construido en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, México.

Figura 5. Casa de bajareque



Fuente: VECCHIA, Francisco; NOLASCO, Gabriel. *Evaluación del comportamiento térmico de casa experimental con bajareque mejorado*. p.15.

En el 2003, de igual manera, el profesor Francisco Vecchia realizó el estudio de clima y confort humano, con criterios para caracterización del régimen climático. En el estudio se intenta describir los procedimientos básicos necesarios para la definición del régimen térmico a través de episodios representativos del hecho climático, que busca describir las condiciones de la circulación atmosférica en relación con los datos meteorológicos y de mediciones de desempeño térmico de edificaciones. Su principal objetivo era proporcionar subsidios para la evaluación del desempeño térmico de espacios interiores, aunque se analizó uno corto periodo de tiempo cronológico, con precisión y representatividad, necesario para el estudio de ocurrencia de stress térmico.

Figura 6. **Sistema de aislamiento térmico, con cañas decorativas**



Fuente: VECCHIA, Francisco; NOLASCO, Gabriel. *Evaluación del comportamiento térmico de casa experimental con bajareque mejorado*. p.15.

El profesor Francisco Vecchia (2005) realizó en Cuba otro estudio, en el cual intenta evidenciar el patrón de comportamiento climático del sitio a través de los principios de la climatología dinámica y trata de evidenciar las reacciones térmicas de las viviendas del CYTED, subprograma XIV.5 con techo, P10 x 10, que se hicieran en San Antonio de los Baños, Cuba.

El experimento se hizo por medio de mediciones automáticas de datos meteorológicos y ambientales (temperaturas superficiales y de bulbo seco, interiores) correlacionando las condiciones del clima exterior y las repercusiones interiores a las viviendas monitoreadas.

Gabriel Castañeda Nolasco, junto a Pavel Ruiz Torres y José Luis Jiménez Albores realizaron en el 2012 un trabajo de investigación en el cual presentaron los resultados sobre el comportamiento y confort térmico en la vivienda de la ciudad rural sustentable de Nuevo Juan de Grijalva, Chiapas, México.

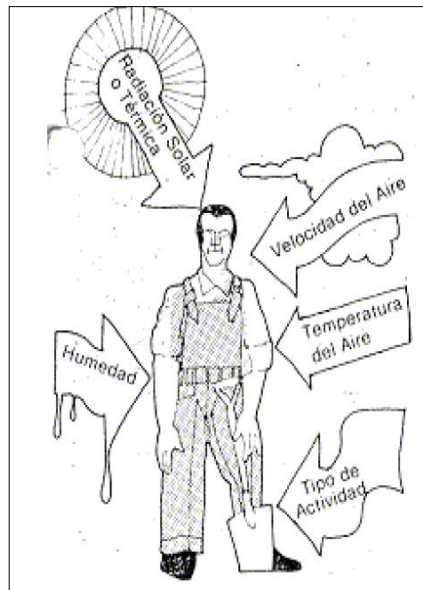
Para el comportamiento térmico se midieron las variables de temperatura de bulbo seco (TBS) y temperatura superficial interior (TSI).

1.2. Confort térmico

Los ambientes de la vivienda, en un vínculo estrecho con las personas que lo habitan deben tener ese gran significado de no solo de protección, sino que también deben ser un fuerte lazo de comodidad para que las personas puedan estar más a gusto, realizando todas sus actividades de una manera adecuada.

El confort se puede denotar como ese estado de bienestar, que engloba los aspectos mental, físico, y social. Estos aspectos tienen variación, debido a cuestiones como la edad de las personas, el sexo, estado físico, la cultura, el ambiente social, estilos de vida, costumbres, trabajos, vestimenta, el clima, entre otros.

Figura 7. **Condiciones ambientales que rodean a la persona**



Fuente: CARELLA, Alfredo. *Conservación de la energía en viviendas y edificios*. 2005. p. 5.

El confort térmico es el punto donde las personas en un ambiente están a gusto, con una sensación balanceada, en estado neutro y cómodo. Según la Norma ISO 7730, el confort térmico “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”.

En este tipo de ambiente también se puede aludir que el estado neutro puede basarse por condiciones de humedad, temperatura, viento, haciendo

confortable habitar el lugar; en este punto se puede decir que las personas están en un lugar templado, donde no hay una sensación de frío ni de calor, sino un sistema balanceado.

Según Marta Vigo (2011), en su estudio urbano ambiental, de la Universidad de Catamarca, el cuerpo humano puede adaptarse al medio ambiente, llegando siempre hasta un límite determinado; luego de sobrepasar en ocasiones este límite, puede algunas veces usar algún método para alcanzar un acondicionamiento convencional.

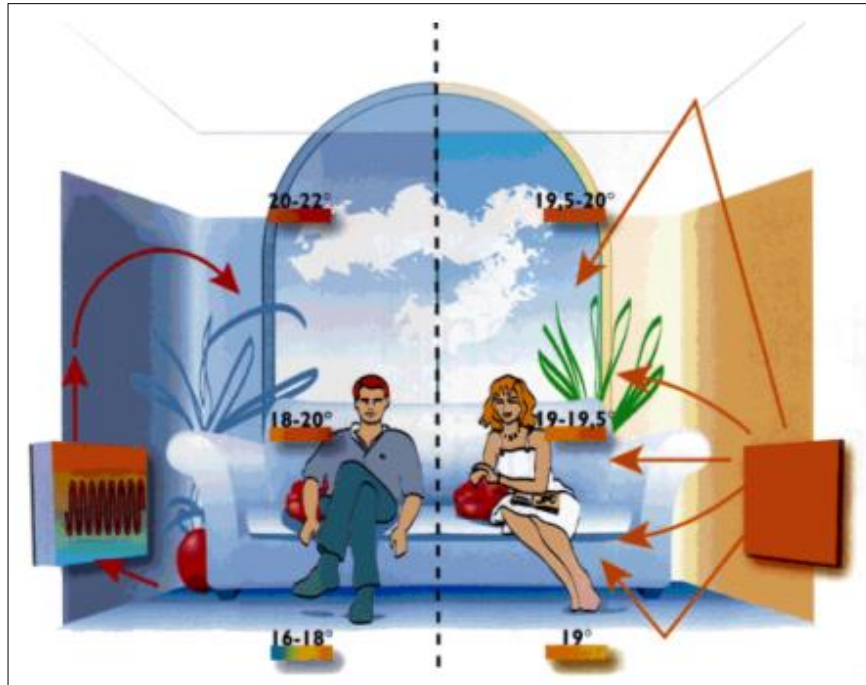
Estos métodos pueden no ser en ocasiones los más adecuados para ciertos niveles sociales, debido a que pueden ocasionar gastos de muchos insumos como dinero, energía, y en ocasiones, tiempo, para tratar de conseguir un estado de confort, que no se obtiene completamente o es en muchas ocasiones inversamente proporcional a la inversión realizada.

También refiere que el sistema cultural ha modificado en gran parte el ecosistema natural, debido que los ambientes, en general urbanos, por su afán de conseguir un confort, llegan a ser un tecnosistema.

Para que se evalúe el confort térmico en un cierto ambiente, se debe interactuar con diversas sensaciones, que llevan todo a un plano subjetivo.

Deben de tenerse en consideración diversos parámetros, de los cuales se desprenden variables que de diversas formas influyen en todo intercambio térmico entre las personas y el ambiente que los rodea, haciendo cambiar las sensaciones de comodidad.

Figura 8. **Condiciones de temperatura que regulan los ambientes habitacionales**



Fuente: Duo-Therno. *Sistemas de acondicionamiento*.2012. p. 8.

Para lograr que el cuerpo entre en armonía con el entorno, y se logre una sensación de comodidad existe un balance entre las ganancias y pérdidas de calor, el cual debería ser nulo. De esta forma, se obtiene en el ambiente una temperatura que se denomina “normal”, pero puede denotarse como temperatura equilibrada.

En algunos estudios, que abarcan rango del punto de vista bioclimático, se han estudiado límites para los cuales, muchas clases de personas pueden sentirse en una zona confortable, donde se combinan las diversas variables del ambiente. Muchos de estos, se determinan por medio de tablas o cuadros de

áreas de confort, aunque para muchas regiones estos parámetros pueden variar, dependiendo la clase de clima que se tenga. A partir del estudio de las variables, se pueden determinar qué condiciones son favorables para alcanzar el confort.

En la realidad, las sensaciones y el conocimiento del confort térmico, por su naturaleza, suelen pasar desapercibidos. Esto debido a que las personas si están en un estado cómodo, no tienen la necesidad de cambiar o buscar alternativas para mejorar donde están a gusto. Es más fácil para las personas notar el estado contrario a la comodidad, como el disconfort térmico. Este estado está relacionado con toda incidencia negativa que altere al cuerpo, tanto en su entorno como el que pueda provocar la persona.

En este caso, las personas al sentir un estado incómodo de manera ocasional y hasta un punto moderado, pueden producir sensaciones negativas en el instante; pero si esta sensación perdura, pasando a un plano constante, lleva a la persona a un nivel de estrés elevado, alterando cada actividad diaria, inclusive, dañar su estado de descanso.

Estos cambios fuertes y las constantes alteraciones en los ciclos cotidianos en la persona reducen la concentración en su actividad regular, y pueden llegar a producir serios trastornos en la salud si no se controlan.

El desarrollo individual y social está fuertemente vinculado con el nivel de confort que brinda el hábitat donde se vive. Este hábitat es un lugar que da las condiciones apropiadas para que las personas vivan en armonía, llevando esto a una extensión a su comunidad, trasladando una idea teórica a un plano físico, psicológico y social.

1.2.1. Confort térmico local

Al evaluar un lugar de trabajo, se habla a menudo sobre la temperatura de confort, que se define como la temperatura equivalente donde una persona se siente confortable térmicamente.

Si en un cuarto se encuentran muchas personas, llevando tipos diferentes de vestido y realizando tipos diferentes de actividades, puede ser difícil crear un ambiente que mantenga el confort térmico para todos los ocupantes.

1.2.2. Disconfort térmico local

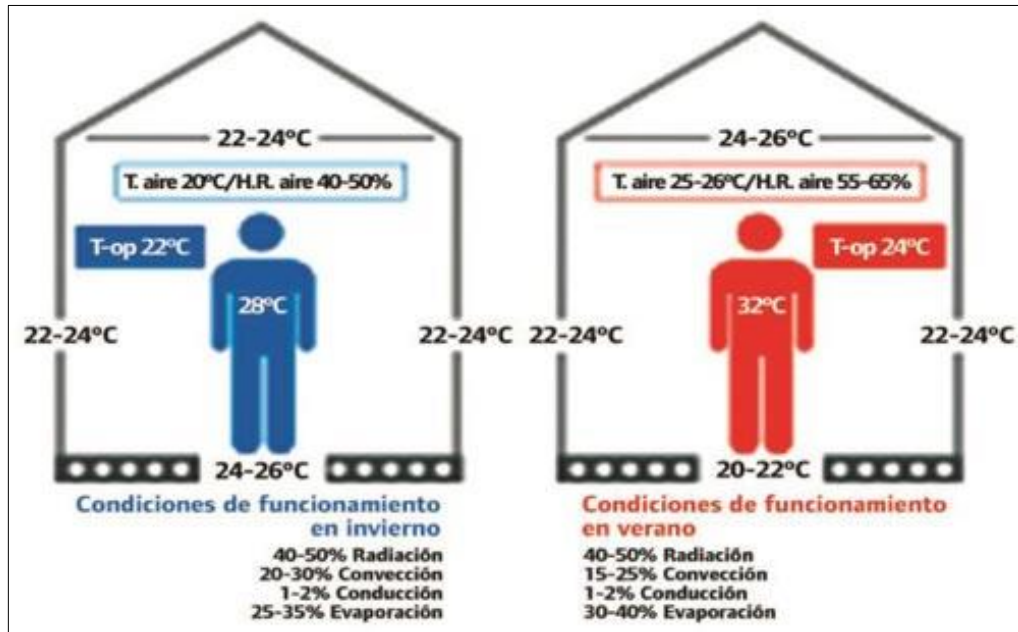
Aunque una persona tenga una sensación de neutralidad térmica, puede que algunas partes del cuerpo estén expuestas a condiciones que producen el disconfort térmico. Esta incomodidad térmica local no puede evitarse levantando o bajando la temperatura del recinto. Es necesario eliminar la causa del sobrecalentamiento o enfriamiento local.

1.2.3. La definición de los parámetros y factores para evaluación del confort térmico

Estos parámetros que analizan el confort térmico, varían dependiendo del carácter de la investigación realizada.

Estas condiciones son de carácter ambiental, arquitectónico, personal y sociocultural, que pueden afectar o dañar a la sensación de confort de un individuo.

Figura 9. Rango estándar de temperatura para confort térmico



Fuente: GUILLÉN LARA, Belén. *Servicio de higiene industrial y salud laboral*. p. 2.

Existen parámetros que son de carácter cuantificable, tales como, temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del aire, temperatura radiante, radiación solar y niveles de ruido. También existen los parámetros arquitectónicos, que se relacionan con las características estéticas y de espacio de edificaciones, que contienen condiciones visuales y auditivas que requieran sus ocupantes.

Los factores son aquellas condiciones propias de los usuarios que determinan su respuesta al ambiente. Son independientes de las condiciones exteriores y se relacionan con las características biológicas, fisiológicas, sociológicas o psicológicas de los individuos.

Los factores personales tales como, ropa (grado de aislamiento), tiempo de permanencia (aclimatación), salud y color de la piel, historial lumínico, visual y acústico, sexo, edad, peso (constitución corporal), son los más utilizados para el análisis del confort, ya que es más fácil su medición.

Los factores socioculturales por ser factores más subjetivos presentan mayor complejidad para su análisis; además solo permiten una evaluación cualitativa.

El confort térmico es considerado un componente sociocultural muy importante, donde los estudios basados en parámetros físicos como la humedad, el calor, el viento, entre otros, son acompañados por índices personales de personas que conviven en los lugares de estudios, siempre dependiendo del entorno de la investigación.

Fanger (2001) distingue parámetros y factores que afectan el entorno del confort térmico, donde la influencia radica en la pérdida y ganancia de calor que afectan el bienestar térmico. Entre estos se tiene la temperatura, vestimenta, viento y humedad.

1.2.3.1. Temperatura

La temperatura está muy arraigada a las sensaciones que producen los cambios del calor. Esta puede distinguirse en su cambio y propagación, por diversos motivos, ya que se puede movilizar por conducción, convección o radiación. En los intercambios por convección, como regularmente ocurre en ambientes cerrados, la temperatura de la piel y la del ambiente se ven afectadas por condiciones propias del lugar, donde el intercambio de calor producido entre el individuo y el ambiente es a través del aire.

Los intercambios por radiación se originan por el intercambio de la energía radiante por medio de ondas electromagnéticas capaces de viajar en el vacío, mientras que los intercambios por conducción se basan en el contacto directo entre dos superficies. En cada caso, el calor siempre se transmitirá al lugar más frío para encontrar su balance.

Por esto, el cuerpo humano mantiene un gran sistema de regulación de temperatura, que internamente no debe sobrepasar los 37 grados centígrados, y por lo tanto la vasodilatación es el proceso natural por el cual el cuerpo acondiciona la temperatura por medio de del sudor como medio refrescante.

1.2.3.1.1. Temperatura del suelo

Debido al contacto directo entre los pies y suelo, la incomodidad local de los pies puede causarse a menudo por una temperatura del suelo demasiado alta o baja.

Hablar sobre el disconfort térmico causado por la temperatura del suelo es incorrecto cuando es la pérdida de calor de los pies la causa de la incomodidad.

1.2.3.2. Humedad

Se enfoca en la calidad del aire debido al vapor de agua presente en el ambiente. Enfocado en condiciones de calor, se vuelve muy incómodo para las personas convivir con altos índices de humedad. La calidad de un ambiente más seco en época cálida, facilita la transpiración y regula mejor la temperatura del cuerpo; caso contrario sucede con una cantidad mayor de humedad, debido que las vías de transpiración se ven obstaculizados por la cantidad de vapor de agua en el ambiente.

1.2.3.3. Viento

La velocidad del aire interviene en el balance térmico y la sensación que transmite, debido a que varía la capa de aire que rodea a los individuos y aumenta la evaporación del sudor. Estas corrientes de aire son la causa de las quejas de personas en el interior de un ambiente.

Las personas pueden discutir sobre no sentir una velocidad de aire para refrescarse, pero en realidad es por no haber una vía de enfriamiento corporal.

Las personas son muy sensibles a las corrientes de aire en las partes desnudas del cuerpo. Por consiguiente, normalmente se sienten las corrientes de aire solo en la cara, manos y parte baja de las piernas.

La cantidad de pérdida de calor de la piel causada por las corrientes de aire depende de la velocidad medida del aire. Debido a la manera en que trabajan los sensores de frío de la piel, el grado de sensación de incomodidad no solo depende de la pérdida de calor local; la fluctuación de la temperatura de la piel tiene una influencia también.

Un flujo de aire con alta turbulencia se siente más molesto que un flujo de aire poco turbulento, aunque producen la misma pérdida de calor.

El aire en movimiento produce un intercambio en aumento entre el individuo y el ambiente que lo rodea; este intercambio implica una ganancia o pérdida en calor, y esto depende también si la corriente de aire tiene una temperatura más alta o baja que afecte la piel.

1.2.3.4. Vestimenta

La vestimenta es una variable que influye en gran manera la sensación del confort en un ambiente; se puede determinar que a mayor resistencia térmica dada por las prendas de vestir tenga la persona, será muy complicado para el organismo desprenderse del calor que la cubierta genera, y trasladarlo al ambiente.

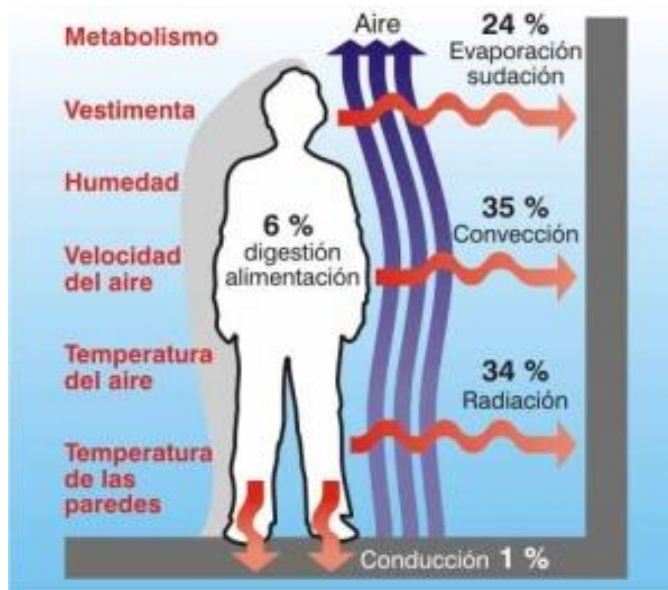
Como se pretende que el confort sea el equilibrio del calor entre el ambiente y la persona, es importante que la vestimenta deje generar la demanda energética del cuerpo, cediendo o recibiendo del ambiente.

Según el Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo Español definen que las características térmicas del vestido se miden en la unidad denominada "Clo", que equivale a una resistencia térmica de $0,18 \text{ m}^2\text{hr}^\circ\text{C/Kcal}$ ($1\text{Clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$).

La vestimenta reduce la pérdida de calor del cuerpo; esto hace que se clasifique según su valor de aislamiento.

La escala del Clo se designa desde una persona desnuda que tiene un valor de Clo de 0,0; llevando el rango a alguien que lleva un traje de calle completo que tiene un valor de Clo de 1,0.

Figura 10. **Factores del confort térmico**



Fuente: ENRAIZA.<<http://www.enraiza.es/2015/01/satisfaccion-con-el-ambiente-termico/>>.

Consulta: 12 de febrero de 2015.

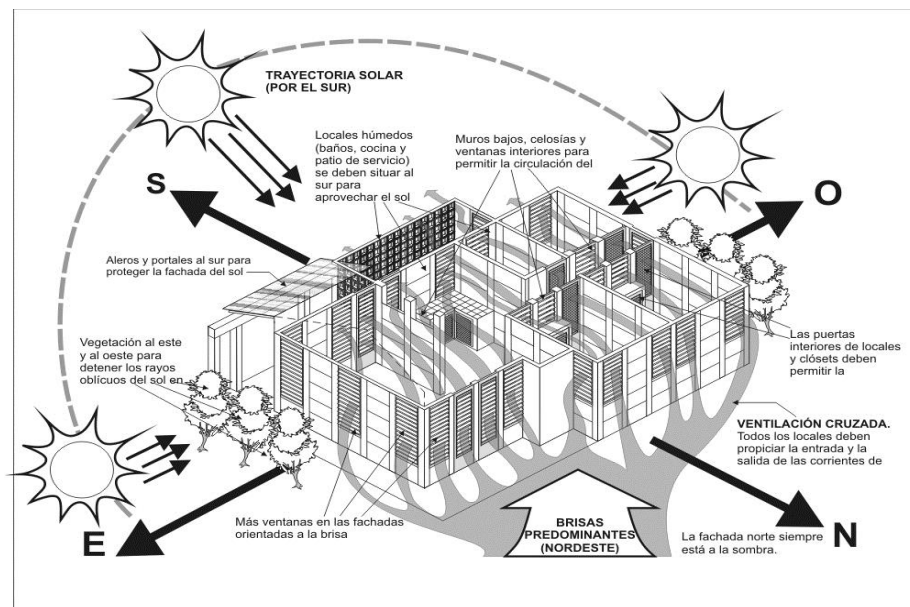
1.2.4. **Problemas en la vivienda originados por el calor**

La comodidad que las personas experimentan en las viviendas se debe al balance de sensaciones entre el entorno y el habitante. Esta comodidad es afectada por las condiciones del ambiente. En este caso el calor condiciona el estado de comodidad de las personas, afectando la temperatura del cuerpo de cada persona, como de la propia vivienda. A mayor calor, las personas necesitan soluciones para lograr el confort con el entorno.

El efecto del calor se caracteriza dependiendo las condiciones dentro como fuera de la vivienda. Entre los factores se menciona la cantidad de temperatura máxima ambiente, la posición del sol y la parte afectada a la hora de máxima radiación solar; materiales constituyentes de la vivienda, fuentes de

ventilación, medidas del ambiente tales como altura del techo, grosor de paredes, el número de personas, la actividad que realicen, su vestimenta, las condiciones de viento y ventilación, humedad, entre otras.

Figura 11. **Variables que afectan las condiciones térmicas debido al calor**



Fuente: Claroscuros. <<https://cvilchesmonzon.wordpress.com/tag/confort-termico/>>.

Consulta: 10 de agosto de 2015.

El calor ocasiona en la vivienda un ambiente de tensión térmica, que provoca buscar soluciones para evitar la propagación del mismo. Sistemas de enfriamiento como aires acondicionados o sistemas térmicos convencionales como los cielos falsos son parte de estas soluciones, pero generan inversiones muy costosas. Sin embargo, esto no es una solución general; algunos sectores de la sociedad, en especial los de mayor índice de pobreza, no tienen los recursos para hacerse con los servicios de estos sistemas.

El exceso de calor provoca mayores índices de consumo eléctrico debido a los sistemas de enfriamiento, como también un elevado coste de aparatos electrónicos, que con el calor aumentan su consumo de electricidad. Además, el calor provoca serios problemas en la salud. En lugares de trabajo, a mayor calor, menos productividad, debido a que el cuerpo requiere mucha energía para lograr el balance de temperatura con el ambiente, agotando a las personas.

1.2.5. Problemas de salud

El disconfort creado por diversas causas en un ambiente, lleva a los extremos de afectar la salud de las personas. Los síntomas varían de la sensación que se experimente.

En ocasiones las personas, en distintas épocas del año, especialmente calurosas, experimentan desesperación y malestar por estar en un lugar no apto para ciertos efectos climáticos.

Estas sensaciones no llevan a más de una cierta inconformidad. El problema radica cuando esto lleva a estados más alterados, tales como migrañas, deshidratación, alteración de nervios, inclusive desmayos.

1.2.5.1. Estrés térmico

El estrés térmico, independientemente de si es moderado o severo, logra manifestaciones en el cuerpo humano como señales de alerta, situación que conduce a poner en marcha mecanismos de termorregulación como defensa para eliminarlos. Dichas manifestaciones son agotamiento, decaimiento, dolor

de cabeza, malestar, disminución de la capacidad de concentración y mal humor.

Existen mecanismos que consisten en la distribución homogénea del calor y la dispersión del mismo por diferentes sistemas como el de convección y el de irradiación que distribuyen mejor el calor y lo acumulan en las piedras de acabado del sistema, las cuales transmiten al cuerpo humano todas las propiedades de la piedra natural, al mismo tiempo que ofrecen la sensación de bienestar de la misma naturaleza.

Figura 12. **Síntomas del estrés térmico por golpe de calor**



Fuente: National AG Safety Databe. <<http://nasdonline.org/document/138/d001702s/estres-por-calor.html>>. Consulta: 2 de marzo de 2015.

1.2.5.2. Enfermedades resultado del estrés térmico

Existen diversas enfermedades originadas por el estrés que produce el exceso de calor, las cuales se describen a continuación.

1.2.5.2.1. Salpullido

Esto es resultado del taponamiento de las glándulas de sudoración, debido al calor excesivo, produciendo mucho sudor y humedad. Produce mucha irritación, ampollas, picazón, y a veces costras. Para evitar esto es necesario que las personas se mantengan secas, beban agua, y si es necesario, cambiarse de ropa para evitar suciedad.

1.2.5.2.2. Calambres y agotamiento

Es sabido que al hacer ejercicio, el exceso puede conllevar a un cansancio físico que resienten los músculos produciendo los calambres. En cambio los producidos por el calor, generalmente son sufridos por las personas en el abdomen y piernas, debido a la pérdida de sal por el sudor en exceso.

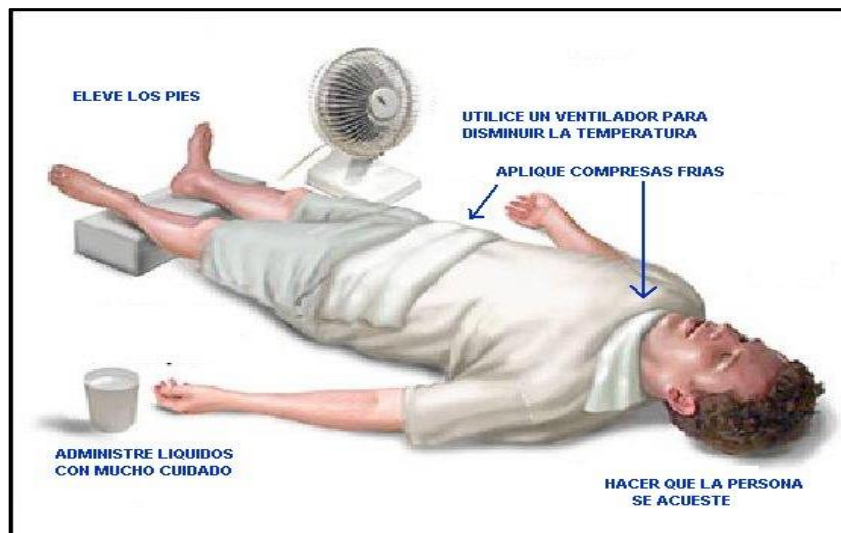
El agotamiento es una señal fuerte que la enfermedad por el calor surge efecto. Esta puede darse en regiones como el oriente del país, la costa y corredores muy secos. Aquí la pérdida de sal y humedad por el sudor no es recobrada con facilidad por el agua, por lo cual la persona puede llegar a sufrir consecuencias fuertes, como náuseas. Personas con estos síntomas, deben buscar ayuda médica si no se soluciona de manera pronta.

1.2.5.2.3. Insolación

Considerada una condición mortal en muchos casos. Aquí la temperatura del cuerpo sobrepasa en ocasiones los 41 grados centígrados. En este caso, las funciones del cuerpo no son definidas, y la persona puede sufrir grandes daños, incluso cerebrales.

Debe de buscarse ayuda médica de manera inmediata, y dar a la persona un ambiente fresco, aflojando la ropa, cubriéndolo con trapos mojados en la cabeza. De ninguna forma se recomienda colocar a la persona en un estado muy frío al estar en una condición de insolación, debido a que puede entrar en *shock*.

Figura 13. **Medidas ante efectos de problemas de salud por estrés térmico**



Fuente: Trastornos por estrés térmico. <http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Trastornos+de+Estr%C3%A9s+por+Calor&lang=2>. Consulta: marzo de 2015.

1.3. Sistema de cielo falso

Sistema de revestimiento superior de un recinto, que es usualmente conocido por su colocación horizontal, pero puede ser también instalado de forma curva o inclinada, y soportado por una estructura propia, instalado sobre otra más resistente. Por lo general, en materia arquitectónica, definen

visualmente la superficie superior de un ambiente, que por motivos estéticos disminuye su altura, oculta elementos expuestos como tuberías o demás instalaciones, que aportan un confort térmico al lugar, y se integra como elemento decorativo.

Son sistemas mundialmente usados por su condición arquitectónica; la mayor parte de estos son prefabricados y se componen de diversas formas como planchas, entramados de perfiles metálicos, o de madera tratada. Estos sistemas deben de reunir muchas características, tales como la estética, acústica, sistema térmico, la higiene, resistencia al fuego, entre otros.

El enfoque principal de este tipo de sistemas es otorgar el confort térmico al ambiente, que no es más que el balance o estado neutro, dando la comodidad en cada ambiente habitable, condicionado por características tanto internas como externas, que alteran de varias maneras la temperatura, como el calor, frío, viento, vestimenta, humedad, entre otros.

Figura 14. **Sistema de cielo falso modular en pasillo**



Fuente: Cámara Chilena de la Construcción. *Cielos falsos: rasos y modulares. Recomendaciones técnicas*. 2005. p. 52.

1.3.1. Cielo modular

Utilizados por su fácil colocación, ya que se puede optar por la utilización de una base existente para instalar las fijaciones para que pueda ser colocado, el cual se instala colgado gracias a sus características estructurales.

1.3.1.1. Cielo modular registrable y no registrable

El cielo modular es mayormente utilizado por su más fácil instalación, al contrario del no registrable, que requiere de una estructura entramada para su colocación.

1.3.2. Cielo raso

Este sistema posee una superficie lisa, plana, que es continua y sin juntas visibles; está soportada por una estructura oculta que lo porta automáticamente, de tal manera que sobre el sistema se desarrolle una cámara de dimensiones variadas, para dar una mejora técnica y estética.

1.3.3. Cielo suspendido

Se utiliza un sistema de suspensión para portar las placas de los módulos a la estructura resistente de la edificación.

1.3.4. Cielo directo

Este sistema contiene elementos que se fijan de forma directa a la estructura resistente de la edificación, para lo cual se utilizan piezas de anclaje especial o directamente.

1.3.5. Cielos falsos especiales

Poseen generalmente sistemas de suspensión alternativos, donde los perfiles principales o secundarios no son utilizados con regularidad. En esta categoría, la forma tiene un gran impacto, ya que se pueden integrar los que poseen formas no convencionales, tales como lo son las curvas, radiales, entre otros.

Figura 15. Cielo falso tipo isla



Fuente: Cámara Chilena de la Construcción. *Cielos falsos: rasos y modulares. Recomendaciones técnicas.* 2005. p. 52.

1.3.6. Partes del sistema de cielo falso convencional

A continuación se describen las diversas partes del sistema de cielo falso convencional.

1.3.6.1. Placas

Estos elementos son la presentación del sistema, y dependen del tipo de material que va a ser utilizado.

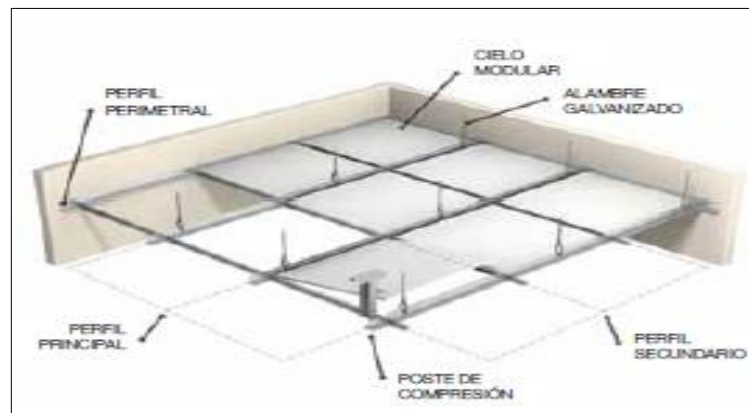
1.3.6.2. Estructura de soporte

Utiliza un sistema de suspensión a un entramado instalado y así enlazar los esfuerzos a las estructuras existentes.

Algunos de estos elementos de fijación se mencionan a continuación:

- Sistema de suspensión
- Conectores
- Fijaciones
- Anclajes mecánicos y químicos

Figura 16. **Estructura de soporte básico para cielos falsos**



Fuente: Cámara Chilena de la Construcción. *Cielos falsos: rasos y modulares. Recomendaciones técnicas*. 2005. p. 52.

1.3.7. Propiedades y características de sistemas de cielo falso como aislantes térmicos

Las condiciones térmicas de una habitación no solo afectan a la calidad del confort de una persona, sino que involucran de igual manera temas como lo económico. Es de esta forma que si se desea controlar el flujo de calor es necesario hacer inversiones que hagan la construcción eficiente de tal manera que se logre el objetivo de las características energéticas.

Sistemas de cielos falsos pueden proveer como objetivo principal un aislamiento térmico, de modo que se pueda lograr un equilibrio térmico, estabilizando el flujo de calor, y así acondicionar el ambiente habitacional. De esta forma se puede analizar que un material responderá ante la presencia de diversas temperaturas de forma distinta. Es por eso que se describen algunos conceptos relacionados con el calor en el material.

1.3.7.1. Conductividad térmica

Su base es la energía transmitida en unidades de *watts* (*W*), que afecta una unidad de área por una unidad de temperatura. Se utiliza un sistema absoluto como el Kelvin ($W/ m^{\circ}K$). Un buen aislante térmico posee un coeficiente de conductividad térmica $\lambda < 0,060 W/m^2K$.

1.3.7.2. Transmisión de calor

Debido a que una de las principales vías de flujo de calor entre el interior y exterior de un recinto es a través de las cubiertas del techo, un buen comportamiento térmico de los cielos reduce la transmisión de calor.

1.3.7.3. Resistencia térmica

Es la oposición al paso del calor que puede presentar los elementos constructivos. Cada elemento posee una oposición al paso de calor, pero varían dependiendo sus características físicas. Es por eso que son considerados aislantes aquellos materiales que tengan grandes cualidades de resistencia térmica. Un buen aislante térmico es aquel que tiene una resistencia térmica mayor a $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

1.3.8. Materiales de mayor uso en sistemas de cielos falsos

A continuación se describen los materiales que más se utilizan en la fabricación de cielos falsos.

1.3.8.1. Fibra mineral

Sus propiedades y características son de gran variedad, debido a la alta gama de productos, derivados desde la resistencia a la humedad, absorción acústica, reflexión de luz, entre otros. Este compuesto forma parte de un grupo de fibras obtenidas de la escoria metálica, o de la misma forma encontrada en feldespato natural, que se unifican por medio de una fundición.

Este material es muy estable ante la presencia del calor, al igual que puede resistir algún daño por ciertas sustancias químicas. Puede ser usado en proyectos de igual forma, para aislante acústico.

1.3.8.2. Fibra de vidrio

Considerada debido a la relación de su área superficial y peso, como un material con buenas propiedades aislantes. Este material trabaja por medio de bloques, que absorben pequeñas cantidades de aire, que crean una capa aislante efectiva. El problema de la fibra de vidrio se debe a su área incrementada, que la hace demasiado vulnerable ante algún efecto químico.

1.3.8.3. Madera

Usada de forma cotidiana en el empleo de enlucidos, recubrimientos de piso, o elaboración de estructuras ya sean temporales o permanentes, con el paso del tiempo ha tomado mayor confianza en el terreno de los sistemas de cielo falso, ya sean en imitaciones de madera o piezas tratadas. Es muy utilizado por su ligereza, liviandad y estética. La madera posee características muy importantes por sus cualidades térmicas y acústicas, aunque debe de tener de un tratamiento muy minucioso, debido a que son muy susceptibles al contacto con humedad, calor o ataque de insectos.

1.3.8.4. Yeso (escayola)

Conocido como cielo falso de tipo escayola, resulta de la composición en industria del aljez o yeso natural. Contiene una pureza mayor al 90% en mineral de aljez, y por su grano que posee una granulometría muy fina, se considera un material de alta calidad.

1.3.8.5. Policarbonato

En relación con sus ventajas, lo primero es decir que es un plástico duro, resistente, liviano, durable, fácilmente moldeable y susceptible de ser teñido en cientos de colores, característica que entrega muchas posibilidades, ya que se puede manipular en distintos ambientes.

1.3.9. Consideraciones sobre la construcción de los sistemas de cielos falsos

Es necesario que la aislación térmica cubra de manera continua toda la superficie del cielo y se prolongue por sobre cualquier solera o costanera. Además es importante minimizar los puentes térmicos, ya que en ellos se puede producir condensación y pérdida importante de calor.

En casos especiales, tales como cubiertas de lugares no habitacionales, si se requiere un sistema de cielo falso, se deberá de incluir un material aislante según la zona térmica del proyecto, y así evitar un deterioro avanzado del sistema. En el caso de una vivienda, esto es de carácter obligatorio.

La importancia de un sistema de cielo falso se puede argumentar que regula y mantiene estables los rangos de temperatura interna. Proporciona niveles de temperatura confortable en la vivienda, el comercio, la industria y cualquier espacio interno en general. Previene la excesiva pérdida de calor en tiempo frío, como la excesiva ganancia de calor en el verano. Otorga el máximo de confort a nivel de temperatura y contribuye al ahorro de energía.

1.3.10. Ventajas y desventajas

Una de las ventajas de los falsos techos es que mejora la calidad de la construcción en aspectos tanto térmicos como acústicos y, como se mencionó anteriormente, también permite que se incorporen puntos destinados a las instalaciones eléctricas, que a su vez van desde la iluminación hasta la climatización que posibilita que dentro de la construcción la temperatura sea adecuada y así garantiza comodidad en la vivienda.

Entre las desventajas de un sistema convencional está su alto costo de instalación, y problemas básicos en su mantenimiento. Es de recordar que la mayoría de materiales son prefabricados, por lo cual, el remplazar o cambiar una pieza representa un costo mayor.

2. MATERIALES A UTILIZAR EN PROPUESTAS DE NUEVO SISTEMA DE CIELO FALSO

2.1. Materiales

La búsqueda de nuevas tecnologías en el aspecto constructivo, proveniente de la necesidad de las personas de mejorar sus condiciones de vida, procede luego de analizar sus necesidades, para buscar las herramientas y parámetros que marcarán el rumbo del nuevo sistema. Entre esto, los materiales suponen una base importante en la creación de las propuestas constructivas, en las cuales las personas tengan un fácil acceso, y condiciones favorables, que produzcan en la población la iniciativa de mejora en su vida y comunidad.

Para este estudio, se presentan los dos materiales que afectan el nuevo sistema, como la lámina galvanizada de zinc, que provoca el problema, y el residuo de la planta del maíz, como es la caña, que servirá como materia prima.

2.1.1. El maíz, generalidades y su cultivo

Se trata de uno de los granos básicos de mayor consumo en Guatemala, debido que es parte de la dieta de la población, por su alto contenido energético y por sus proteínas. El maíz (*Zea mays L.*) es una planta donde sus semillas son las del uso comestible, mientras que los tallos, hojas y restos del cultivo son considerados residuos, o reutilizados en otras actividades.

Planta robusta, de 1-4 metros de altura, determinada, normalmente con un solo tallo dominante, pero puede producir hijos fértiles, hojas alternas en ambos lados del tallo (Kiesselbach, 1949; Purseglove, 1972; Fisher y Palmer, 1984).

Figura 17. **Maíz recolectado por agricultores**



Fuente: FUENTES LÓPEZ, Mario. *Maíz para Guatemala*. p. 11.

Al igual que el frijol negro y el arroz, el maíz tiene una gran importancia en el desarrollo del país, por sus implicaciones en los ámbitos culturales, sociales y sobre todo alimenticios.

2.1.1.1. Producción, importancia y variedad de maíz en Guatemala

El maíz, como materia de consumo en Guatemala, mantiene una producción muy alta cada año para dar abasto a la exigencia nacional, como también a requerimientos del producto a nivel internacional.

2.1.1.1.1. Producción

Según estudios del Ministerio de Agricultura y Ganado de Guatemala, la producción de granos básicos al año 2014, abarcando de mayo de 2013 para abril de 2014, alcanzó la cifra de 4 072 410 toneladas métricas. Esta producción involucra las especies principales, principalmente al maíz blanco. El área cosechada para el año agrícola 2013/2014 en estimación rondaron las 1 225 200 manzanas y 38 178 400 quintales de producción.

La producción se realiza a través de diversos sistemas, donde están involucradas las variables como época de siembra, o el sistema de la misma, donde se pueden o no intercalar diversos cultivos.

2.1.1.1.2. Épocas de siembra

La siembra se caracteriza en diversos lugares por su época. Dicho periodo por su parte está influenciado por la altura en que se planea cultivar. Según datos del ICTA, el mayor porcentaje de siembra se da en condiciones de temporal, donde también se destaca su altitud al nivel del mar.

Para los agricultores, el mejor lugar para cultivar es donde las condiciones de lluvia sean las mejores; por otro lado, las condiciones del ambiente circundante también ayudan sobremanera (ver figura 18).

Ejemplo de esto es la región del altiplano, donde se aprovechan las localidades de siembra, debido a que la plantación para su crecimiento utiliza la humedad que posee el suelo.

Figura 18. **Agricultores en labores de siembra**



Fuente: *DeGuate*. <http://www.deguate.com/artman/publish/ecofin_noticias/la-produccion-de-granos-sera-superior-este-ano.shtml#.VaO2vPI_Oko>. Consulta: 2 de abril de 2015.

Por lo regular, las siembras ubicadas bajo 1400 msnm, o lugares cálidos son realizadas entre mayo y junio, y su segunda fase en septiembre. Distinto efecto tiene la zona del altiplano, donde las épocas varían gracias a las condiciones del lugar, no teniendo una temporada fija; aunque se prefiere trabajar entre marzo y mayo para tener un control de ventas del producto y de su almacenaje.

En tierras de trópico bajo, donde según el ICTA se considera localidad de riego, poseen la variación que la siembra podrá ser en cualquier época del año. En este lugar se caracteriza por ser siembras bajo sistema mecanizado, a diferencia de los demás lugares donde son manuales, dependiendo de la disponibilidad del agricultor.

2.1.1.1.3. Cifras del producto

Del cultivo de estos granos de maíz se derivaron unos 15686250 de jornales equivalentes a 56 022 empleos plenos solo en el rubro de la cosecha durante el 2014.

Según estimaciones, el cultivo de maíz forma un 3,93 % del Producto Interno Bruto del sector agrícola (según cifras MAGA, a partir de 1999), como un 0,99 % o más del PIB nacional.

El grano de maíz también ha sido un producto de exportación a diversos países, siendo Estados Unidos uno de los más recurrentes. Mayormente, se comercializa el tipo de grano amarillo, debido que es el usado en ese país para el ganado, o fabricación de tipos de alimentos, como concentrado con origen balanceado.

Tabla II. **Producción de maíz de 2007 a 2014**

Producción nacional de maíz períodos del 2007 a 2014		
Año agrícola	Área de cosecha (manzanas)	Quintales de producción
2008	985000	35239409
2009	1224600	37954987

Continuación de la tabla II.

2010	1174955	35842973,6
2011	1175255	36117211,6
2012	1199900	36932600
2013	1211900	38003700
2014	1225200	38178400

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Del 2007 a febrero 2014, se exportaron alrededor de Q.12 993 124,00 en producto de maíz, alcanzando precios hasta de Q 230,00 el quintal.

Hasta el día de hoy, Guatemala es autosuficiente en la producción de maíz blanco como lo presenta la tabla II; aunque se debe aclarar que debido a las proyecciones de crecimiento de la población, la demanda de este producto y una tendencia a la reducción de precios, han amenazado a la nación con ya no poder abastecerse con su propio producto.

2.1.1.1.4. Importancia en Guatemala

Existe un sector poblacional en Guatemala, que por varios motivos, no tiene las capacidades sociales o económicas para cubrir sus necesidades básicas, entre estas está la alimentación. En este aspecto, las condiciones de consumo de alimentos que lleguen a cubrir aspectos proteínicos, energéticos y vitamínicos, se ven diezmadas por comidas no acordes a la salud de las personas.

En relación con el ingreso mensual, se estima que en la mayoría de las familias guatemaltecas se dificulta tener acceso a la canasta básica alimentaria.

La dieta básica del guatemalteco está compuesta por la asociación de cereal y leguminosa, donde el maíz y el frijol son de relevante importancia.

De acuerdo con el promedio del nivel de ingreso económico familiar en Guatemala, el consumo per cápita de maíz ha ido en aumento desde 1991, hasta un punto donde se ha podido duplicar dicho consumo. Los más afectados son aquellos con las condiciones precarias y con mayor vulnerabilidad por su nivel de ingreso económico.

Figura 19. **Maíz para distribución alimenticia**



Fuente: MAGA. *Informe Situación del maíz blanco a febrero 2014*. p. 24.

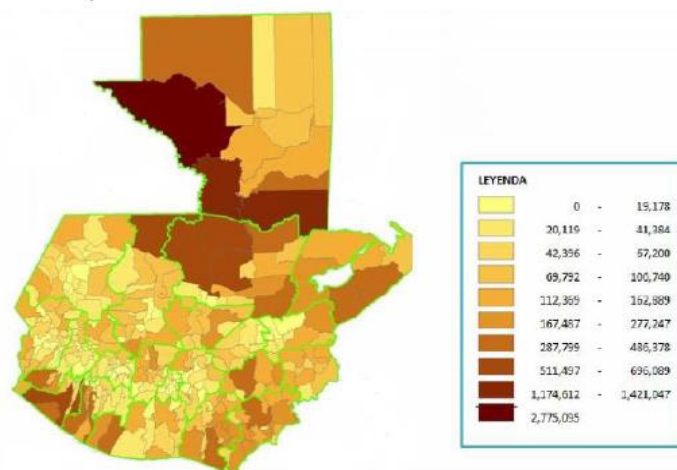
Esto hace que la producción y adquisición del grano en Guatemala sea de una atención muy grande como lo muestra la figura 19. Los efectos a causa de la adquisición y producción del grano de maíz, son de grandes beneficios para las comunidades en general, por lo tanto, la privación de estos lo hacen de carácter crítico, debido que no solo interponen barreras de comercio, sino también de nutrición a nivel nacional.

2.1.1.2. Localización de cultivo de maíz según variedades en Guatemala

Según informe del ICTA en 2002, a nivel mundial se siembra en latitudes desde los 55° N a 40° S y del nivel del mar hasta 3800 m de altitud; esto hace que la plantación del maíz sea el cultivo con mayor amplitud de distribución, dependiendo de zonas ecológicas del país. Esta distribución se mantiene en función de la adaptación, condiciones climáticas (precipitación, altitud sobre el nivel del mar, temperatura, humedad relativa), tipo de suelo (ICTA, 2015).

En términos generales, Guatemala concentra su mayor número de siembra de maíz en diversas regiones, donde las zonas del altiplano, costas tanto suroccidental como nororiental, sobresalen del resto. Este cultivo se observa entre altitudes de 0 - 3000 msnm tal como lo muestra la figura 20.

Figura 20. Localización plantaciones de maíz en Guatemala



Fuente: DIPLAN-MAGA. *Cifras estimadas, Banco de Guatemala y Censo Nacional Agropecuario 2002/2003.* p. 20.

Según ICTA, estos son clasificados según su calidad y condiciones de cultivo, y en muchos casos, modificados genéticamente para que tengan resultados de cultivo y cosecha acordes a las expectativas, tanto del agricultor, como del consumidor.

Esta diversidad a nivel mundial es muy grande, logrando hasta 250 razas clasificadas, donde sobresalen algunas modificadas. Guatemala, que pertenece al área de Mesoamérica, ha tenido su origen de la siembra como tal desde las épocas precolombinas.

En Guatemala se han clasificado 13 razas de maíz, entre las cuales se pueden mencionar: raza Olotón, San Marceño, Quiché, Naltel, entre otros. Dentro de la diversidad de maíz existen siembras de menos de 1 m de altura, 8 a 9 hojas y una madurez de 60 días y otros con más de 5 m de altura, 40 a 42 hojas y una madurez de 340 días (Fischer y Palmer, 1984).

2.1.1.2.1. Trópico bajo

Es la mayor zona de producción en el país, que abarcan rangos de áreas entre los 0-1400 msnm (ver figura 20). Se estima un área de 476 000 hectáreas (68 % del área de producción).

Esta zona está compuesta por áreas que presentan condiciones favorables en relación con la distribución de la precipitación (zona de humedad favorecida). Las áreas de cultivo se encuentran en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Escuintla, Santa Rosa, Retalhuleu, Alta Verapaz, Izabal, Quiché, El Petén, y zonas bajas de Huehuetenango y Jutiapa.

Las características de esta planta son alturas correspondientes entre 1,20 a 2,35 metros, y algunos genotipos con tamaños de hasta 4,0 metro; poseen grosores de tallo de 5 a 6 centímetros, y los días de plantación y producción entre 60 a 90.

2.1.1.2.2. Zona cálida seca

La zona de humedad limitada, son todas las áreas que han sido afectadas por periodos de sequía en el transcurso de la fase de cultivo de la siembra.

En esta zona se ubican áreas que corresponden a los departamentos de Jutiapa, Chiquimula, Jalapa, Zacapa, El Progreso, Baja Verapaz, algunas zonas de sequía ubicadas en Quiché, Huehuetenango y El Petén.

En los últimos años se ha identificado como zona con problema de sequía una franja de 15 km a lo largo del océano Pacífico que incluye áreas maiceras de los departamentos de San Marcos, Retalhuleu, Suchitepéquez y Escuintla.

Las áreas de mayor sequía, presentan una modalidad de planta de maíz más frágil y pequeña que los demás tipos. Esto debido al tipo de clima y condiciones topográficas y de suelo. Las alturas de la planta comprenden desde 0,90 a 1,40 metros, con grosores de 1,5 centímetros, máximo (ver figura 21).

2.1.1.2.3. Altiplano

Incluye aquellas plantaciones ubicadas a 1 500 msnm (ver figura 20). El área de producción se estima en 22 4000 hectáreas (32 %). Esta zona presenta diversidad de condiciones agroecológicas relacionadas a altitud, temperatura y precipitación.

Incluye áreas maiceras correspondientes a los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez, Chimaltenango, Quiché, Sololá, Totonicapán, Quetzaltenango, San Marcos, Huehuetenango y algunas localidades ubicadas en Jalapa.

Las características de este tipo de planta de maíz mantienen un rango de altura entre 1,15 a 2,50 metros, con grosores de tallo de 4 centímetros, pero poseen más cantidad de tiempo entre plantación y producción, con casi 210 días hábiles (ver figura 21).

Figura 21. **Variedades de caña de maíz**



Fuente: Área de Prefabricados, sección de Tecnología de los Materiales, FIUSAC.

2.1.1.2.4. Variedades ICTA

El ICTA ha desarrollado diferentes alternativas tecnológicas genéticas, lo que posibilita el disponer de variedades e híbridos de maíz adaptados a diferentes condiciones agroecológicas del país (ver figura 21).

La semilla obtenida de este proceso de mejoramiento constituye un insumo estratégico que proporciona las mejores tasas de retorno a capital, comparada con otras tecnologías utilizadas en el proceso de producción del cultivo.

Además, esta tecnología puede incluir genes que proporcionan tolerancia a determinado estrés clasificado como factor biótico (enfermedades o plagas) o abiótico (sequía, suelos ácidos) que afecten el potencial de rendimiento.

2.1.1.2.5. Malezas e insectos que afectan la planta de maíz

Estos vectores perjudican el cultivo de maíz, como toda su etapa de crecimiento.

La maleza ocasiona problemas a la planta de maíz, como absorbiendo su humedad, compitiendo por la luz, y por los nutrientes y agua del suelo.

Figura 22. **Insectos encontrados dentro de la caña de maíz**



Fuente: Área de Prefabricados, sección Tecnología de los Materiales, FIUSAC.

Los insectos aparecen en la plantación para robar los nutrientes, como también reproducirse, y deteriorar la planta con el paso del tiempo.

Entre las malezas que más afectan la plantación en el país se encuentran:

- Coyolillo
- Caminadora
- Zacate Jhonson
- Bledo
- Batatilla

Entre los tipos de insectos que afectan la plantación como el almacenamiento del producto se presentan:

- Coleópteros: Gallina ciega
- Homópteros: Chicharrita de maíz
- Lepidópteros: Gusano cogollero y elotero

- Acarinos: Araña roja
- Palomilla dorada de maíz
- Gorgojo de los granos

Figura 23. **Deterioro de la caña por vectores dañinos**



Fuente: Área de prefabricados, sección Tecnología de los materiales, FIUSAC.

2.1.1.3. Residuos de maíz

En el medio nacional, el manejo en el cultivo de maíz provoca que la mayoría de la planta sea desechada. El fruto como tal, es decir la mazorca, solamente ocupa un aproximado del 25 al 30 % de la planta.

Esto hace que el resto sea desechado por los agricultores, provocando en números totales, un aproximado de 25 millones de quintales de caña por época de cosecha.

En Guatemala, se acostumbra por los productores quemar los residuos, que comprenden los tallos (caña), flores, olote, granos secos, tusa y hojas secas.

Otro sector aprovecha estos residuos, como el caso de la tusa para usarlo en la fabricación de alimentos, tales como lo son los tamales, chuchitos, queso, requesón, entre otros.

El sector ganadero aprovecha las cañas y en ocasiones los granos secos y hojas para alimento a ganado. Mucho de esto sucede por ejemplo en el departamento de El Petén, donde se aprovecha junto al tallo del maicillo, para servir como alimento a los animales.

Fuera de las fronteras nacionales, se ha hecho uso de los residuos en producción de biocombustibles, produciendo un tipo de etanol.

Figura 24. **Residuos del cultivo de maíz**

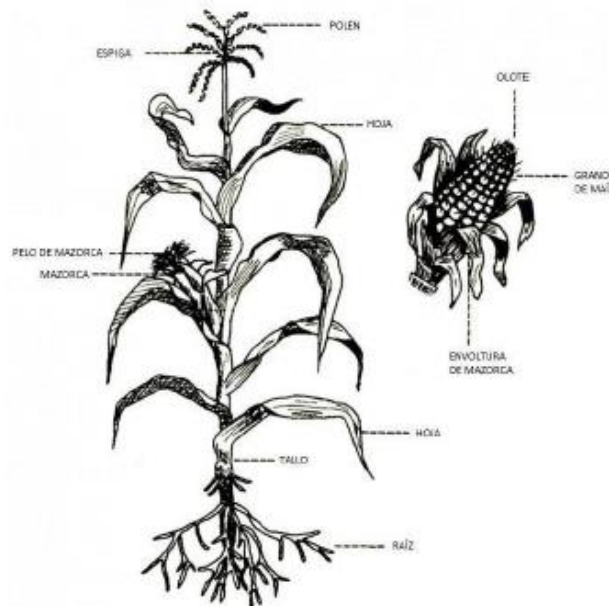


Fuente: Área de Prefabricados, sección Tecnología de los Materiales, FIUSAC.

2.1.1.4. Características generales de la caña de maíz

La planta de maíz presenta un tallo principal, el cual alcanza la superficie del suelo a la parte de la espiga, en alturas entre 1 a 4 metros como lo muestra la figura 25.

Figura 25. Partes de la planta de maíz



Fuente: GONZÁLEZ, Yolotl. *Etnografía del maíz*. <<http://books.openedition.org/cemca/1880>>.

Consulta: 4 de diciembre de 2014.

La porción del tallo comprendida entre el nivel del suelo y la inserción de la mazorca principal, presenta alternadamente un área deprimida a lo largo de cada uno de los internodos; dicha área corresponde a la sección del tallo en que se desarrollan los distintos brotes de mazorca. A partir del nudo que se ubica sobre la inserción de la mazorca apical, el tallo es totalmente cilíndrico.

La planta del maíz tiene un tallo macizo; este, desde afuera hacia adentro, está conformado por las siguientes estructuras:

- Epidermis: capa impermeable y transparente que protege al tallo contra el ataque de insectos y enfermedades.
- Pared: capa leñosa, dura y maciza que corresponde a un conjunto de haces vasculares por donde circulan las sustancias alimenticias.
- Médula: tejido blando de carácter esponjoso que llena la parte central del tallo; en ella se almacenan las reservas alimenticias.

Desde los subnudos pueden nacer tallos secundarios, los cuales en general no presentan un gran crecimiento. Parte como el olote, el pelo y las hojas pertenecen como tal al fruto de la mazorca (ver figura 25).

2.1.2. Lámina galvanizada de zinc

Es un producto de uso más generalizado en el entorno nacional, debido a que es una cubierta de fácil instalación, liviana, eficiente, durable, y que por tener un gran número de productores nacionales, su precio es accesible.

La corrosión que se evita con el proceso de galvanizado es causada por la exposición del acero a otros metales en presencia de un electrolito o al oxígeno y agua. Al poner una barrera para cubrir el acero, el galvanizado es capaz de resistir mejor las fuerzas destructivas que puedan actuar contra el acero.

Este producto posee desventajas, por ejemplo, que en la noche “suda” o “llora” debido a la humedad, almacena mucho calor durante el día y se enfría demasiado durante la noche; esto provoca que no funciona como una cubierta de aislante térmico.

Esto hace que se requiera de un sistema de cielo falso para que el ambiente de la lámina sea más comfortable.

Tabla III. Características básicas de las láminas galvanizadas acanaladas de zinc

Largo "L"		Ancho "A"		Peso (lb)	Superficie útil (in ²)	Calibres comunes					Calibres desde 30 a 36, bajo pedido
Pies	Metros	Pulg.	Metro			22	24	26	28	29	
7	2,13	32	0,812	14	1,52	Más gruesas	Más delgadas				
8	2,44	32	0,812	16	1,74						
10	3,05	32	0,812	20	2,2						
12	3,66	32	0,812	24	2,67						

Fuente: elaboración propia, programa Excel 2007.

2.1.2.1. Elaboración y producción

Para la producción de láminas galvanizadas corrugadas de acero el proceso de fabricación se divide en tres secciones:

- Sección de corte
- Sección de galvanizado
- Sección de corrugación

Inicialmente el material es llevado en pliegos de lámina de acero, que pasan por una máquina para el proceso de cizalla, que consiste en cortar bloques con las dimensiones de las láminas comerciales.

El acero es cubierto por una capa de zinc, que protege al material de la corrosión. La lámina de acero que se recubre con un compuesto metálico conformado por zinc en un 99,95 %, aluminio, antimonio, entre otros.

El zinc trabaja en el elemento para generar por la protección, una vida prolongada, resistencia mecánica elevada y mejoras en sus características físicas, haciendo una superficie adecuada para que sea más fácil tratar con pintura, eliminando grandes jornadas de mantenimiento.

El método para aplicar la galvanización es la inmersión en caliente, a una temperatura aproximada de 455 °C, que durante un periodo de tiempo sumergido, se enlaza el elemento con el zinc, creando una unión favorable, dando un sistema aleado con el metal base.

Posteriormente, se lleva la lámina a un proceso de corrugación, donde las máquinas someten al elemento a una deformación, formando canales longitudinalmente.

La lámina corrugada (acanalada) galvanizada se utiliza principalmente en construcciones de bodegas, viviendas, entre otros. Se producen diferentes calibres y medidas, lo cual se clasifica como lámina legítima o milimétrica.

En Guatemala, son varios los productores que tienen a su cargo el desarrollo de las láminas, tales como Ternium, Galcasa, Fogel, Multiperfiles, entre otros.

3. MARCO EXPERIMENTAL

3.1. Características del ambiente

Se presentan los factores que caracterizan el lugar de la investigación que rodean a la oficina como punto base.

3.1.1. Exteriores

El ambiente se localiza en el área de prefabricados, en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El lugar, ubicado al suroriente de la Ciudad Universitaria, colinda con las áreas de la Facultad de Veterinaria al este, Agronomía al sur, y al costado próximo, con el parque Las Ardillas, donde se distingue un río de aguas negras y una espesa vegetación, comprendida en su mayoría por árboles (ver figuras 26 y 27).

Figura 26. **Exterior oficina área Ecomateriales y Tecnología de los Materiales**



Fuente: Área de Prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

El ambiente experimental es una oficina, que está compartida con las áreas de estructuras, una bodega de mantenimiento, el área de carpintería al costado de la oficina de estudio, como también el área de ensayos del centro de investigaciones para estructuras.

Figura 27. **Frente oficina Ecomateriales y Tecnología de los Materiales**



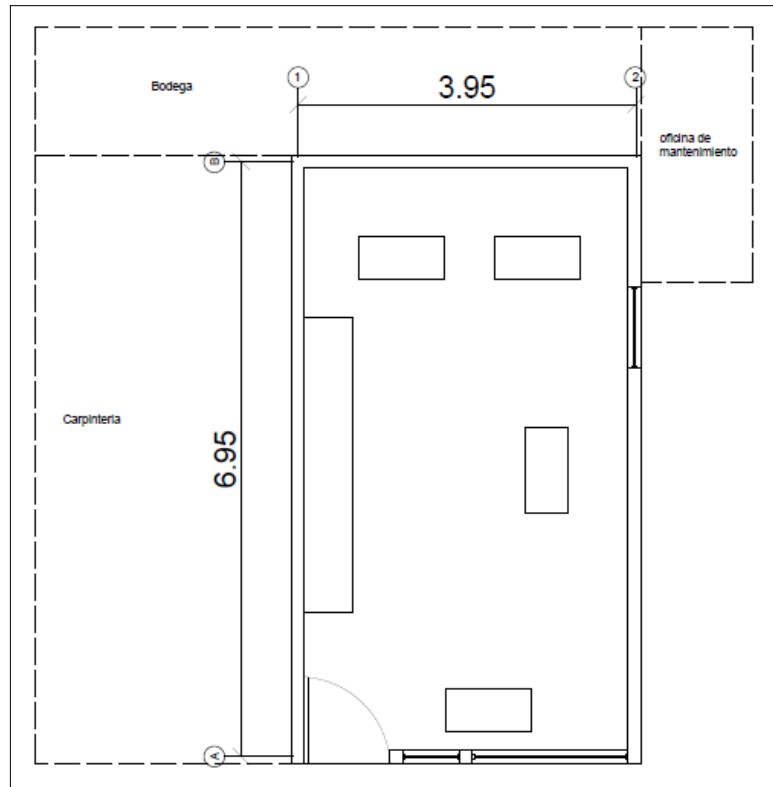
Fuente: Área de Prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

También se localizan las áreas del laboratorio de suelos al sur y la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (Eris). El área de prefabricados cuenta con una gran área de trabajo que abarca grandes cantidades de área verde, bajo condiciones tales como calor, humedad, viento, frío, lluvia, y otros.

3.1.2. Área bajo estudio: oficina

El área de estudios es la oficina de Tecnología de los Materiales. La oficina tiene unas dimensiones de 7,10 metros de largo, por 4,05 metros de ancho, teniendo una altura en su entrada de 2,40 metros, 4,1 metros en su parte más alta (parte aguas de lámina), y 3,43 metros de altura en el fondo (ver figuras 28 y 29).

Figura 28. **Dimensiones generales oficina Ecomateriales y Tecnología de los Materiales**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

El ambiente tiene una puerta de ingreso de metal a doble abertura, de 2,1 metros de altura y 0,90 metros de ancho.

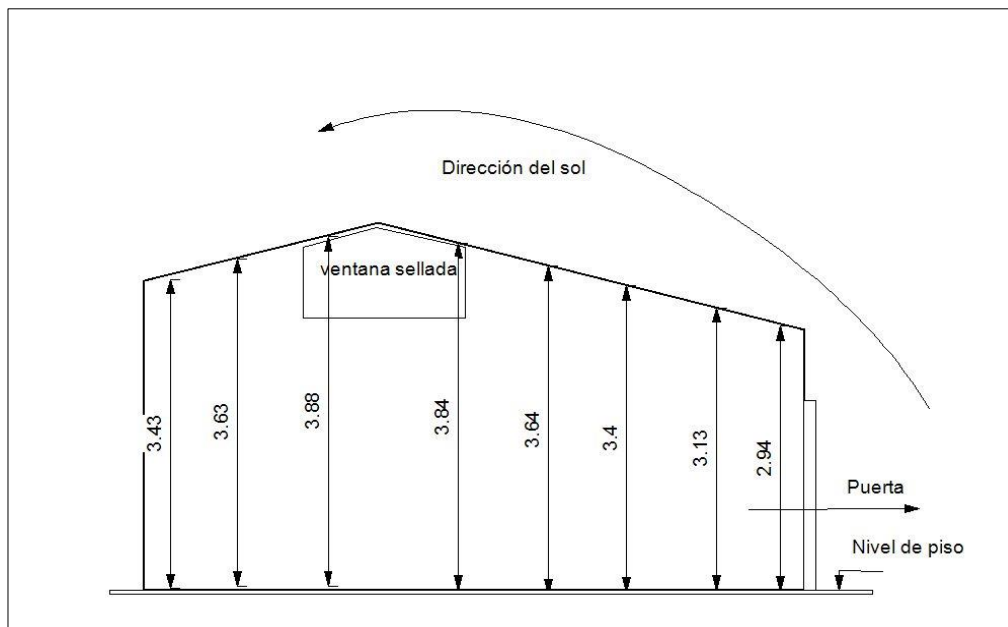
Contiene en su interior 6 escritorios para el uso de encargados del área como también de estudiantes. El ambiente posee piso cerámico, además de más enceres como archiveros, librerías, estantes, sillas y muestrarios.

La cubierta del techo, está conformada por costaneras de acero, perfil C, y lámina galvanizada de zinc ondulada, calibre 24, a dos aguas, teniendo una

pendiente del 25 % en ambos sentidos del parte aguas. La habitación se encuentra completamente sellada por esta lámina, por lo tanto no se tiene un filtro de aire por ningún lugar del techo.

Además, la habitación cuenta con 3 ventanas para iluminación selladas.

Figura 29. **Alturas y dirección del sol en oficina**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Cuenta con dos lámparas colgantes, y una puerta de acceso, 2 sistemas de aire acondicionado, que están regulados a 18 grados centígrados ambiente, para los días de mayor calor. La conformación de las paredes de la oficina tiene una base de mampostería, *block* de 19 por 19 por 19 por 39 cm, nominal, con columnas fundidas, repelladas y cernidas por el interior, pintado, y por fuera, únicamente pintados.

3.2. Materia prima

En la construcción de los paneles de caña de maíz, no se requiere de algún costo concerniente a la propia caña, dando una opción al alcance de las personas.

3.2.1. Residuo de maíz (caña)

El desecho utilizado fueron cañas de maíz, provenientes de diversas partes, tales como Tecpán, Chimaltenango; sector de Balcones de Ciudad San Cristóbal y Aldea Colmenas, Villa Nueva, del departamento de Guatemala; también de Tierra Colorada, departamento de Chiquimula.

Figura 30. **Caña de maíz para los trabajos de investigación**



Fuente: Área de Prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

La caña en general, al momento de estar en un periodo de secado, posee un color amarillo en su exterior como lo muestra la figura 30, donde sus demás características físicas van a depender en gran parte, del tipo de semilla del

mismo, localización de la siembra, la topografía del lugar, modo de cuidado de la planta, tipo de suelo e inclusive el clima del lugar.

Algunas cañas, como las que pertenecen al área de Chimaltenango, llegan a tener troncos de 2,0 a 3,0 centímetros de grosor, con la variación de nudos (lugar donde crecen hojas o tallos de la caña) a una distancia variable entre 20 a 30 centímetros. La coloración que esta caña presenta es un amarillo más fuerte y pronunciado que las demás.

Mientras que las cañas traídas desde Ciudad San Cristóbal o Villa Nueva, no varían tanto en su tamaño, grosor, o características internas, aunque son un poco más opacas en color que las anteriores.

Por último, las cañas traídas de la región de oriente, específicamente de Chiquimula, son las más pequeñas en tamaño y grosor. Con una altura efectiva de 1,0 metro y grosores hasta de 1,5 centímetros, constituyen una caña muy frágil y liviana. La forma de utilización del residuo, fue en cañas cortadas de 1 metro de largo, y otras de 50 centímetros; otro grupo fue limpiado y triturado.

Otros materiales como pita de amarre agrícola, las láminas galvanizadas de zinc, son seleccionados con base en las consideraciones de estudio dentro del ambiente.

3.3. Preparación del material

Para la elaboración de los paneles de caña de maíz, se utilizó únicamente la materia prima (ver figura 31), y la pita de amarre agrícola para sujeción de los mismos.

Figura 31. **Manejo de la materia prima**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, FIUSAC.

3.3.1. Residuo de maíz (caña)

Este como material primario debe estar en las mejores condiciones. Se utilizó en diversos tamaños en estudios preliminares, previo a tener las medidas de estudio.

3.3.1.1. Corte en campo

Se procedió a buscar la locación que tuviese los especímenes más adecuados. Se procedió a elegir las cañas más adecuadas, y cortarlas del terreno. Cabe destacar que este proceso se hace luego que la caña dé el fruto del maíz y tenga un periodo de secado natural para cortarlas (ver figuras 32 y 33).

Figura 32. **Recolección de material en campo**



Fuente: Tierra Colorada, departamento de Chiquimula.

Es importante dar a conocer que esto debe hacerse antes que los dueños de las fincas o áreas de plantación decidan cortar (tapiscar) o quemar el terreno.

Luego de esto se ordena y se transporta al lugar de trabajo. En este proceso hay que tener cuidado, debido a que la manipulación de la caña recién cortada puede tener algún tipo de complicación, ya que algunos agricultores rocían sus plantaciones con insecticidas, y esto ocasiona en algunas personas comezones, irritaciones o incomodidad en la manipulación.

Al momento de llevarlo al lugar de trabajo, se recomienda colocar las cañas en un lugar alejado de la humedad, para preservarlas de la mejor manera. Las cañas hasta este punto aún no han sido tratadas o limpiadas

adecuadamente, por lo cual, el lugar debe ser de gran cuidado para evitar que insectos o cualquier vector pueda dañarlas, como las condiciones climáticas.

Figura 33. **Selección de material en campo**



Fuente: Tierra Colorada, departamento de Chiquimula.

3.3.1.2. Limpieza

Otra parte importante en el proceso es la limpieza de la caña. Si bien se efectuaron algunos trabajos con cañas, teniendo aún hojas de residuos, es mejor cortarlas, debido a que almacenan vectores que puedan dañar la materia.

La modalidad para limpiar la caña es desprender todas las hojas que tengan en su tallo, cortar las raíces, y remover la punta de la caña.

Este proceso puede hacerse con la mano o con un cuchillo o navaja (ver figura 34). Si se manipula con las manos, es mejor utilizar algún protector como guantes, para evitar algún tipo de daño en la piel.

Figura 34. **Limpieza de la caña de maíz**



Fuente: Área de Prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

Todo el residuo del material fue almacenado para posibles investigaciones que abarquen la caña de maíz en costales o bolsas. Es mejor almacenarlas en algún lugar alejado de la humedad, para evitar que el material adquiera algún tipo de moho o se desintegre prematuramente.

3.4. Experimentación previa al diseño de los paneles

Previo a realizar los paneles, se realizaron estudios previos para llegar al modelo para la experimentación. La base siempre fue usar la caña de maíz, de tal manera que se pueda seguir la línea del estudio más adecuada, al igual que las consideraciones del ambiente.

3.4.1. Elaboración preliminar

Para iniciar el estudio, se tuvieron parámetros básicos usados para el diseño de cielos falsos. Muchos de estos determinan forma de diseño en el sentido estructural, como por ejemplo dimensiones, materiales comúnmente usados y aspectos arquitectónicos. Se tomaron en cuenta las condiciones más importantes, como parámetros de elaboración, peso, dimensiones, cantidad de material a utilizar, y mejor forma de eficiencia de trabajo del panel ante las condiciones ambientales, y su resultado en el estudio.

Figura 35. **Elaboración preliminar de paneles de caña de maíz**



Fuente: Área de Prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

La base primordial fue la creación del panel, y la mejor forma de armarlo, para que sea una tarea eficiente y a la vez trabajable para las personas. Se hicieron pruebas de corte y armado de las cañas, así como de colocación, manejo y dimensiones (ver figura 35).

Entres las pruebas se tuvieron en realización paneles de 1,0 X 0,75 metros, 0,75 X 0,50 metros, 1,0 X 0,50 metros y 1,0 X 1,0. Estas variaron en número de cañas usadas y de capas. Por eficiencia, se tomó bien usar únicamente paneles de 1 a 3 capas, debido a que el armado era más complicado al llegar a la tercera capa.

3.4.2. Cajas de poliestireno expandido

Estas fueron fabricadas para tener un indicador de temperatura almacenada dentro de un espacio semiconfinado, las cuales fueron colocadas una en el exterior, y otra dentro de la oficina, para tener una temperatura base ambiental.

Figura 36. **Poliestierno expandido para elaboración de cajas de medición de temperatura**



Fuente: Área de Prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

Se utilizaron 2, una con medidas de 0,75 X 0,75 metros (interno), que fue colocada dentro de la oficina, y otra más pequeña, de 0,30 X 0,30 metros (interno), ubicada en las afueras.

La mayor fue colocada dentro de la oficina para tener un mayor rango de captación, debido a que se instaló a nivel del suelo o altura aproximada de 1,60 metros, y es mucho menor la temperatura, comparada con la de fuera, donde rápidamente la caja capta el calor, sin necesidad de mucha área.

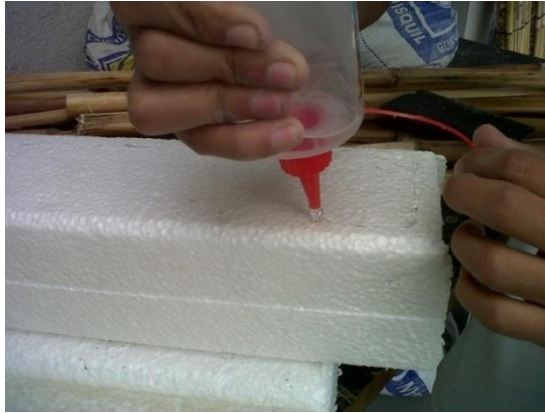
Figura 37. **Armado de caja de poliestireno expandido**



Fuente: Área de Prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

En la parte superior de las cajas se colocó una pieza de lámina galvanizada, de tal manera que esta absorba la temperatura ambiente, la transmita dentro de la caja, y se aísole, debido a que sus paredes tienen un grosor de 10 centímetros (ver figuras 37 y 38).

Figura 38. **Pegado de partes de caja con silicón líquido**



Fuente: Área de Prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

Este método de medición se toma como base de un horno solar, donde el dispositivo absorbe el calor externo, y mantiene una temperatura máxima dentro de sí y esta es la medición a considerar en periodos de tiempo establecidos.

3.5. Método de construcción de los paneles de caña de maíz

Determinando los mejores aspectos con base en los parámetros básicos, se realizaron 3 tipos de paneles con las cañas de maíz, los cuales varían en el número de capas.

Se construyeron los paneles con dimensiones de 1,0 X 0,50 metros, por motivos de mayor facilidad para armar y manipular, como también el área que abarca en el techo, y el menor número de paneles a usar para sellar el sistema.

Este criterio de medidas se toma de acuerdo con los módulos de cielos falsos registrables, generalmente de fibra de vidrio o poliestireno expandido, que rondan las dimensiones de 1,20 X 0,60 metros.

Al inicio se realizaron 4 paneles por cada tipo, para determinar cuál trabajaba mejor aislante térmico. No se procedió a realizar elementos con más de 3 capas por su fabricación que se volvería más difícil.

Para todos los paneles se utilizó pita de amarre agrícola para la unión de las cañas como la sujeción al sistema.

3.5.1. Panel tipo “1C”

Este panel es el elaborado por una sola capa de cañas, colocadas de forma transversal o longitudinal. Es el panel más sencillo de hacer. Su forma de elaboración se describe a continuación:

- Se procede a cortar las cañas en tamaños de 0,50 centímetros, o 1,0 metro de longitud. El número de cañas a cortar dependerá de la forma en que se quiera armar. Si se hace forma longitudinal, utilizará más cañas cortas, debido a que la longitud a rellenar requerirá más cañas de 0,50 cm, un aproximado de 34 a 36 cañas, dependiendo del grosor de la misma; por otro lado, si se hace en el sentido transversal, se requieren un promedio de 14 a 16 cañas de 1,0 metro para llenar el sistema.
- Luego de cortar el número de cañas se procede a armar un marco con las cañas que servirán como guía. Las esquinas son sujetas con la pita de amarre. Es importante dejar un espacio de 1,5 a 2,0 centímetros desfasados en las esquinas, para que tenga mayor sujeción las cañas.
- Se colocan las cañas en el marco para su amarre.

- Se corta un tramo de pita de amarre, se sujeta a una esquina, y se inicia la unión de las cañas con la pita en los extremos del marco. El amarre será de un estilo espiral por mayor facilidad. Esto puede hacerse por una sola persona, o por 2 para mayor facilidad y menor tiempo empleado.
- Se estira bien la pita y se amarran los extremos, evitando por cualquier manera que quede flojo el panel, y que las cañas queden lo más unidas y rectas posibles.

3.5.2. Panel tipo “2C”

Este panel está constituido por 2 capas de caña. Se describe el procedimiento de construcción de este tipo de panel.

- La construcción se inicia con la construcción de un panel “1C”, utilizando los mismos pasos que el modelo anterior, para crear la primera capa. Se toma en consideración que se debe de cortar un mayor número de cañas y tener un promedio de 32 a 34 cañas de 0,50 centímetros, como 14 a 16 cañas de 1,0 metro, debido a que una capa será transversal y otra longitudinal.
- Teniendo la primera capa, se colocan las otras cañas en el sentido opuesto al de la primera capa: si esta se hizo transversal, las otras deben ir en forma longitudinal y viceversa.
- Para esta segunda capa también se usa el armado tipo espiral con la pita, con la condicionante que debe pasar la pita entre las cañas de la primera capa. Si esto se vuelve un tanto complicado, se puede usar

algún tipo herramienta tipo aguja para mayor facilidad. Importante es tratar de no desarmar la primera capa con la manipulación.

- Se sujetan los extremos, y se aprieta para evitar demasiados espaciamentos entre cañas. Se verifica que estén bien sujetas y rectas las cañas.

Figura 39. **Pasos básicos para la fabricación de los paneles de 1 y 2 capas**



Fuente: Área de Prefabricados, sección Ecomateriales, FIUSAC.

En la figura 39 se puede observar el procedimiento básico de la fabricación de los paneles 1C y 2C, que presenta la colocación adecuada de las cañas y la sujeción con la pita de amarre agrícola.

3.5.3. Panel tipo “3C”

Este panel es el más complejo y tiene 2 formas de realización, que se muestran a continuación:

3.5.3.1. Método 1

- Se elabora un panel tipo “2C”, de acuerdo con el procedimiento anterior, y se corta otra serie de cañas, ya sea para colocar transversal o longitudinalmente.
- Se toman las cañas y se colocan sobre el panel para iniciar su amarre.
- Se sujetan con el amarre tipo espiral. Este procedimiento es más complicado debido a que ya existen 2 capas de cañas previas, por lo cual, el dar el espiral con la pita de amarre, resulta incómodo en ocasiones, por tanto se recomienda utilizar una herramienta como aguja, que tenga la fuerza para abrirse paso entre las cañas, cuidando que no se desarmen las capas anteriores.
- Se sujetan las cañas, se aprietan, evitando espaciamentos.

3.5.3.2. Método 2

- Se elabora una tira de cañas, en forma de membrana, colocándolas sobre una superficie plana, entrelazando estas cañas. Para mayor facilidad, se hace de preferencia la membrana con las cañas de forma longitudinal (utilizando las cañas de 0,50 centímetros).
- Se arma un sistema con una caña de 1 metro, entrelazando a ella las cañas de 0,50 centímetros, hasta llenar la misma en forma perpendicular.

- Se coloca la membrana de cañas sobre el sistema, y se sujetan dichas cañas, colocando otras en sentido transversal; luego se inicia la sujeción de ambas capas en los extremos.
- Se puede sujetar al centro con pita haciendo un amarre extra, pero se debe tener en consideración la dificultad, por lo tanto el uso de una aguja facilita el trabajo.

Ambos métodos pueden usarse, aunque es más factible usar el método 1, debido que es más sencillo de hacer, inclusive por 2 personas como lo muestra la figura 40.

Figura 40. **Armado de capa adicional en panel**



Fuente: Área de Prefabricados, sección Tecnología Materiales, FIUSAC.

3.6. Elaboración de los paneles de caña de maíz

La elaboración de los paneles de caña de maíz están basados en conceptos de ingeniería, que son aplicados en sistemas de cielo falsos

convencionales. Pasando al plano de los módulos o paneles, se rigieron por los criterios de la cantidad de calor que pueden transmitirse a través de ellos, el peso por seguridad, dimensiones por manejabilidad y diseño estético.

3.6.1. Panel tipo “1C”

Es el tipo de panel más sencillo de elaborar y primero en experimentar. Está compuesto de una sola capa de cañas, lo que lo hace ser el más liviano de los tres, con aproximadamente 1,5 kg de peso.

Dependiendo de su forma de elaboración, la única capa puede estar constituida por 32 a 34 cañas de 0,50 metros, o 14 a 16 cañas de un metro. Estas variaciones de cantidad de cañas dependen del grosor de las mismas.

Las propiedades térmicas como la conducción del calor por convección, pueden ser muy bajas en este tipo de panel, y por lo tanto lo hace el más crítico. Las cañas, por su forma irregular, en ocasiones contribuyen a que el panel no sea uniforme y recto, y presente de por sí espaciamientos que permitan un flujo de calor, por lo cual su trabajo de aislante disminuye considerablemente.

3.6.2. Panel tipo “2C”

Es el panel más recomendable de los tres. Considerablemente es más compleja su fabricación que el panel “1C”; es más sencillo de elaborar que el “3C”. Sus dos capas lo hacen un poco más pesado que el tipo “1C”, llegando a pesar entre 2,5 a 2,9 kilogramos.

El armado es un poco más complejo, pero con 2 personas laborando puede hacerse con mayor facilidad. Las condiciones térmicas mejoran para este panel, debido a que la segunda capa colocada, incrementa el rendimiento con respecto del tipo "1C", ya que estas capas están entrelazadas, y las cañas longitudinales puestas pueden sellar el espaciamiento que tengan las transversales y viceversa.

Estos problemas se originan por la irregularidad de las mismas cañas, pero estas capas terminan complementando la situación de este espaciamiento, creando un sistema aislante mejor.

3.6.3. Panel tipo "3C"

Es el más complejo de todos en su armado. Su peso ronda los 3,5 kg, y lo hace un panel más difícil de manipular y colocar.

Si bien se considera el mejor aislante por las tres capas entrelazadas de cañas que posee, esto lo vuelve demasiado complejo en las demás características físicas.

3.7. Diseño y elaboración del sistema de cielo falso

Se constituyó como un sistema modular colgante, es decir, compuesto por módulos o paneles que se pueden manipular individualmente, por facilidad de colocación y remoción como se muestra en la figura 41.

Figura 41. **Colocación de panel con escalera**



Fuente: Área de Prefabricados, sección Tecnología de los Materiales, FIUSAC.

Se dividió el sistema en las 8 franjas transversales entre costaneras de la techumbre. Estas franjas están nombradas con los ejes A al H.

Los ejes longitudinales, que van del 1 al 7, se dividen en 3 ejes longitudinales a la izquierda de la oficina (1, 2, 3), uno central (4), y 3 a la derecha de la oficina (5, 6, 7).

Su instalación consistió en colgar los paneles por medio de pita de amarre agrícola, utilizando las costaneras, dejando una distancia de 20 centímetros entre la lámina y la parte superficial superior del panel.

Esto se hizo para dejar un espaciamiento de aire, que servirá como aislante espacial natural.

Figura 42. **Colocación de paneles ejecutado por 2 personas**



Fuente: Área de Prefabricados, sección Tecnología de los Materiales, FIUSAC.

El diseño del sistema mantiene la pendiente del techo (25 %), ya que se ajusta a las medidas estándar sobre colocación de los sistemas de cielo falso, donde se dicta que se puede aislar una techumbre de forma paralela hasta una condición de 60° (ver figura 42).

Figura 43. **Colocación de paneles utilizando un andamio**



Fuente: Área de Prefabricados, sección Tecnología de los Materiales, FIUSAC.

La colocación de los paneles para la elaboración del sistema se produjo de manera gradual para analizar el comportamiento en el ambiente, de modo que se colocaron de la siguiente manera:

Tabla IV. **Actividad realizada durante los meses de investigación y avance de la colocación del sistema de cielo falso por fases**

Mes	Cantidad de paneles	Observación
Agosto	0	Medición lámina
Septiembre	7	Primera medición
Octubre	15	Primera medición
Noviembre	22	Primera medición
Enero	7	Se quitaron para revisión luego de 4 meses.
Febrero	24	Segunda medición
Marzo	36	Segunda medición
Abril	36	Segunda medición
Mayo	44; 50	Primera mitad del mes con 44 paneles, y segunda mitad se completó el sistema; (espacios se rellenaron con paneles de 1,0 X 0,35 metros).
Junio	50	Sistema completo

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.8. Parámetros, períodos de tiempo y sistema a utilizar para medición térmica.

A continuación se describen todos los elementos tomados en cuenta para la medición térmica.

3.8.1. Parámetros

Como base de experimentación, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Temperatura superficial de la lámina.
- Temperatura superficial de paneles.
- Temperatura del ambiente dentro de la oficina.
- Temperatura del ambiente exterior a la oficina.
- Temperatura del espacio existente entre el panel y lámina.
- Temperatura del suelo.
- Humedad relativa (dato teórico INSIVUMEH, se usó 60 % como promedio).
- Peso paneles.
- Dimensiones paneles (largo, ancho, grosor).
- Dimensiones oficina (altura, largo, ancho).
- Características de la oficina (ventanas, puertas, número personas, muebles, aparatos existentes).
- Temperatura de confort (19 °C a 26 °C por ser oficina).

3.8.2. Sistema de medición y períodos de tiempo

Al inicio se experimentó con base en las horas con mayor número de personas, en un período de 10 de la mañana a 2 de la tarde.

Cada medición se realizaba en rangos de 1 hora, con lo cual se tenía un total de 5 mediciones promedio al día. Se tomó un rango de una hora por la cantidad de puntos medidos.

Cada medición no debía pasar de un tiempo de 5 a 10 minutos, dependiendo del número de datos, debido que habría más desviación de datos contabilizados.

Las mediciones para paneles y lámina, fueron realizadas de forma superficial. De esta manera, se medía cada panel de 1,0 X 0,50 metros, y cada franja de lámina entre costaneras.

Las mediciones de la oficina y exteriores, fueron realizadas por medio de termómetros de mercurio convencionales.

3.9. Medición de temperaturas superficiales de paneles del sistema de cielo falso y techo de lámina galvanizada de zinc

Para las mediciones superficiales se utilizó como herramienta un termómetro infrarrojo, con una precisión de 9:1 en distancia (ver figura 45). Esta medición se hizo, colocándose la persona parada bajo el panel, en forma perpendicular al piso, y tomando la medida al punto central del panel o franja de la lámina.

Figura 44. **Colocación de trozos de metal en paneles para medición superficial por transferencia de calor**



Fuente: Área de Prefabricados, sección Tecnología de los Materiales, FIUSAC.

Cada panel fue evaluado con un termómetro infrarrojo al centro de la caña, para tener un promedio de la temperatura superficial; de igual forma entre las franjas de la lámina.

Las variaciones de la toma de medidas con el termómetro dependerían de la altura de cada elemento, como también del error humano al manipular la herramienta.

Las medidas eran dadas en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$), con una variación de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, entre rangos de medición de 15°C a 55°C .

Figura 45. **Termómetro infrarrojo utilizado en mediciones**



Fuente: Área de Prefabricados, sección Tecnología de los Materiales, FIUSAC.

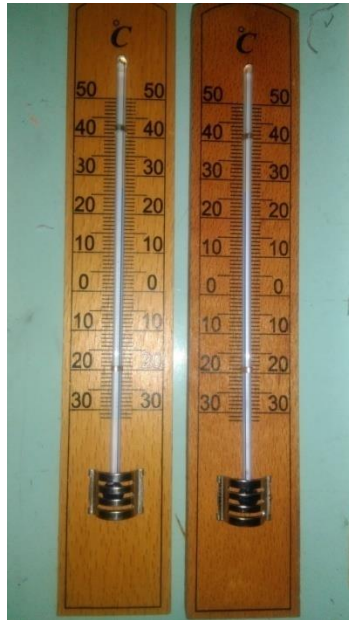
A cada panel le fue colocada una pieza de metal de lámina galvanizada (ver figura 44), para que se pudiera registrar una temperatura de dicha pieza, y determinar cuánto calor por transferencia directa del panel se conducía, manteniendo el criterio de mismo material que el techo (lámina galvanizada).

3.10. Medición de temperatura del ambiente por medio de termómetro de mercurio convencional (bulbo seco) y caja de poliestireno expandido para comparación

La medición primordial del ambiente, se hizo por medio de mediciones de termómetro convencional de mercurio como se muestra en la figura 46. Se tuvieron 4 termómetros ubicados en cada pared del cuarto para tomar un promedio de los puntos críticos, y tener una media base para el estudio.

Para esto también se tomaron en consideración las medidas tomadas por medio de un dispositivo creado para comparación de la temperatura, como una caja hecha con poliestireno expandido (duroport), con una tapa de lámina galvanizada.

Figura 46. **Termómetros convencionales de mercurio**



Fuente: Área de Prefabricados, sección Tecnología de los Materiales, FIUSAC.

Esta caja funcionaba por medio de su material aislante. El objetivo fue absorber la temperatura del ambiente por medio de su tapa de lámina galvanizada (por ser del mismo material que la techumbre), y que este se almacenara dentro de las paredes de la caja, tomándose la medición por medio de un agujero con tapa, ubicado en un lado de dicha caja.

Con este aparato se midió la temperatura promedio dentro de la oficina (mayormente a nivel de piso y altura de 1,70 metros), y la temperatura del ambiente exterior, por medio de la absorción directa de la radiación solar.

Se hicieron 2 de estas cajas: una con medidas de 0,35 X 0,35 X 0,35 metros, y otra con medida de 0,70 X 0,70 X 0,25 metros, usando la más grande dentro de la oficina, para mayor rango de absorción, por haber menor intensidad de temperatura dentro, que fuera de la oficina.

Al final, las temperaturas del ambiente captadas por la caja y por los termómetros de mercurio, se promediaban para tener una sola media de datos, debido a que no había variación mayor a 0,40 °C.

3.11. Resultados

Se presentan los resultados de la evaluación del sistema de cielo falso. Las mediciones fueron de manera superficial en cada panel, franja de lámina y en trozos de metal ubicados al centro de cada módulo. De igual manera los resultados de las temperaturas del entorno de la oficina, por medio de las cajas de poliestireno expandidas y los termómetros de mercurio convencionales.

Las mediciones se lograron conforme la ejecución del armado del sistema. Este se fue haciendo por etapas:

- Fase 1: medición preliminar de lámina (primera mitad de agosto 2014).
- Fase 2: medición de los 3 tipos de paneles para determinar la mejor opción (segunda mitad de agosto 2014).
- Fase 3: primera medición del sistema definitivo de cielo falso (septiembre 2014 a noviembre 2014).
- Fase 4: segunda medición del sistema definitivo de cielo falso (enero 2015 a junio 2015).

3.11.1. Fase 1

A continuación se describen los pasos efectuados durante esta fase.

3.11.1.1. Características paneles

Se armaron los primeros paneles, teniendo como base de 1, 2 y 3 capas de cañas, donde se presentan sus dimensiones a continuación:

Tabla V. **Dimensiones y peso de los tipos de paneles sometidos a evaluación térmica**

Tipo panel	Dimensiones	Altura	Peso
	(cm)	(cm)	Kg
1 capa	50 X 100	1 a 2,5	1,6
2 capas	50 X 100	3 a 5	2,5
3 capas	50 X 100	5 a 8	2,85

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.11.1.2. Evaluación de franjas de lámina

Se midieron las franjas de lámina, como se muestra en la figura 47, del periodo de tiempo que comprende del 7 al 14 de agosto del 2014, en rangos de horas que comprendían de 10 a.m., hasta las 14 p.m. Se presentan los datos promedio de esos días.

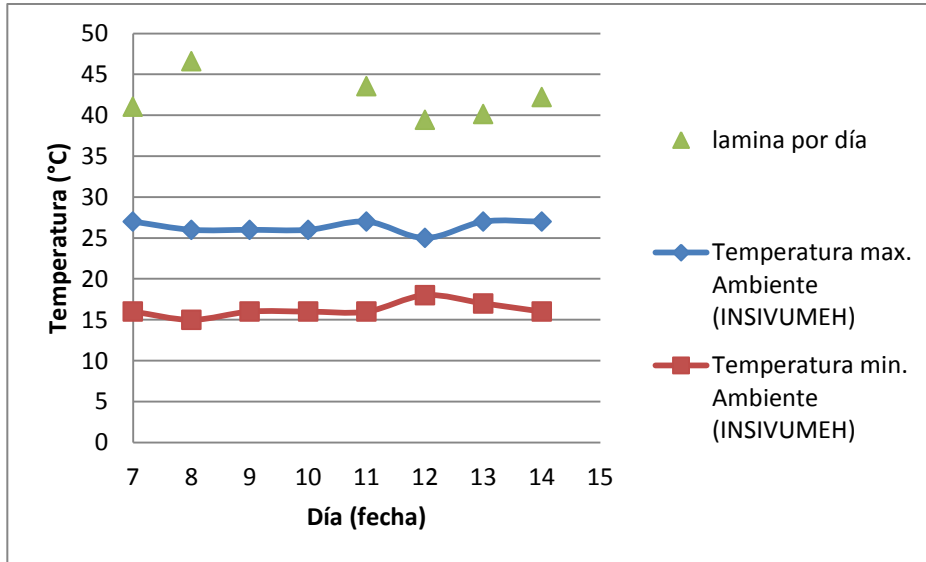
Tabla VI. **Datos promedio de temperatura comprendidos en el periodo del 7 al 14 de agosto 2014, respecto de las franjas y alturas de la cubierta de lámina galvanizada acanalada de zinc**

Descripción	Franja 1	Franja 2	Franja 3	Franja 4	Franja 5	Franja 6	Franja 7	Franja 8
Alturas (m)	3,43	3,63	3,89	3,89	3,64	3,40	3,15	2,94
Temperatura. máx. Promedio (°C)	47,2	47,6	47,2	46,4	46,3	45,9	45,1	44,5
Temp. mín. promedio (°C)	35,8	36,7	36,8	36,2	35,4	34,4	33,4	32,9
Temp. media (°C)	41,9	42,3	42,2	42,1	41,7	41,2	40,5	40,1

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Se presenta en la figura 47 la gráfica temperatura - altura – franja, del periodo de tiempo estudiado. La temperatura se ve del lado izquierdo de la gráfica, la altura del lado derecho, y en eje X el número de franjas.

Figura 47. **Gráfica comparativa temperatura promedio versus días de medición del sistema**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.11.1.3. Evaluación temperaturas ambientales dentro oficina

En la tabla VII se muestran las variaciones de temperatura medidas con el termómetro de mercurio convencional y la caja de poliestireno.

Tabla VII. **Comparación de mediciones efectuadas con termómetros convencionales de mercurio, y caja de poliestireno expandido**

Comparación temperaturas		
Termómetro mercurio (°C)	Caja poliestireno (°C)	diferencia (ΔT)
21,8	22	0,2

Continuación de la tabla VII.

23,2	23	0,2
24,8	24,5	0,3
25,0	25,2	0,2
24,7	24,4	0,3
24,2	23,8	0,4

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.11.2. Fase 2: Evaluación tipo de panel

Estas mediciones transcurrieron en la segunda parte de agosto. Se tomó como periodo de tomas del 21 al 28 de agosto del 2014, entre las 10 a.m. hasta las 14 y 15 p.m. Aquí se hace la comparación de los 3 tipos de paneles.

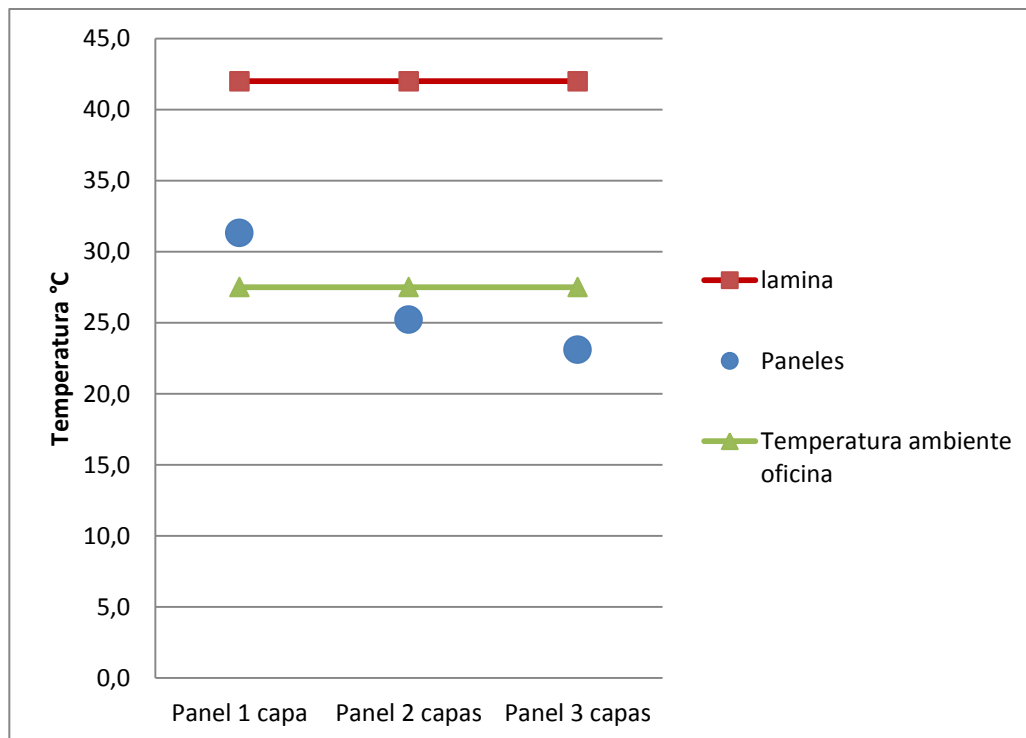
Se presenta la tabla VIII de temperatura promedio superficial de los tipos de paneles estudiados.

Tabla VIII. **Datos de temperatura promedio superficial de los tipos de paneles experimentados**

Tipo panel	Temperatura superficial (°C)	Temperatura lámina (°C)	Ambiente (°C)
Panel 1 capa	31,31	42,0	27,5
Panel 2 capas	25,21	42,0	27,5
Panel 3 capas	23,09	42,0	27,5

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 48. **Gráfica comparativa de los tipos de paneles respecto a su número de capas y su temperatura superficial**



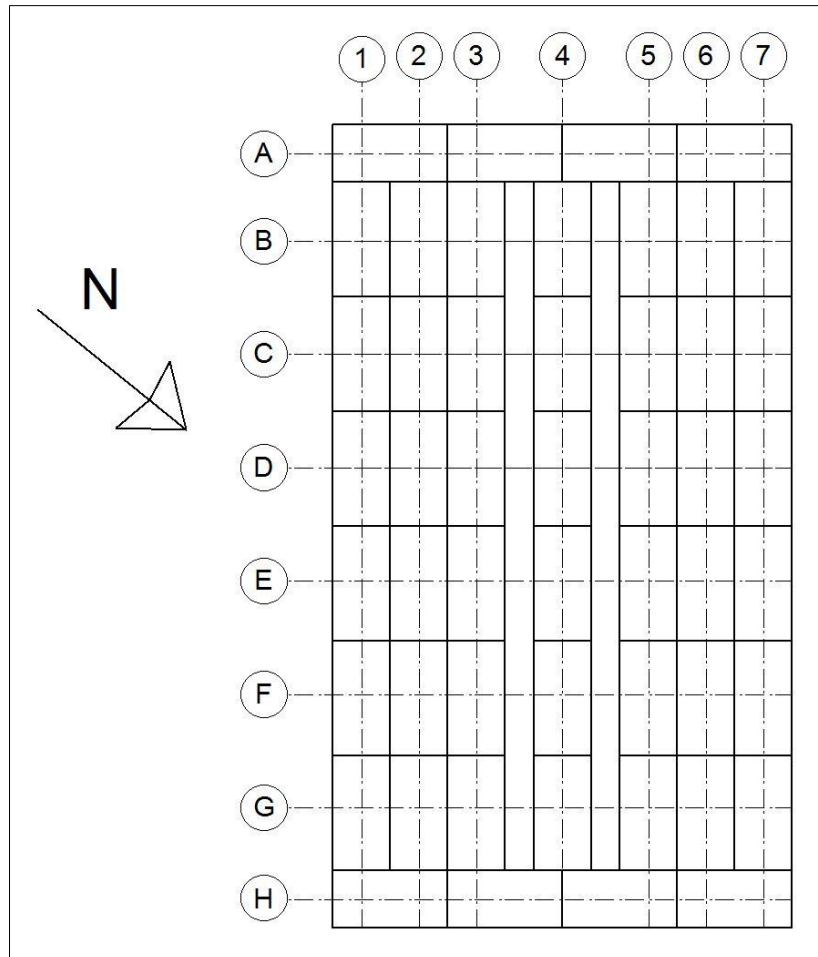
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.11.3. Fase 3

Se evaluaron los paneles ya seleccionados para conformar el sistema. Este se realizó por etapas durante cada mes, con el fin de ver el grado de variación del sistema al momento de agregar cierto número de paneles más al sistema.

Aquí se determinó la distribución de los paneles, por medio de un sistema de ejes, que se presenta a continuación.

Figura 49. **Sistema de ejes del sistema de cielo falso**

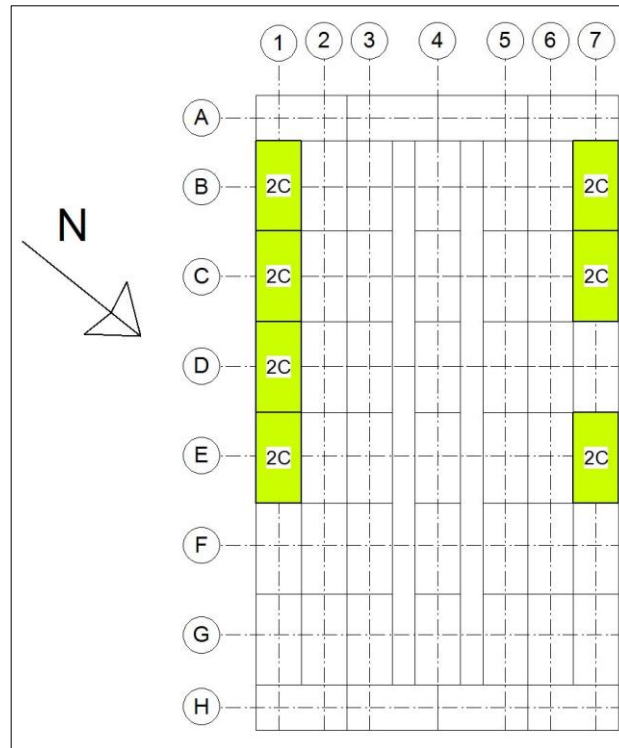


Fuente: elaboración propia, con programa VectorWorks.

3.11.3.1. **Septiembre**

Se colocaron 7 paneles, que fueron medidos del periodo que comprendió del 4 al 25 de septiembre del 2014, con mediciones a cada hora, comprendidas entre las 10 a.m. hasta las 14 o 15 p.m.

Figura 50. **Representación gráfica de la colocación de los paneles en el sistema de cielo falso durante septiembre de 2014**



Fuente: elaboración propia, con programa VectorWorks.

Tabla IX. **Datos de temperaturas promedio respecto a los ejes medidos del sistema de cielo falso durante septiembre de del 2014**

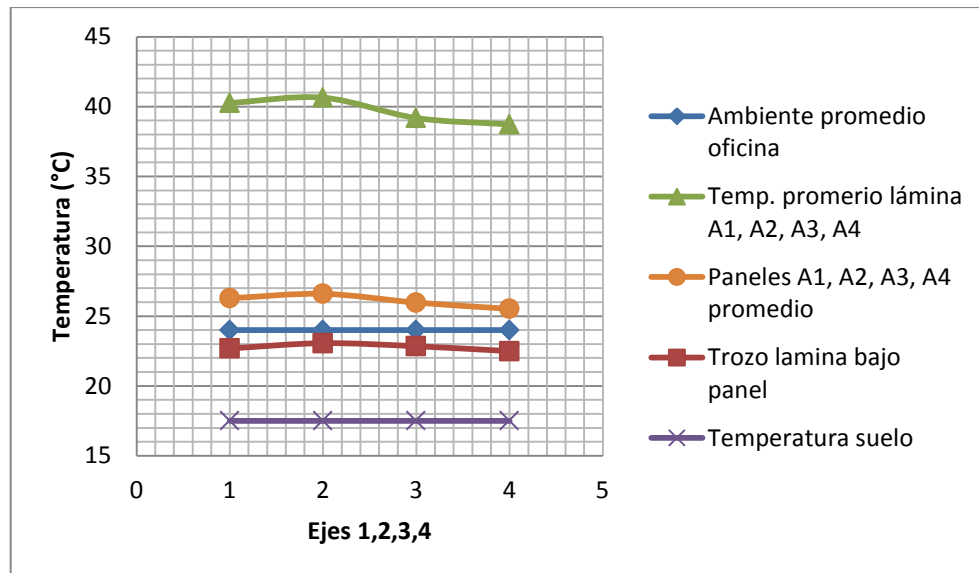
Descripción	EJES			
	B	C	D	E
Temperatura media lámina (°c)	40,3	40,6	39,2	38,7
Temperatura paneles (°c)	26,3	26,6	26,0	25,5

Continuación de la tabla IX.

Trozo lámina bajo panel (°C)	22,7	23,1	22,8	22,5
Temp. Ambiente oficina (°C)	23,9	23,9	23,9	23,9
Temperatura suelo (°C)	17,5	17,5	17,5	17,5

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 51. **Gráfica temperatura promedio versus ejes de medición del sistema de cielo falso durante septiembre del 2014**



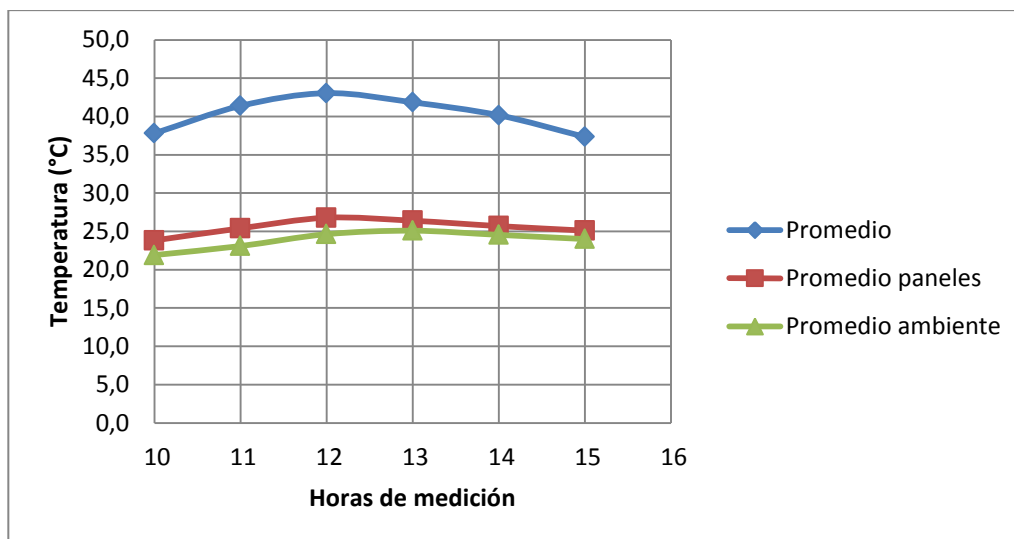
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Tabla X. **Datos de temperaturas promedio respecto de la hora de medición, registradas del sistema de cielo falso durante septiembre de 2014**

		Temperatura °C		
		Promedio lámina	Promedio de paneles	Promedio ambiente
Horas	10	37,8	23,8	21,9
	11	41,4	25,4	23,1
	12	43,0	26,8	24,6
	13	41,8	26,4	25,1
	14	40,2	25,7	24,5
	15	37,3	25,1	24,0

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 52. **Gráfica temperatura promedio versus horas de medición del sistema de cielo falso durante septiembre de 2014**

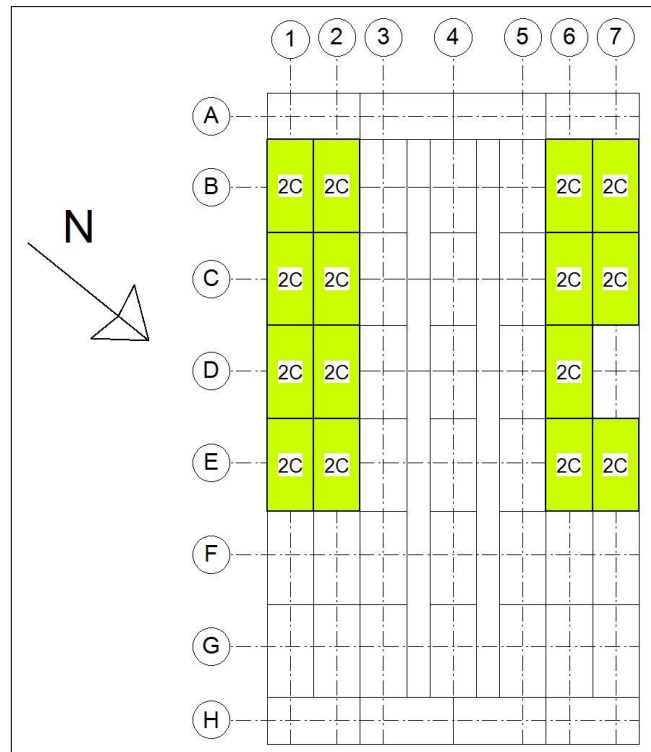


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.11.3.2. Octubre

En esta parte, correspondiente a la fase número 3, se aumentó el número de paneles colocados, a 15 elementos.

Figura 53. **Representación gráfica de la colocación de paneles en el sistema de cielo falso durante octubre de 2014**



Fuente: elaboración propia, con programa VectorWorks.

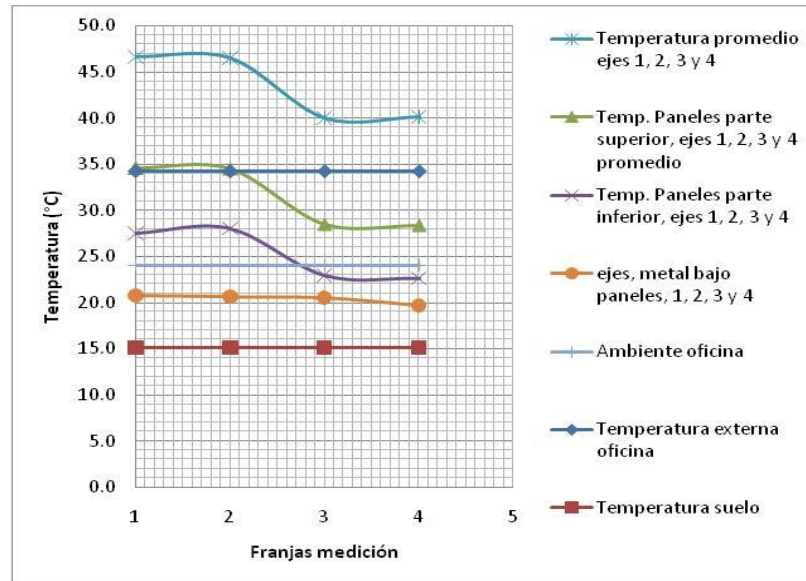
Las mediciones fueron realizadas en el periodo de 10 a.m. a 14 o 15 p.m., tomando una medición cada hora. Se destaca que en este mes de la tercera fase, se procedió a medir la temperatura superficial superior e inferior del panel, para tener un promedio de cuánto calor se trasladaba a través del panel.

Tabla XI. **Datos promedio de temperatura del sistema respecto a los ejes medidos durante octubre 2014**

		EJE B				
		Lámina	Panel superficie superior	Panel superficie inferior	Metal	
TEMPERATURAS (°C)	Máxima	46,6	34,6	27,5	20,8	
	Mínima	38,5	27,2	20,8	18,5	
	Promedio	46,6	34,6	27,5	20,8	
			EJE C			
	Máxima	46,5	34,5	28,0	20,6	
	Mínima	38,4	27,1	20,9	18,7	
	Promedio	46,5	34,5	28,0	20,6	
			EJE D			
			Lámina	panel superficie superior	Panel superficie inferior	metal
	Máxima	40,0	28,5	22,9	20,5	
	Mínima	35,2	24,2	18,9	18,5	
	Promedio	40,0	28,5	22,9	20,5	
			EJE E			
			Lámina	panel superficie superior	Panel superficie inferior	metal
	Máxima	40,1	28,4	22,6	19,7	
Mínima	35,4	24,1	18,6	17,8		
Promedio	40,1	28,4	22,6	19,7		
Temperaturadel suelo promedio					15,1	
Temperatura promedio dentro de oficina					24,1	
Temperatura externa a la oficina					34,2	

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 54. **Gráfica temperatura promedio versus ejes medidos del sistema de cielo falso durante el 2014**



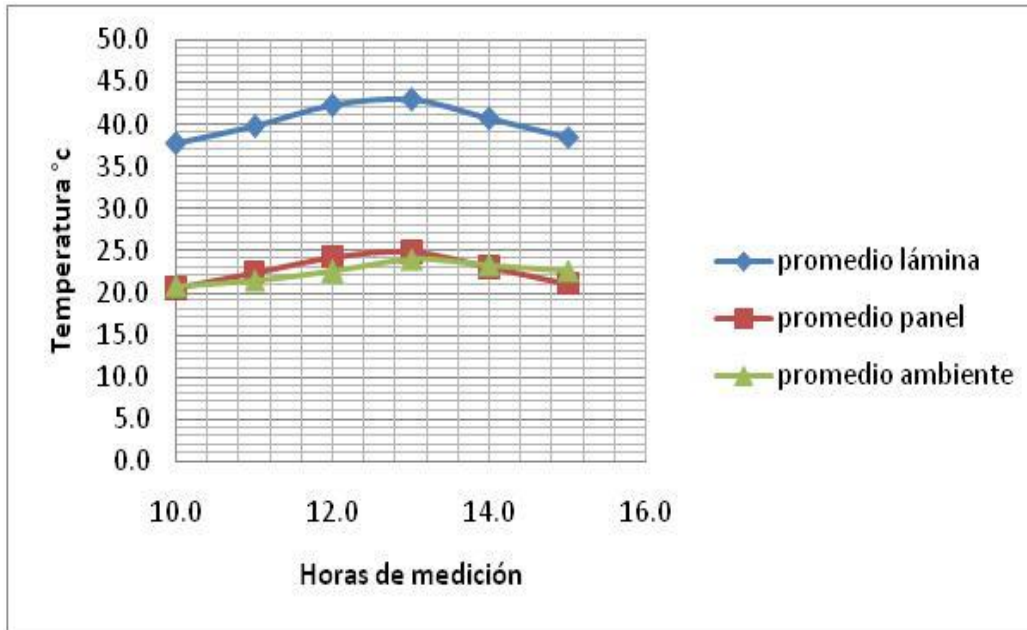
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Tabla XII. **Datos de temperatura promedio respecto de las horas de medición del sistema de cielo falso durante octubre de 2014**

		HORAS DE MEDICIÓN					
		10,0	11	12,0	13	14,0	15
Temperatura (°C)	Promedio lámina	37,7	39,8	42,3	42,9	40,6	38,5
	Promedio panel	20,6	22,4	24,3	24,9	22,9	21,0
	Promedio ambiente	20,9	21,5	22,6	24,0	23,3	22,6

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 55. **Gráfica temperatura promedio versus hora de medición del sistema de cielo falso durante octubre de 2014**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Tabla XIII. **Resultados de las propiedades térmicas de los paneles del sistema de cielo falso en octubre**

	°C	K
Temperatura de lámina promedio (°C)	40,1	313,3
Temperatura superficie superior panel (°C)	31,5	304,7

Continuación de la tabla XIII.

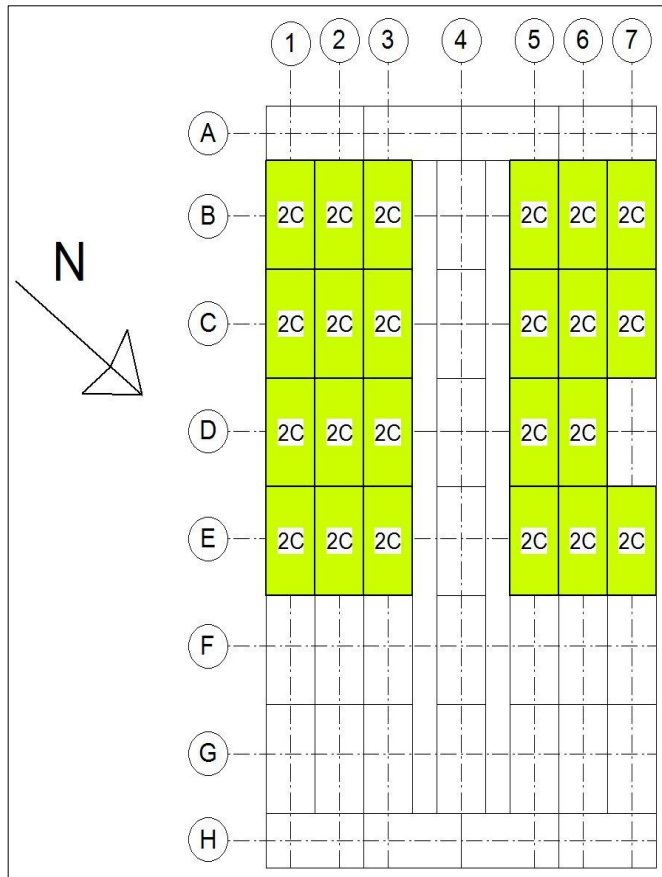
Temperatura superficie inferior panel (°C)	25,3	298,5
ΔT panel (°C)	6,2	279,4
σ	0,69	
Coefficiente de conductividad térmica λ de la caña (W/(m·K))	0,05	
Espesor (e) promedio del panel (m)	0,05	
Resistencia térmica R (m ² *K/W) (λ/e)	1,0	
Conductancia térmica R ⁻¹ (W/m ² *K)	1,0	

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.11.3.3. Noviembre

Se colocaron 23 paneles (ver figura 56), que fueron medidos del periodo comprendido del 4 al 25 de septiembre del 2014, con mediciones cada hora, entre las 10 a.m. hasta las 14 p.m.

Figura 56. **Representación gráfica de la colocación de paneles en el sistema de cielo falso, noviembre de 2015**



Fuente: elaboración propia, con programa VectorWorks.

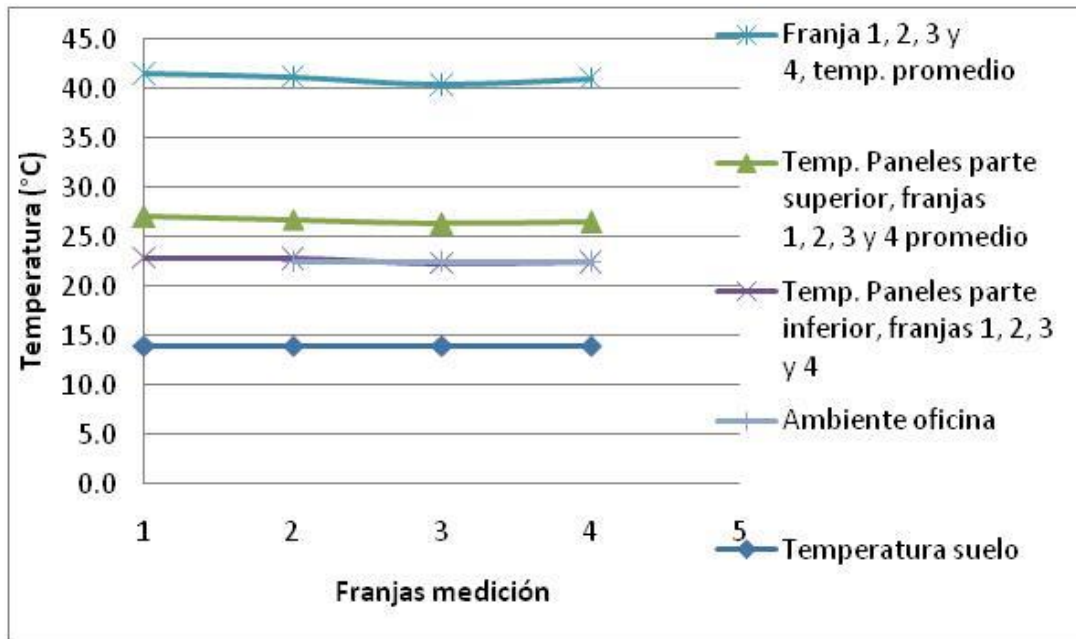
Se procedió a realizar las mediciones y resultados de la misma manera que octubre, incluyendo las temperaturas superficiales superior e inferior como se presenta en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Datos de temperaturas promedio respecto a los ejes medidos del sistema durante noviembre de 2014**

TEMPERATURA °C	EJE B			
	Lámina	Panel superior	Panel inferior	
	Máx.	44,7	30,0	25,6
	Mín.	35,1	21,3	17,5
	Promedio	41,6	27,1	22,9
	EJE C			
	Lámina	Panel superior	Panel inferior	
	Máx.	44,7	29,8	25,4
	Mín.	34,9	21,3	17,7
	Promedio	41,2	26,8	22,8
	EJE D			
	Lámina	Panel superior	Panel inferior	
	Máx.	43,4	28,6	24,9
	Mín.	35,1	21,3	17,6
	Promedio	40,4	26,3	22,3
	EJE E			
	Lámina	Panel superior	Panel inferior	
	Máx.	44,2	29,2	25,0
	Mín.	34,9	21,3	17,5
Promedio	41,1	26,5	22,4	
	Temperatura suelo promedio	14,2		
	Temperatura promedio dentro de oficina	22,5		
	Temperatura externa a la oficina	31,6		

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 57. **Gráfica temperatura promedio versus ejes medidos del sistema noviembre de 2015**



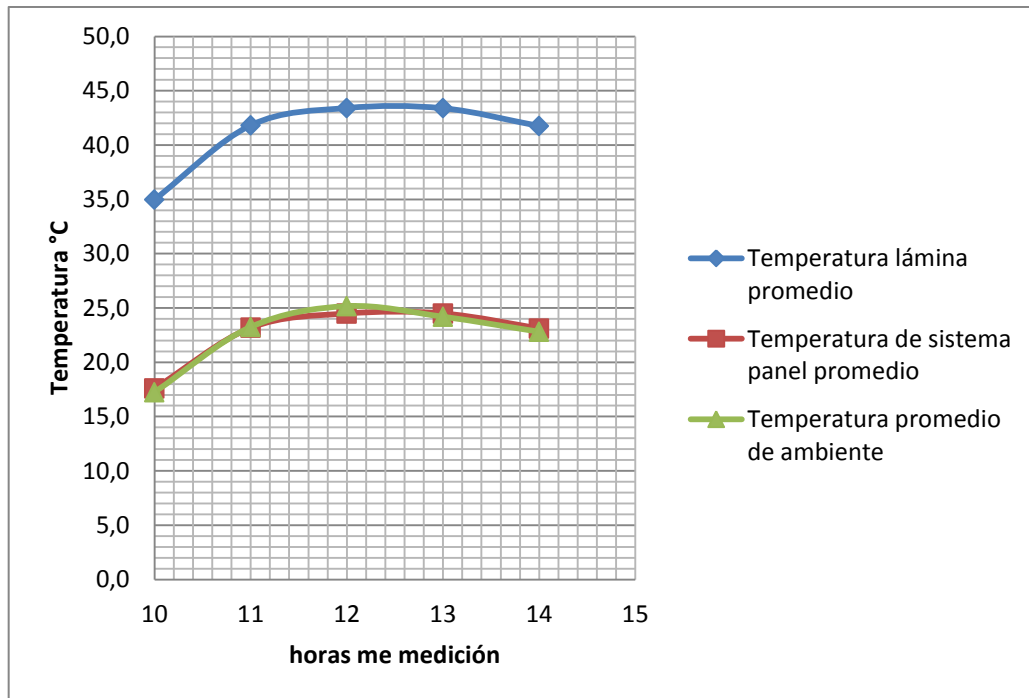
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Tabla XV. **Datos de temperatura promedio respecto a las horas de medición durante noviembre de 2014**

		HORAS DE MEDICIÓN				
		10	11	12	13	14
T (°C)	Promedio lámina	35,0	41,8	43,4	43,4	41,8
	Promedio panel	17,6	23,2	24,5	24,5	23,1
	Promedio ambiente	17,3	23,3	25,2	24,2	22,8

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 58. **Gráfica temperatura promedio versus horas de medición del sistema, noviembre de 2014**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Tabla XVI. **Resultados de las propiedades térmicas del sistema, noviembre de 2015**

Descripción	°C	K
Temperatura de lámina promedio (°C)	41,1	314,3
Temperatura superficie superior panel (°C)	26,7	299,9

Continuación de la tabla XVI.

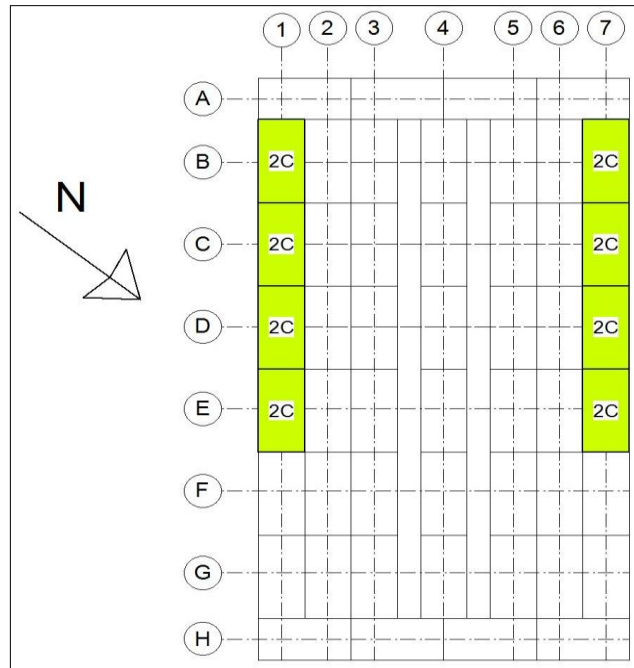
Temperatura superficie inferior panel (°C)	22,6	295,8
ΔT panel (°C)	4,1	277,3
σ	0,13	
Coeficiente de conductividad térmica λ de la caña (W/(m·K))	0,05	
Espesor (e) promedio del panel (m)	0,05	
Resistencia térmica R (m ² *K/W) (λ/e)	1,0	
Conductancia térmica R ⁻¹ (W/m ² *K)	1,0	

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.11.4. Fase 4

En esta fase se tomaron mediciones partiendo desde enero nuevamente con solo 8 paneles, para ir incrementando el número de paneles respecto del tiempo como lo muestra la figura 59.

Figura 59. **Representación gráfica de la colocación de paneles en el sistema de cielo falso durante enero de 2015**



Fuente: elaboración propia, con programa VectorWorks.

En la tabla XVII se presentan los valores de temperaturas medias del sistema en funcionamiento, y su relación en el ambiente.

Tabla XVII. **Datos de temperatura promedio respecto a los ejes medidos del sistema durante enero de 2015**

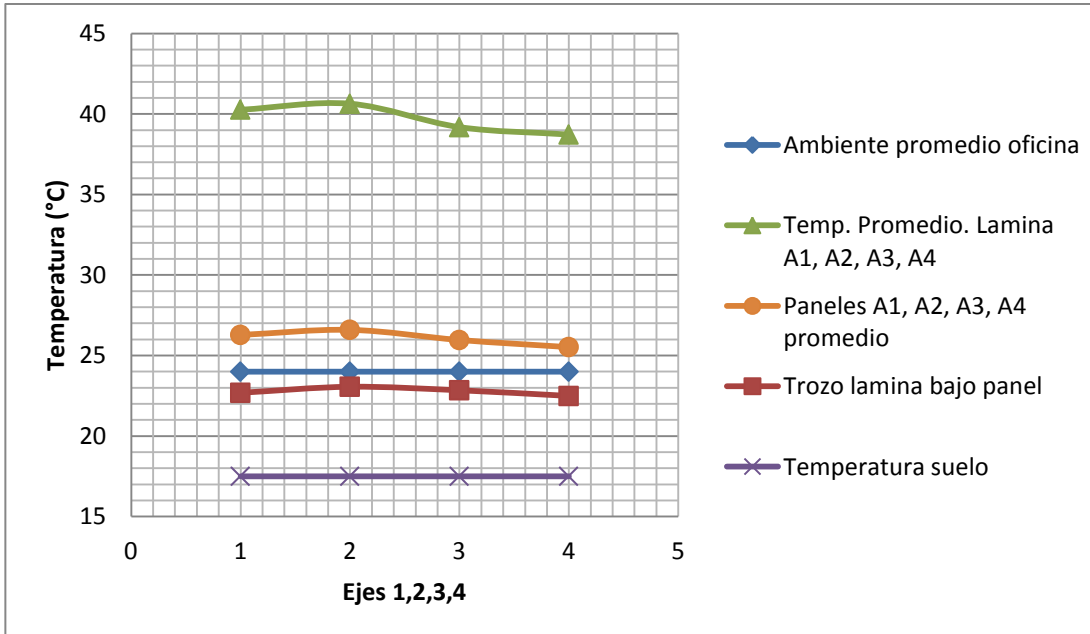
Descripción	EJES			
	1	2	3	4
Temperatura media lámina (°C)	41,5	42,9	39,3	38,1

Continuación de la tabla XVII.

Temperatura paneles eje 1, 2, 3, 4 (°C)	28,3	29,2	27,4	26,5
Trozo lámina bajo panel (°C)	25,4	26,1	25,1	23,8
Temperatura ambiente oficina (°C)	25,6	25,6	25,6	25,6
Temperatura suelo (°C)	16,4	16,4	16,4	16,4

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

Figura 60. **Gráfica temperatura promedio versus ejes de medición del sistema de cielo falso durante enero de 2015**



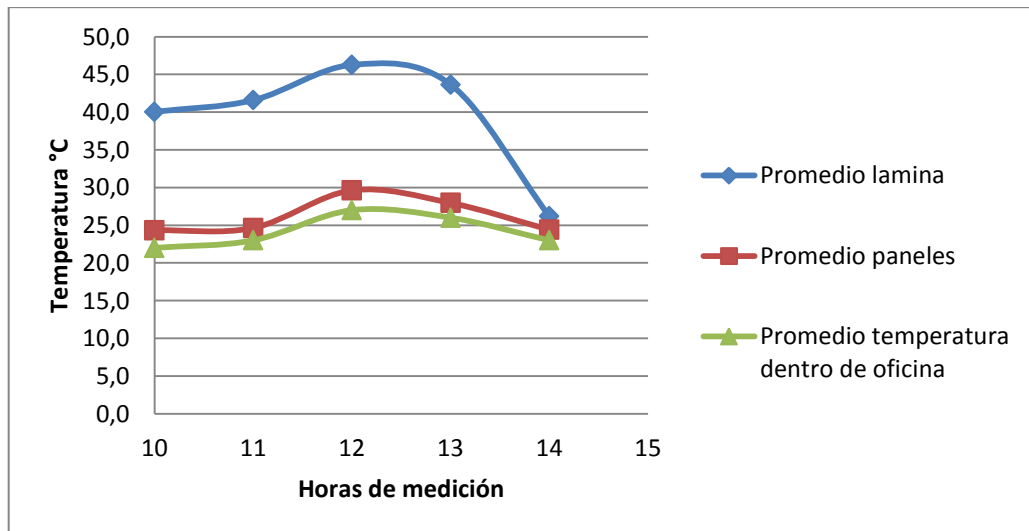
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

Tabla XVIII. **Datos de temperaturas promedio respecto a las horas de medición del sistema durante enero de 2015**

		Temperatura °C		
		Promedio lámina	promedio paneles	Promedio ambiente
Horas	10	40,0	24,3	22,0
	11	41,6	24,6	23,0
	12	46,3	29,6	27,0
	13	43,7	28,0	26,0
	14	26,2	24,4	23,0

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

Figura 61. **Gráfica temperatura promedio versus horas de medición durante enero de 2015**

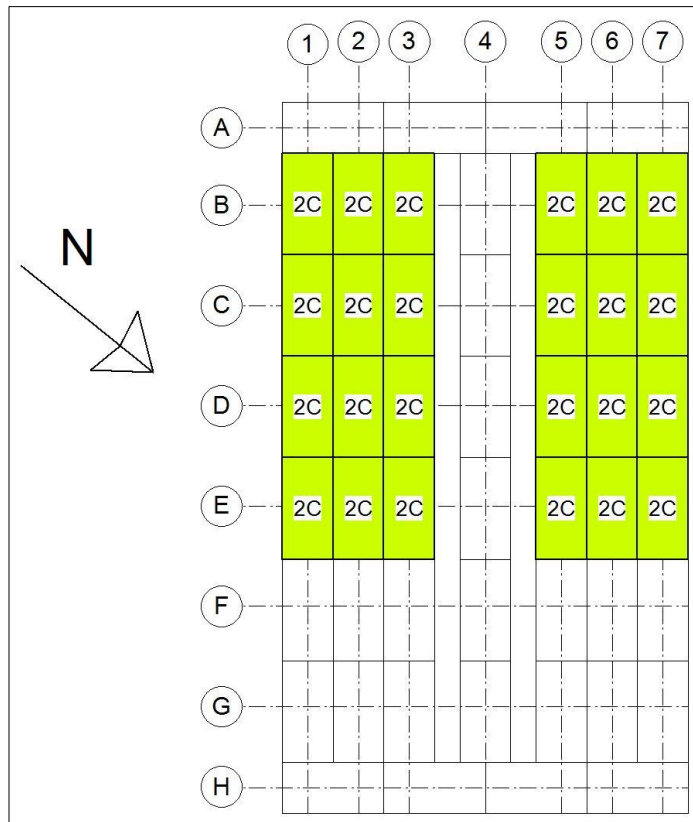


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

3.11.4.1. Febrero

En esta parte correspondiente a la fase número 4, se aumentó el número de paneles colocados, como lo muestra la figura 62, a 24 elementos.

Figura 62. **Representación gráfica de la colocación de paneles en el sistema de cielo falso durante febrero de 2015**



Fuente: elaboración propia, con programa VectorWorks.

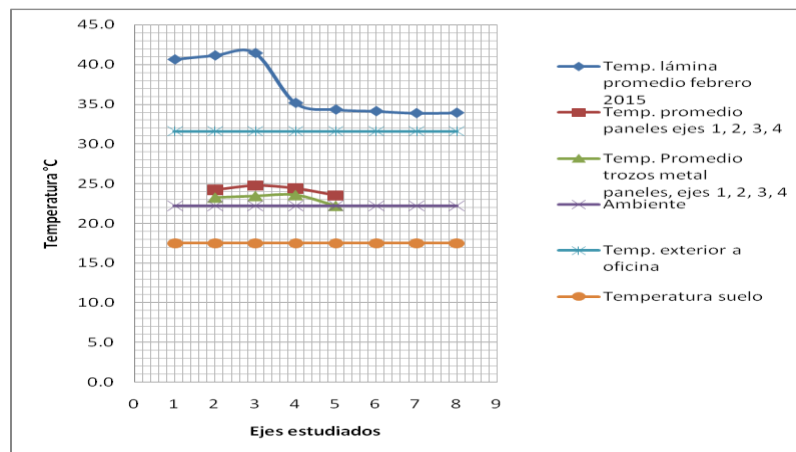
Las mediciones fueron realizadas en el periodo de 10 a.m. a 14 p.m., tomando una medición cada hora, de los cuales se presentan sus resultados.

Tabla XIX. **Datos de temperatura promedio del sistema respecto de los ejes medidos durante febrero de 2015**

Descripción	Temperatura promedio lámina (°C)	Temperatura promedio trozo metal bajo panel (°C)	Temperatura promedio paneles (°C)
EJE 7	40,7	SIN COLOCAR	SIN COLOCAR
EJE 1	41,2	23,3	24,2
EJE 2	41,5	23,5	24,8
EJE 3	35,2	23,6	24,4
EJE 4	34,3	22,2	23,5
EJE 5	34,1	SIN COLOCAR	SIN COLOCAR
EJE 6	33,9	SIN COLOCAR	SIN COLOCAR
EJE 8	33,9	SIN COLOCAR	SIN COLOCAR
TEMPERATURA AMBIENTE			22,2
TEMPERATURA SUELO			17,5
TEMPERATURA EXTERNA			31,6

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 63. **Gráfica temperatura promedio versus ejes medidos del sistema, febrero de 2015**



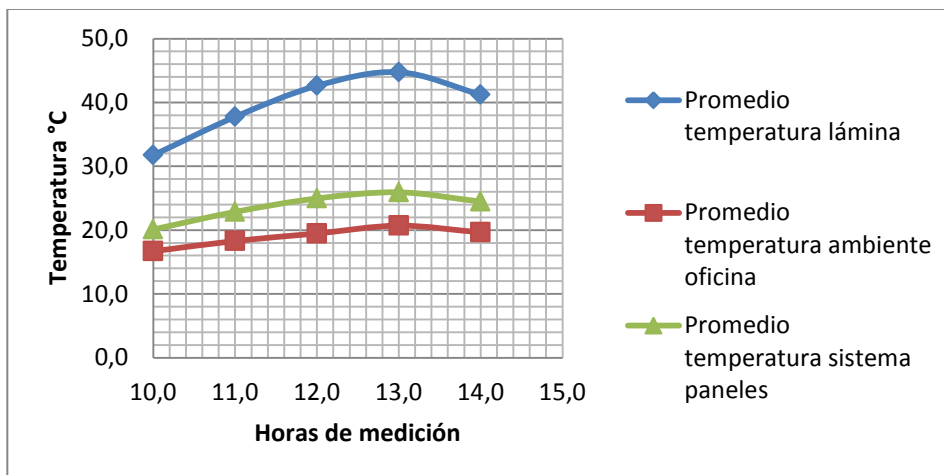
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Tabla XX. **Datos de temperatura promedio respecto de la hora de medición del sistema durante febrero de 2015**

		HORAS DE MEDICIÓN				
		10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
Temperatura °C	Lamina	31,7	37,7	42,6	44,7	41,2
	ambiente	16,7	18,3	19,5	20,7	19,6
	paneles	20,1	22,9	25,0	25,9	24,5

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 64. **Gráfica temperatura promedio versus hora de medición del sistema, febrero de 2015**

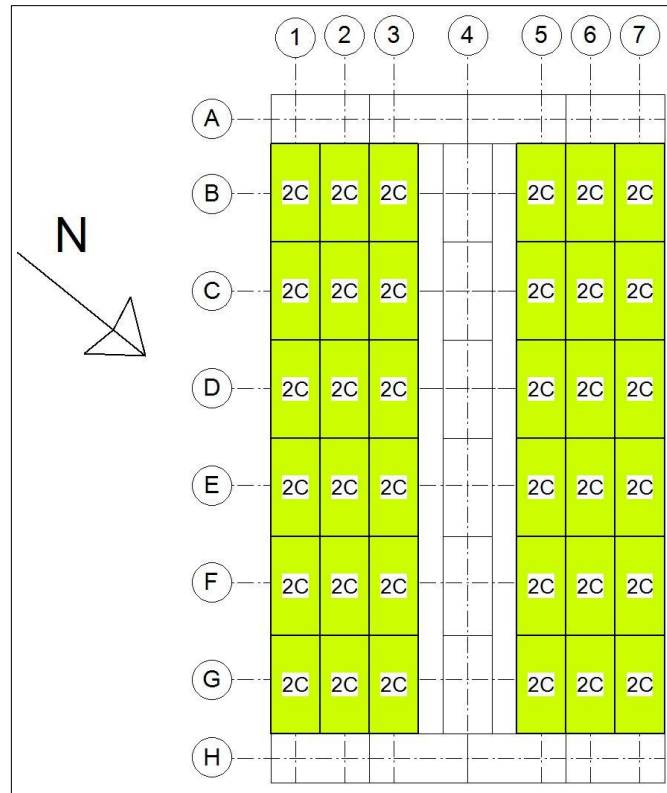


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.11.4.2. Marzo

Para esta etapa de medición se aumentó el número de paneles hasta 36, midiéndose desde las 10 a.m. hasta las 14 p.m., en intervalos de una hora, mostrando los siguientes resultados.

Figura 65. **Representación gráfica de la colocación de paneles en el sistema de cielo falso, marzo de 2015**



Fuente: elaboración propia, con programa VectorWorks.

Tabla XXI. **Datos de temperaturas promedio respecto de los ejes medidos del sistema durante marzo de 2015**

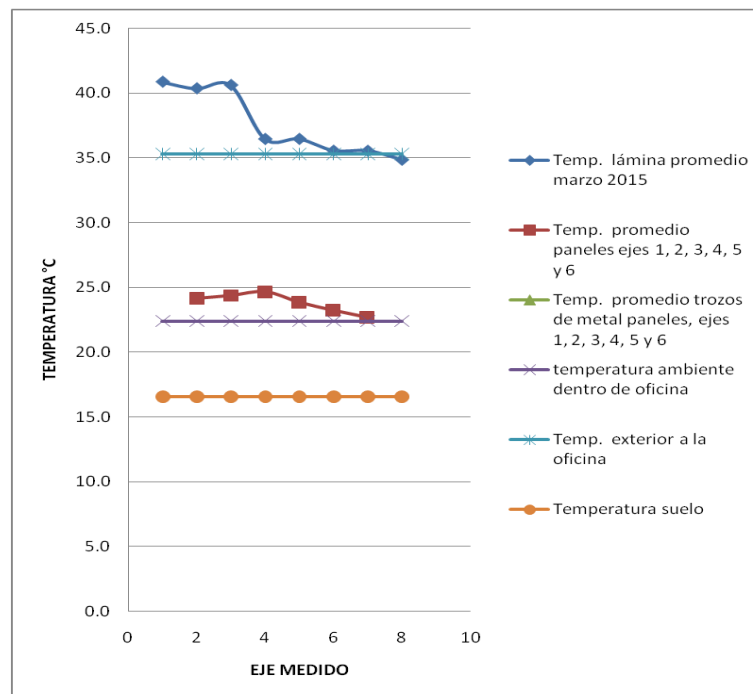
	Temperatura promedio lámina (°C)	Temperatura promedio trozo metal bajo panel (°C)	Temperatura promedio paneles (°C)
EJE 7	40,8	SIN COLOCAR	
EJE 1	40,3	21,8	24,1
EJE 2	40,6	21,9	24,4
EJE 3	36,4	22,0	24,7

Continuación de la tabla XXI.

EJE 4	36,4	21,2	23,8
EJE 5	35,5	21,0	23,2
EJE 6	35,5	20,8	22,7
EJE 8	34,8	SIN COLOCAR	
TEMPERATURA AMBIENTE OFICINA			22,4
TEMPERATURA EXTERNA OFICINA			35,3
TEMPERATURA SUELO			16,6

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 66. **Temperatura promedio versus ejes medidos del sistema durante marzo de 2015**



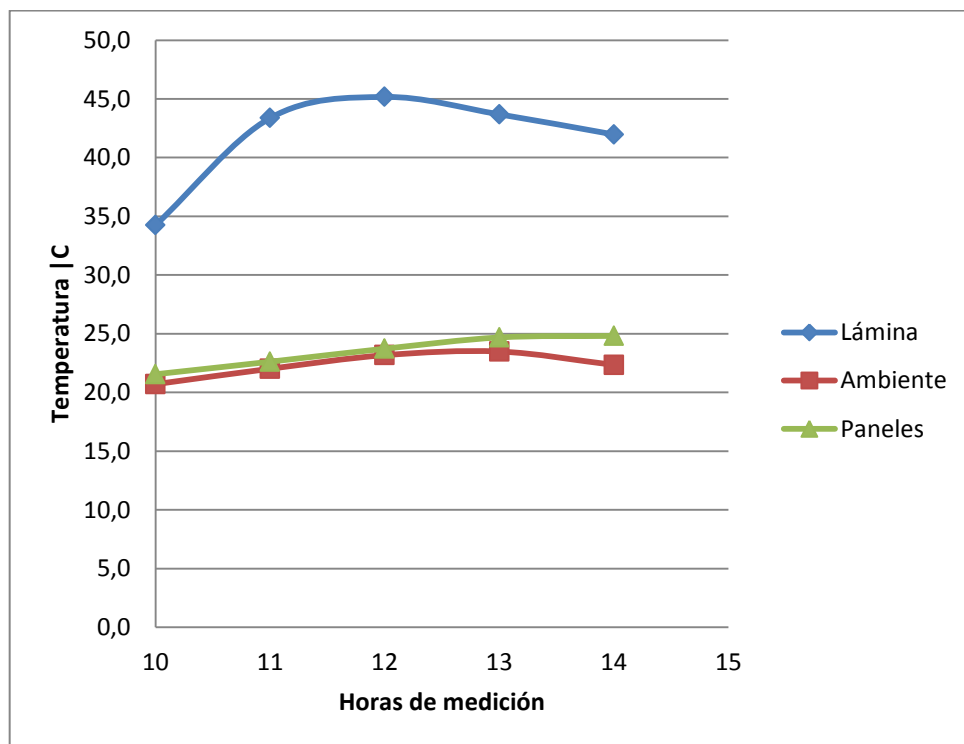
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Tabla XXII. **Datos de temperaturas promedio respecto a la hora de medición, marzo de 2015**

		HORAS DE MEDICIÓN				
		10	11	12	13	14
T °C	lamina	34,3	43,4	45,2	43,7	42,0
	ambiente	20,7	22,0	23,2	23,5	22,3
	paneles	21,5	22,6	23,7	24,7	24,8

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 67. **Gráfica temperatura promedio versus hora de medición del sistema, marzo de 2015**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.11.4.3. Abril

Para el mes de abril se tomaron en cuenta las mediciones de los paneles, y la lámina superficialmente como se presenta en la tabla XXIII.

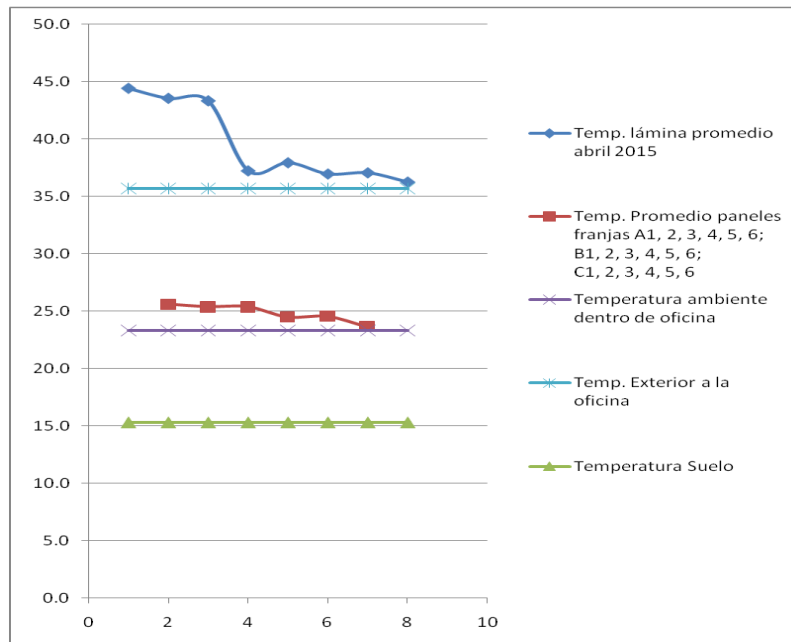
El número de paneles se mantuvo en 36, como el modelo de marzo en la figura 65.

Tabla XXIII. **Datos de temperatura promedio del sistema durante abril de 2015 respecto de los ejes medidos**

	Temperatura promedio de la lámina (°C)	Temperatura promedio de los paneles (°C)
EJE 7	44,4	
EJE 1	43,5	25,6
EJE 2	43,3	25,4
EJE 3	37,2	25,4
EJE 4	37,9	24,5
EJE 5	37,0	24,5
EJE 6	37,1	23,6
EJE 8	36,3	0,0
TEMPERATURA AMBIENTE OFICINA (°C)		15,3
TEMPERATURA EXTERIOR OFICINA (°C)		35,7
TEMPERATURA SUELO (°C)		23,3

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 68. **Gráfica temperatura promedio versus ejes evaluados del sistema, abril de 2015**



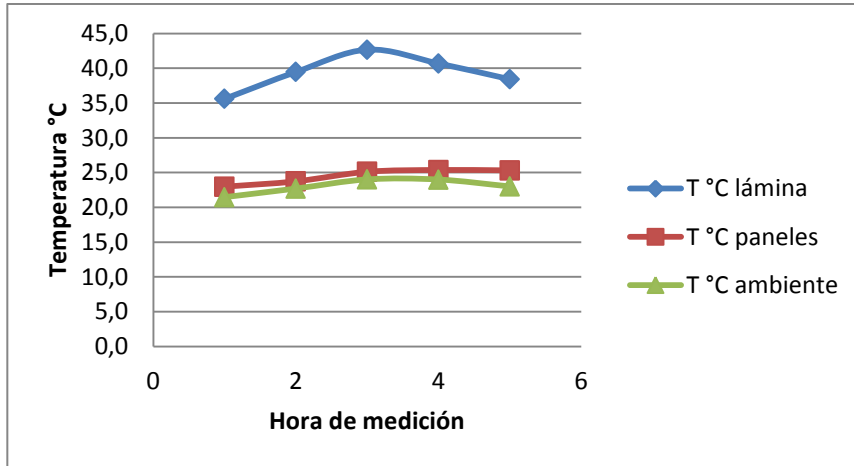
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Tabla XXIV. **Datos de temperatura promedio del sistema respecto de la hora de medición durante abril de 2015**

		HORA DE MEDICIÓN ABRIL				
		10	11	12	13	14
T (°C)	Lámina promedio	35,6	39,5	42,7	40,7	38,4
	Paneles promedio	23,0	23,7	25,1	25,4	25,3
	Ambiente promedio	21,5	22,7	24,0	24,0	23,0

Fuente: elaboración propia, programa Excel 2007.

Figura 69. **Temperatura promedio versus hora de medición del sistema, abril de 2015**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.11.4.4. Mayo

La primera etapa en este mes continuó con la medición de 36 paneles, en un periodo entre las 10 a.m. y las 14 p.m., a una hora cada medición.

Tabla XXV. **Datos de medición promedio de temperaturas correspondientes a los ejes del sistema medidos durante mayo de 2015**

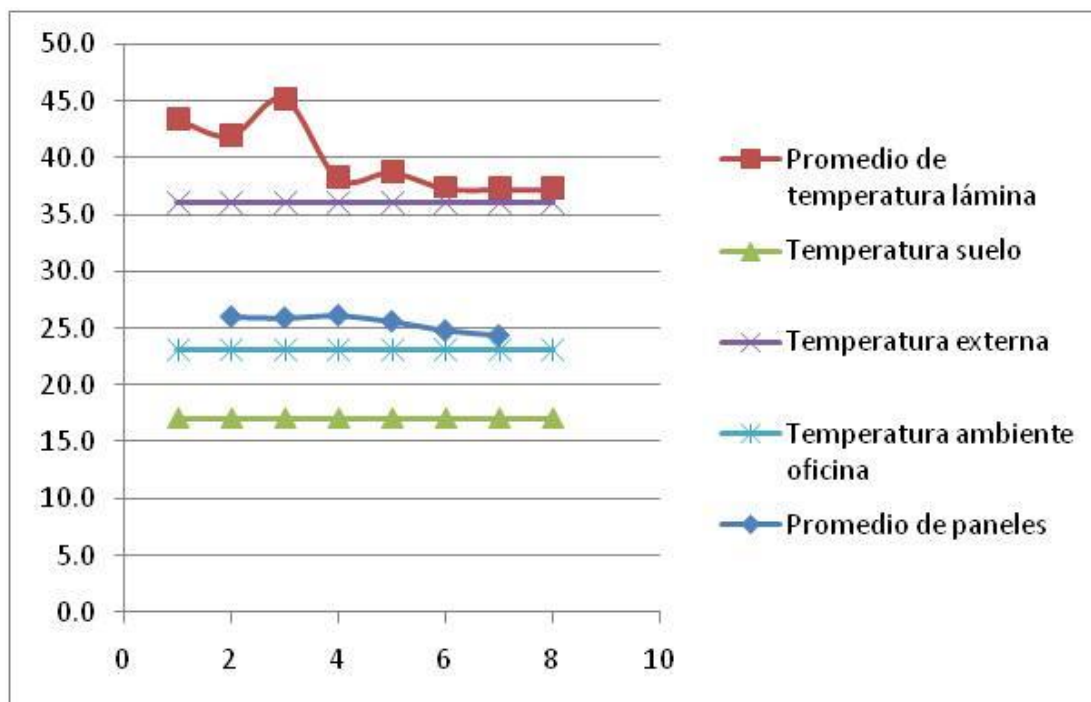
	Temperatura promedio lámina °C	Temperatura promedio paneles °c
EJE 7	43,3	sin colocar
EJE 1	41,9	26,0
EJE 2	45,1	25,9
EJE 3	38,2	26,1
EJE 4	38,7	25,6

Continuación de la tabla XXV.

EJE 5	37,4	24,8
EJE 6	37,3	24,4
EJE 8	37,3	sin colocar
TEMPERATURA SUELO		17,1
TEMPERATURA AMBIENTE OFICINA		23,1
TEMPERATURA EXTERIOR		36,1

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

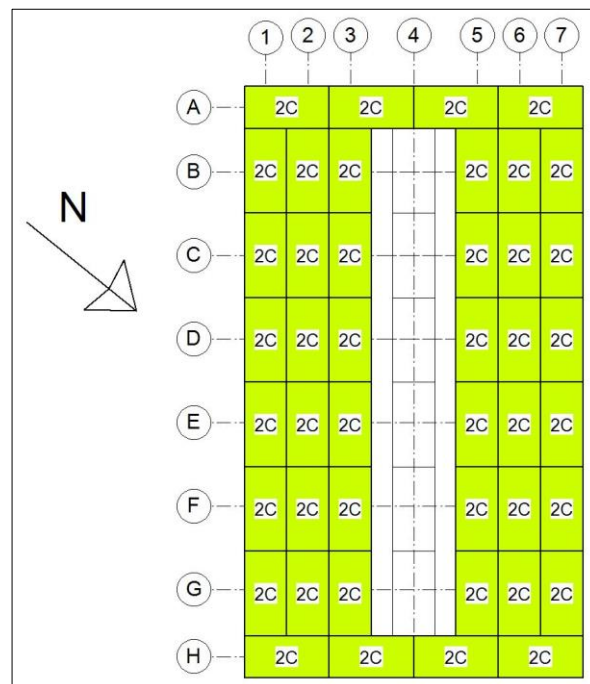
Figura 70. **Gráfica temperatura promedio versus ejes evaluados del sistema, mayo de 2015**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

La segunda etapa del mes, del 12 al 21 de mayo, se colocó un nuevo número de paneles, para llegar a la cantidad de 44 en el sistema.

Figura 71. **Representación gráfica de la colocación de paneles correspondiente a mayo de 2015**



Fuente: elaboración propia, con programa VectorWorks.

Tabla XXVI. **Datos de medición de temperatura promedio respecto a los ejes del sistema durante mayo de 2015**

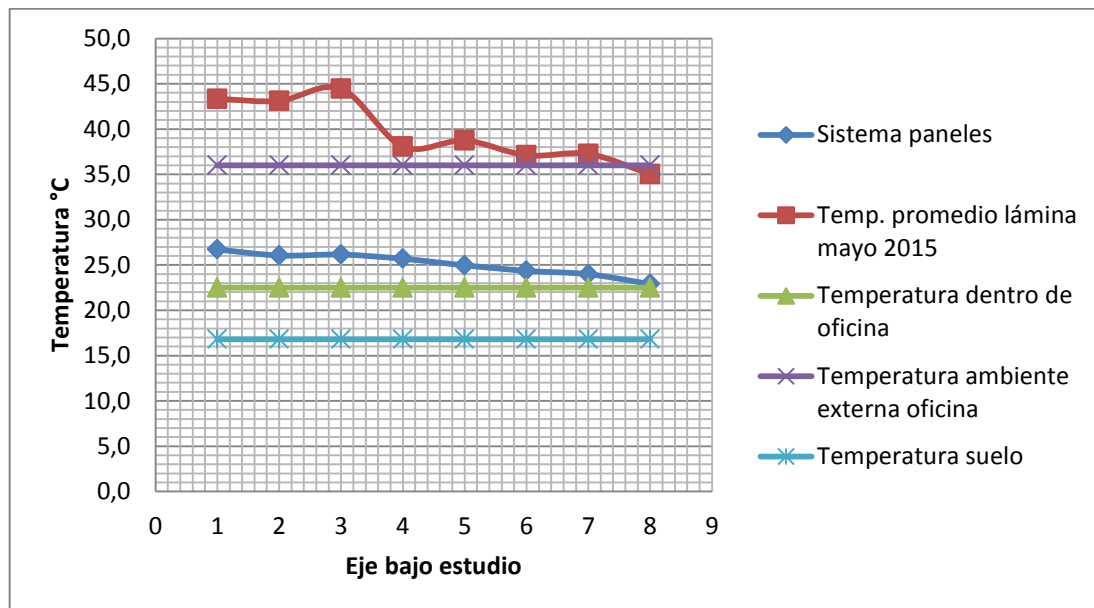
Descripción	Temperatura lámina promedio (°C)	temperatura paneles promedio (°C)	
EJE 7	43,3	26,7	25,3
EJE 1	43,1	26,0	24,6
EJE 2	44,4	26,1	24,7

Continuación de la tabla XXVI.

EJE 3	38,1	25,7	24,3
EJE 4	38,7	25,0	23,6
EJE 5	37,1	24,4	23,0
EJE 6	37,3	24,0	22,6
EJE 8	35,0	22,9	21,5
TEMPERATURA SUELO			16,8
TEMPERATURA AMBIENTE OFICINA			22,5
TEMPERATURA EXTERNA OFICINA			36

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 72. **Gráfica de temperatura promedio versus ejes evaluados de mayo de 2015**



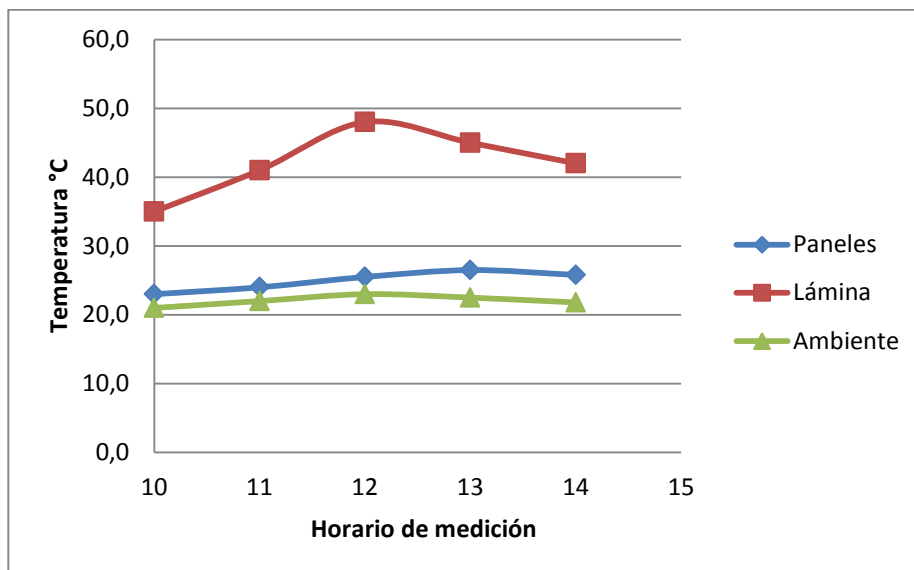
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Tabla XXVII. **Datos de temperatura promedio respecto horas de medición durante mayo de 2015**

		HORA DE MEDICIÓN				
		10	11	12	13	14
Temperatura promedio °C	paneles	22,9	23,6	25,0	26,2	25,9
	lamina	34,7	40,8	48,1	44,7	40,8
	ambiente	21,0	22,0	23,0	23,0	21,4

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 73. **Gráfica de temperatura promedio versus hora de medición de mayo de 2015**

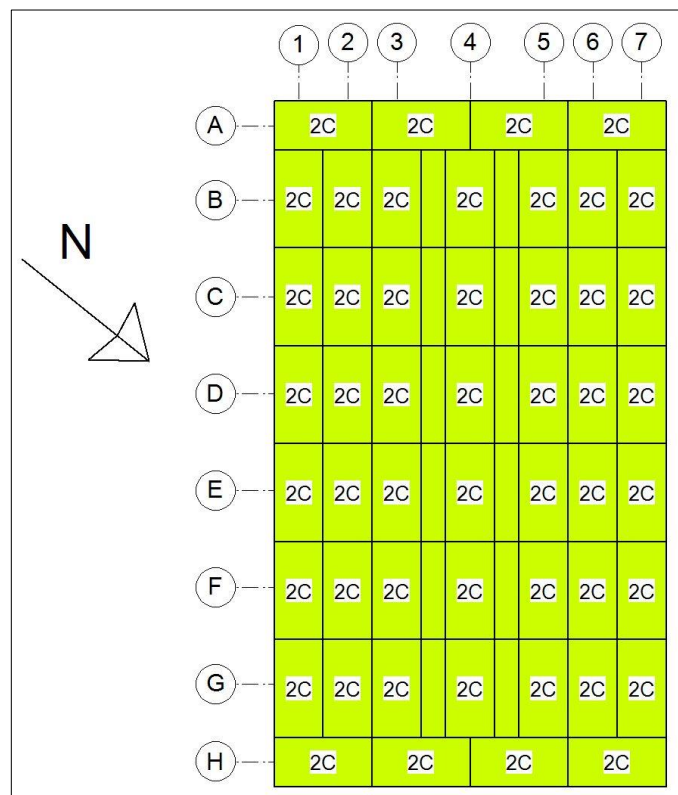


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.11.4.5. Mayo – junio (última etapa de medición)

Para la última etapa se colocaron los últimos paneles para completar el sistema en el cielo falso. Se destaca que se colocaron unos paneles pequeños de 1 X 0,30 metros para completar el sistema y tener un sello más acorde.

Figura 74. **Representación gráfica de la colocación de paneles en el sistema de cielo falso, para el periodo entre 21 de mayo y 11 de junio de 2015**



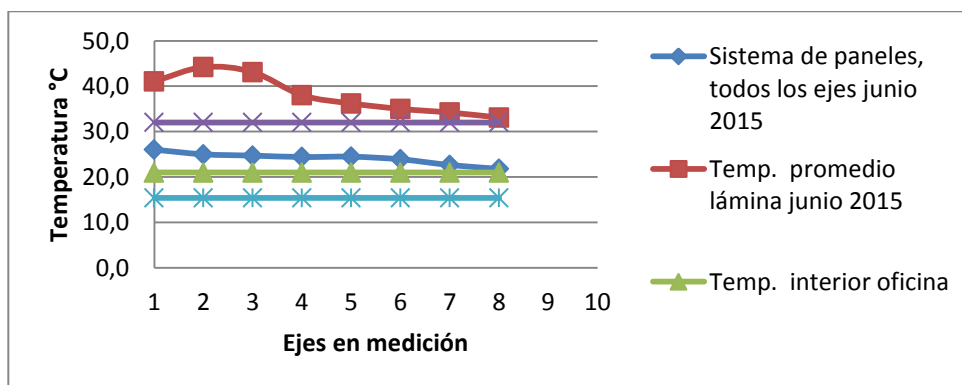
Fuente: elaboración propia, con programa Vector Works.

Tabla XXVIII. **Valores promedio de medición final del sistema correspondiente al periodo entre el 21 de mayo al 11 de junio de 2015**

Descripción	Temperatura promedio lámina (°C)	Temperatura promedio panel (°C)
EJE 7	41,1	26,0
EJE 1	44,2	25,0
EJE 2	43,1	24,7
EJE 3	38,0	24,4
EJE 4	36,2	24,5
EJE 5	35,0	23,9
EJE 6	34,2	22,6
EJE 8	33,1	22,5
TEMPERATURA AMBIENTE OFICINA		21
TEMPERATURA EXTERNA		32
TEMPERATURA SUELO		15,4

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 75. **Gráfica de temperatura promedio versus ejes de cubierta de lámina medidos junio 2015**



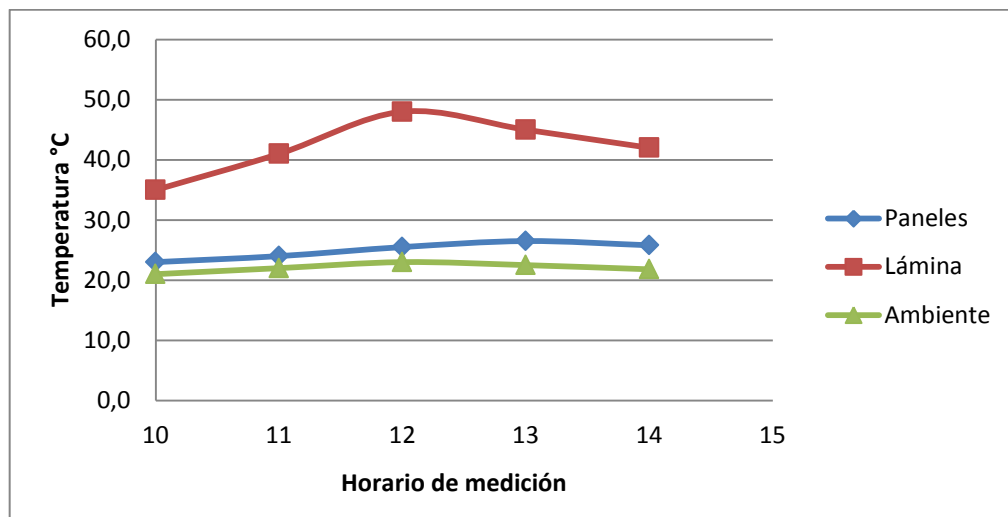
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Tabla XXIX. **Valores de temperatura promedio respecto a la hora de medición durante el periodo del 21 de mayo al 11 de junio**

		HORA DE MEDICIÓN				
		10	11	12	13	14
Temperatura °C	lámina	31,4	37,4	44,0	40,8	36,9
	paneles	22,6	23,4	25,0	25,9	25,4
	ambiente	19,9	21,3	22,0	22,5	22,0

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 76. **Gráfica de temperatura promedio *versus* hora medición junio de 2015**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

En la tabla XXX se presentan los datos resultantes promedio del sistema a lo largo de los meses de estudio, comprendidos entre agosto de 2014 y junio de

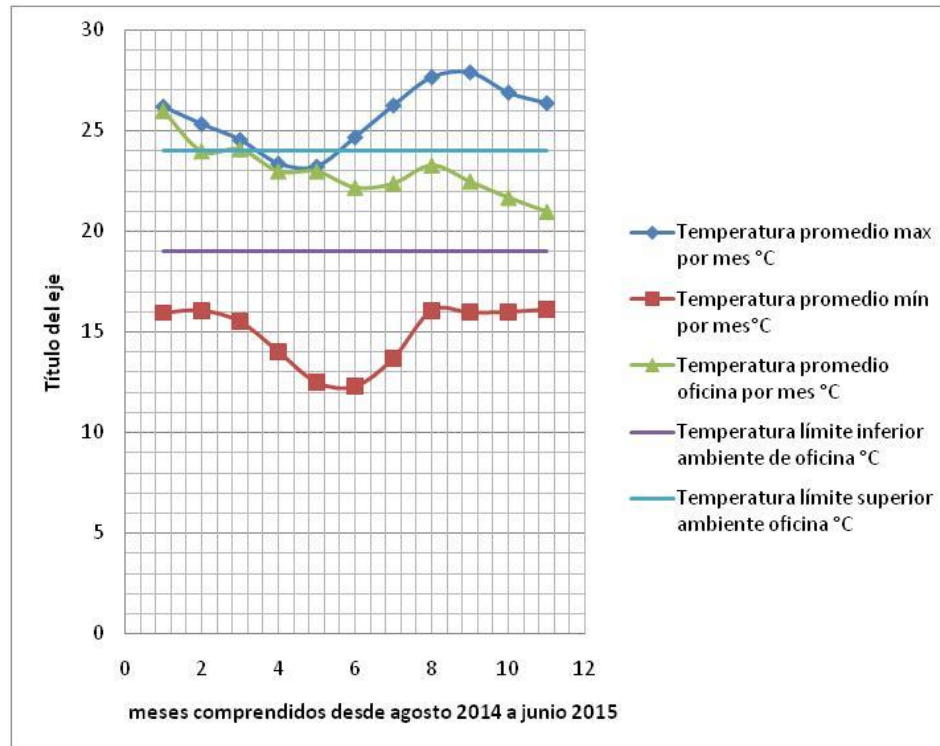
2015, comparándolos con los límites admisibles de temperatura para un ambiente de de trabajo sedentario de oficina.

Tabla XXX. Resultados del comportamiento del sistema durante el periodo de evaluación de agosto de 2014 a junio de 2015

Meses	Temp. promedio máx. por mes °C	Temp. promedio mín. por mes °C	Temp. promedio oficina por mes °C	Temp. límite inferior ambiente de oficina °C	Temp. límite superior ambiente oficina °C
Agosto	26,2	16,0	26	19	24
Septiembre	25,3	16,1	24	19	24
Octubre	24,5	15,5	24,1	19	24
Noviembre	23,4	14,0	23	19	24
Enero	23,2	12,5	23	19	24
Febrero	24,7	12,3	22,2	19	24
Marzo	26,3	13,7	22,4	19	24
Abril	27,7	16,1	23,3	19	24
Mayo (mitad)	27,9	16,0	22,5	19	24
Mayo (sistema completo)	26,9	16,0	21,7	19	24
Junio	26,4	16,1	21	19	24

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Figura 77. **Comportamiento del sistema durante el tiempo de investigación desde agosto de 2014 a junio de 2015**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

3.12. Análisis de resultados

Para las diversas fases experimentales del sistema de cielo falso se pueden comparar las gráficas de temperaturas promedio versus horarios de medición y ejes de medición, verificando la tendencia de la temperatura ambiente y temperatura superficial de lámina y paneles.

3.12.1. Experimentación preliminar

Para el diseño de los paneles, la elaboración se basó en requerimientos básicos como el peso de los mismos, dimensiones y armado. A simple vista, los paneles poseen una apariencia solamente estética.

Los criterios para seleccionar el tipo de panel ideal para el estudio fueron los que tomaban en cuenta las dimensiones estándar, peso, y capacidad aislante.

- Dimensiones: fueron seleccionadas, debido a que eran las más adecuadas para elaborar los paneles con mayor facilidad, como también cubrir mayor área de la techumbre requiriendo menos elementos. Mayores dimensiones dieron como resultado más complicaciones de armado y resultados negativos en su fabricación.
- Peso: está vinculado con el número de cañas usadas y las dimensiones. A mayor cantidad de cañas, mayor es el peso, y mayor el riesgo a la hora de colgarlos. Por eso, en la tabla V se muestra que los paneles de 3 capas son el doble de pesados que los de 1 sola. Elementos muy pesados podrían provocar riesgos si alguno cayera, aumentando la probabilidad de una lesión grave a las personas que estén en el área de trabajo.
- Aislamiento: en esta evaluación, se determinó que a mayor número de capas, mayor será el aislamiento del elemento. Es por eso que las temperaturas registradas superficialmente en paneles de tan solo una capa son mucho mayores que los de 2 y 3 capas, según tabla VII, mostrada gráficamente en la figura 45. Se muestra en dicha figura que

las temperaturas superficiales de los paneles son menores con dos capas o más, que las temperaturas superficiales de una capa, y la temperatura promedio de la oficina. El estudio inicial de la techumbre de lámina estuvo enfocado en las temperaturas superficiales, analizadas por ejes. Según las temperaturas evaluadas en la tabla VI, se muestra que la temperatura promedio mínima alcanza 33 °C, y la máxima los 47 °C. Otros datos a lo largo de la investigación, revelaron que en época más calurosa, se alcanzaron los 55 °C.

Esto refleja que la lámina galvanizada absorbe grandes cantidades de calor, y esta la transmite por convección en todo el ambiente ocupacional. Esto se refleja en la figura 47, donde la gráfica muestra que los periodos máximos de temperatura pronosticada son proporcionales a la temperatura máxima de la lámina, aumentando así la temperatura de la oficina.

También se muestra en dicha figura, que la altura tiene un papel en esta distribución de calor. La figura 47 presenta que en los puntos de mayor altura, y con mayor área debajo de ella, disipan mayormente el calor, que en lugares más bajos o con altura menor y menor área de disipación.

Es por eso que la figura 47 representa que a partir de la cuarta franja de lámina, donde inicia la pendiente con mayor longitud, disipa el calor con más distribución que las franjas 1, 2 y 3. Aun así, se muestra que el sistema se compensa, debido a que los puntos donde la temperatura superficial máxima es mayor, la altura es menor y viceversa, creando un balance superficial en la techumbre.

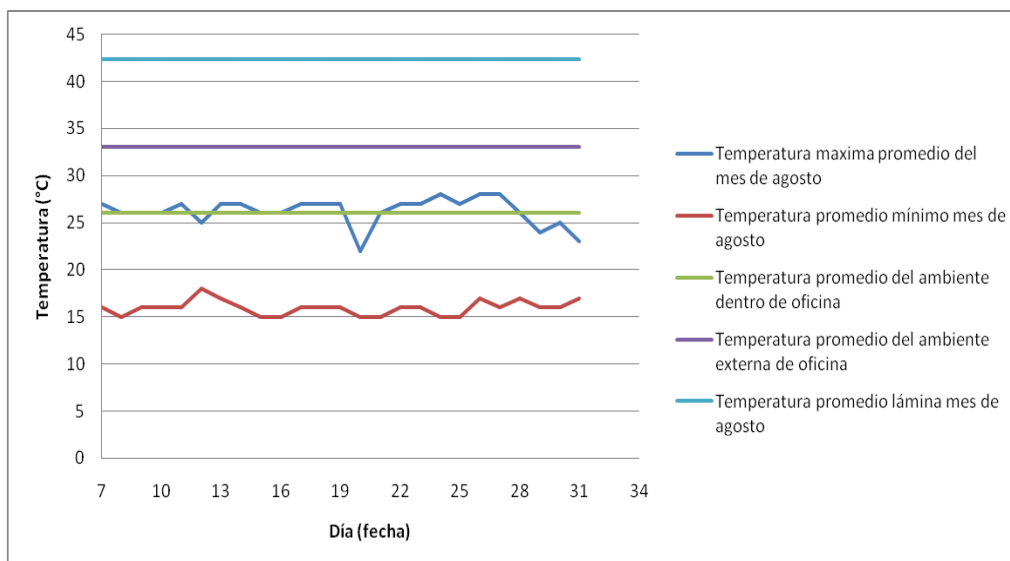
La medición del ambiente se determinó mediante la medición de los termómetros de mercurio convencionales, y las cajas de poliestireno.

Para un mejor análisis, se midieron con ambas, y según la tabla VI; la diferencia de medición entre un método y otro, no sobrepasa los 0,3 °C, por lo tanto, se pueden usar ambos, y determinar un promedio de la temperatura de la oficina.

3.12.2. Sistema de cielo falso

La evaluación del sistema fue variando con respecto a los meses, debido al incremento de colocación de los paneles, para tener una tendencia de cambio de la temperatura ambiental dentro de la oficina.

Figura 78. **Comportamiento general del sistema en agosto de 2014**

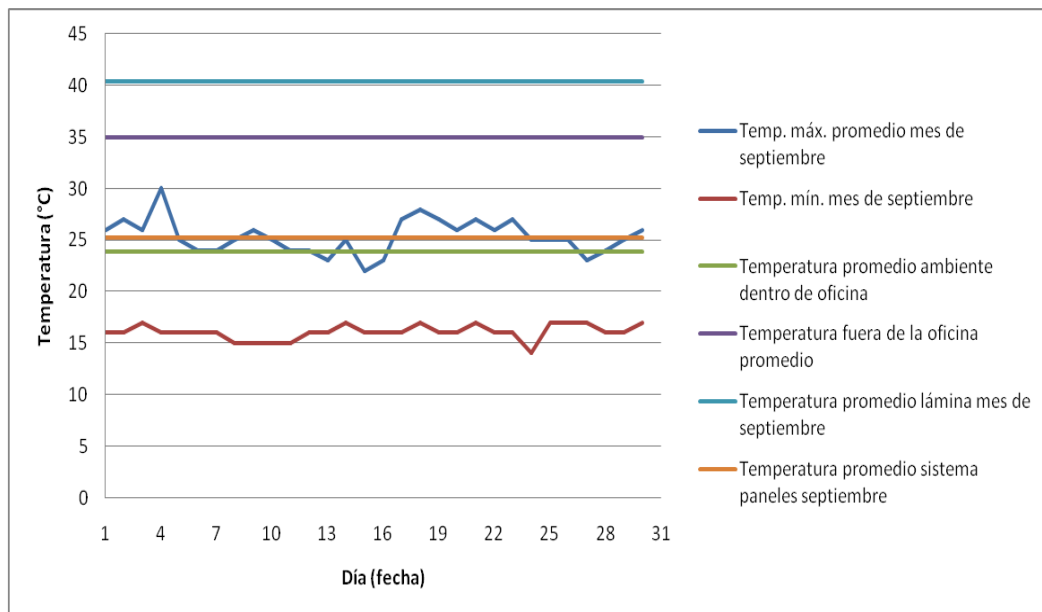


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

En el mes de agosto, donde aún no había colocación de paneles, se puede observar, según la tabla V y gráficamente en la figura 47, que la temperatura ambiental era muy elevada para el entorno, llegando a los límites

permisibles, llegando a ser en unos puntos mayor a la temperatura media pronosticada del día. Esto se confirma en la figura 78, donde se presenta el resumen del mes de agosto.

Figura 79. **Comportamiento general del sistema en septiembre de 2014**

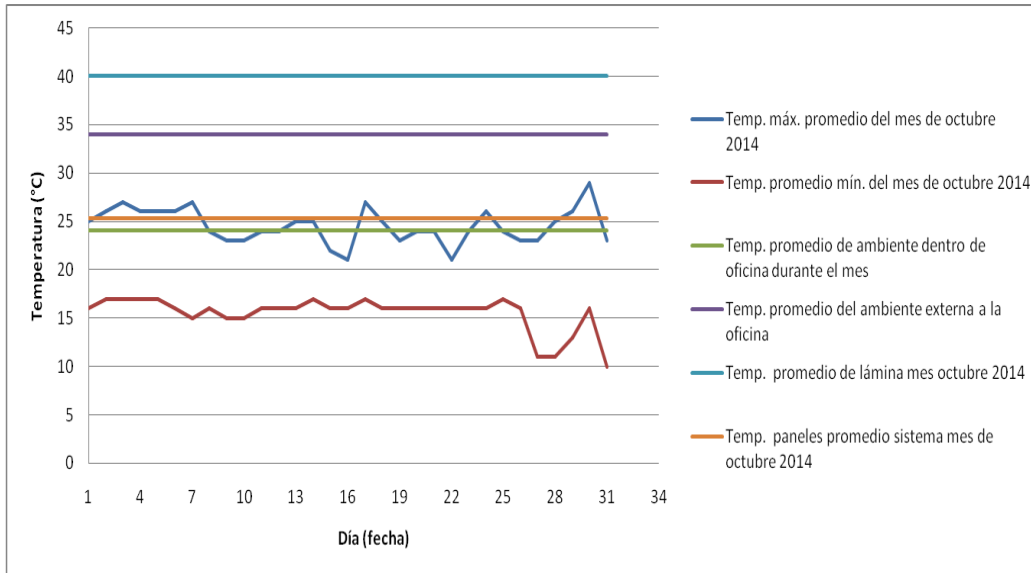


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

En septiembre según los datos de la tabla IX, la temperatura media máxima y mínima del ambiente descendieron, y por lo tanto también la temperatura dentro de la oficina. Pero se observa que la variación entre estas temperaturas es similar a la de agosto, por lo tanto no hay una variación considerable con la nueva colocación.

De igual forma, la figura 79, presenta las temperaturas resumidas de todo septiembre, y se muestra que a pesar de la nueva colocación, aún no se mostraban diferencias fuertes en la temperatura ambiental.

Figura 80. **Comportamiento general del sistema en octubre de 2014**



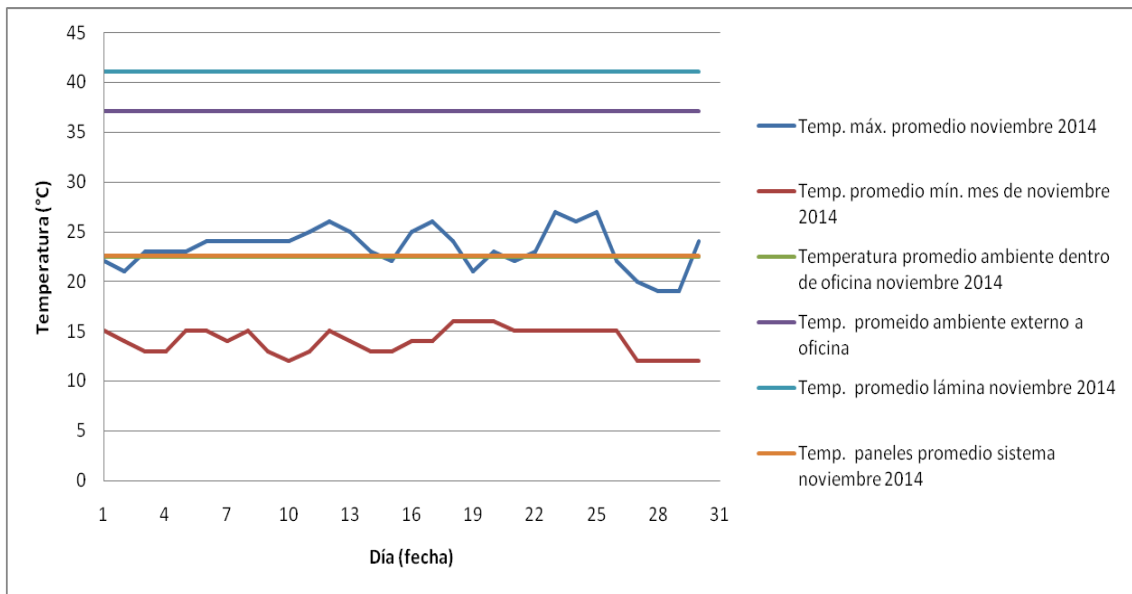
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

En octubre y noviembre se colocaron 15 y 22 paneles respectivamente. Estos meses fueron bastante fríos según los datos de temperaturas máximas y mínimas medias del ambiente. En la figura 54 del mes de octubre y la figura 56 del mes de noviembre, se ve como las temperaturas dentro de la oficina fueron bajando, inclusive más en el mes de noviembre, dado que la temperatura por franja de la lámina disminuyo.

En este punto, se tomaron temperaturas de trozos de metal bajo el panel, para ver la transferencia del calor por conducción del panel con la temperatura que posee, a un trozo del mismo material que la cubierta del techo. A pesar que no hay una gran variación entre estas temperaturas del panel y el trozo de metal, la temperatura de la oficina era mayor en ese lugar.

El resumen de la figura 80 demuestra que las temperaturas del sistema y la oficina siguen en los límites de las temperaturas ambientales promedio.

Figura 81. **Comportamiento general del sistema en noviembre de 2014**

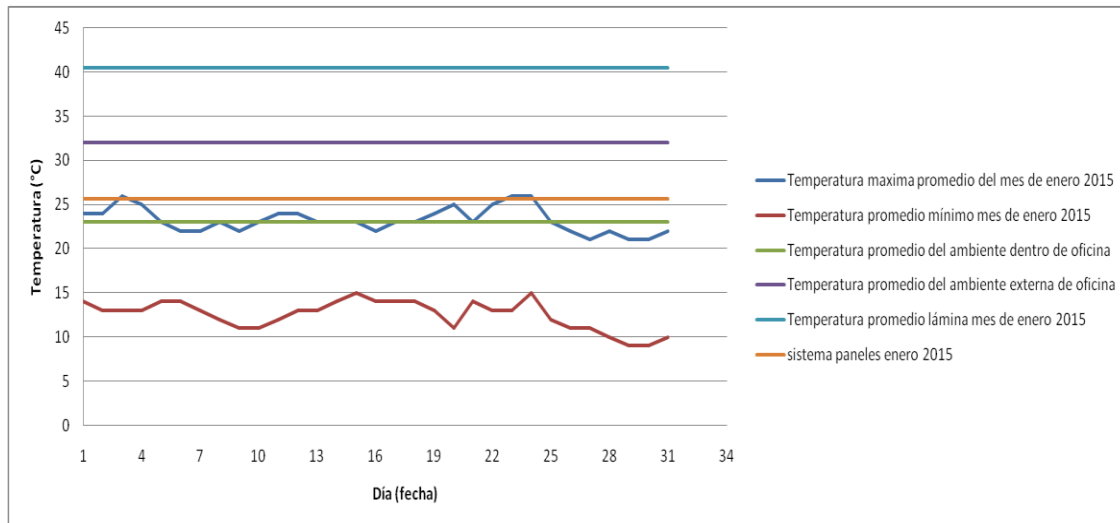


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

En noviembre, a pesar de que las temperaturas ambientales máximas y mínimas descendieron, el sistema tuvo un mayor acople. Se observó un mejor balance en las temperaturas, como lo muestra la figura 56, donde la gráfica presenta una temperatura de los paneles con una de la oficina, en un valor casi neutro. De igual forma, la temperatura de la lámina fue baja, por lo tanto no había tanta dispersión de calor.

En la figura 81 del resumen de los datos, se observa cómo las temperaturas promedio del mes del sistema y la oficina, ya están la mayoría dentro del rango de las temperaturas ambientales.

Figura 82. Comportamiento general del sistema en enero de 2015

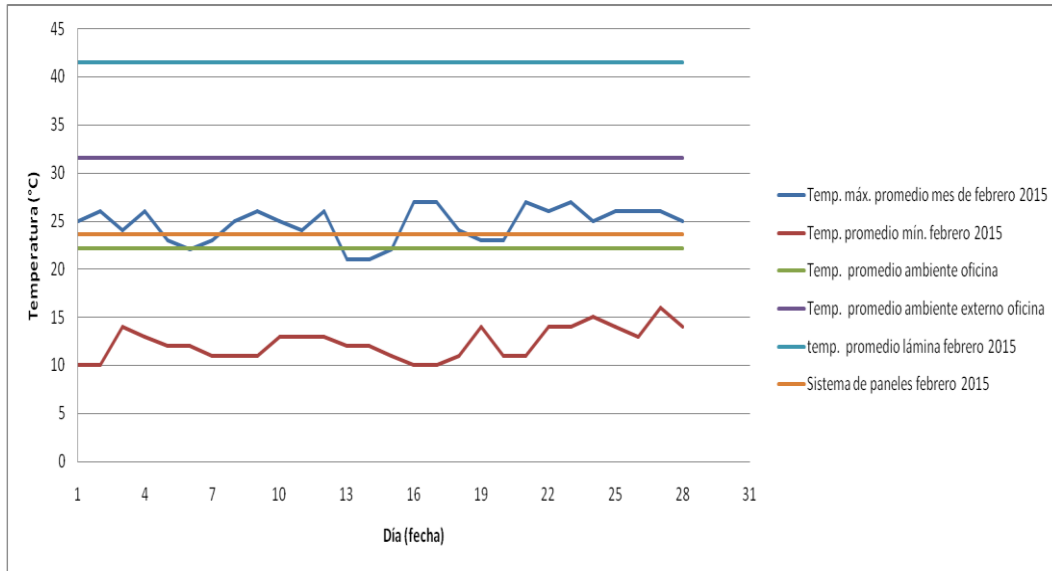


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

En enero, según la figura 60, se observan valores similares que en septiembre, cuando se tenía un similar número de paneles, al regresar a 7. Aún así, se muestra que las temperaturas de la lámina fueron muy bajas; por lo tanto no hay una gran distribución de calor, y la oficina aumentó su temperatura; por lo tanto el sistema aún no trabajaba eficientemente.

De igual manera, en la figura 82 se observa cómo el sistema y la temperatura del ambiente, mantuvieron valores parecidos o en algunos picos de la gráfica, valores mayores.

Figura 83. Comportamiento general del sistema en febrero de 2015

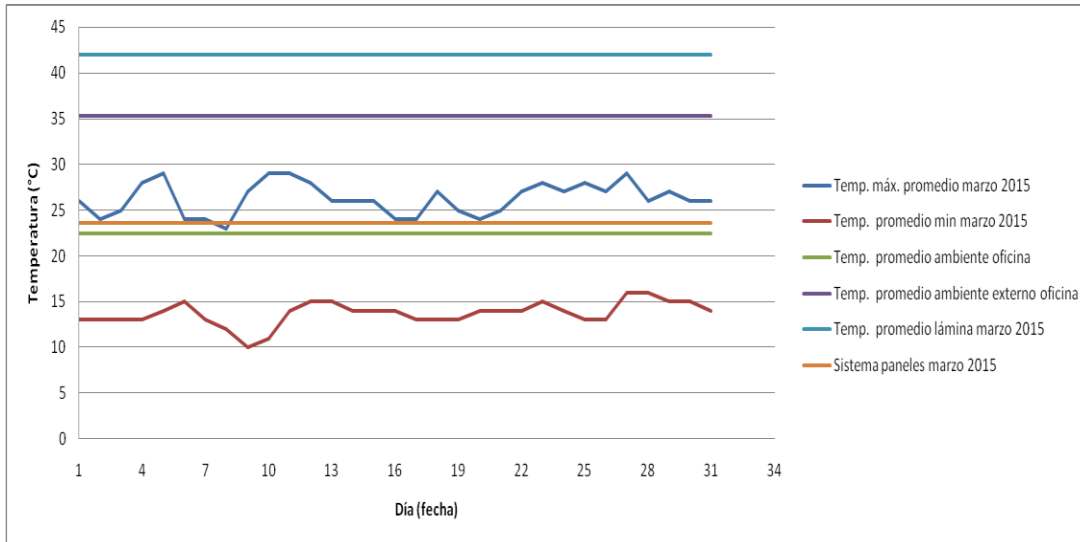


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Para febrero se observa que al aumentar drásticamente el número de paneles, disminuye la temperatura de la oficina. Es por eso que en la figura 63 ya es menor que la de los paneles, como sucedió con noviembre.

La diferencia radica en que el mes de febrero contenía mayores temperaturas medias del ambiente que en noviembre, definiendo un mejor trabajo en época de calor del sistema.

Figura 84. Comportamiento general del sistema en marzo de 2015

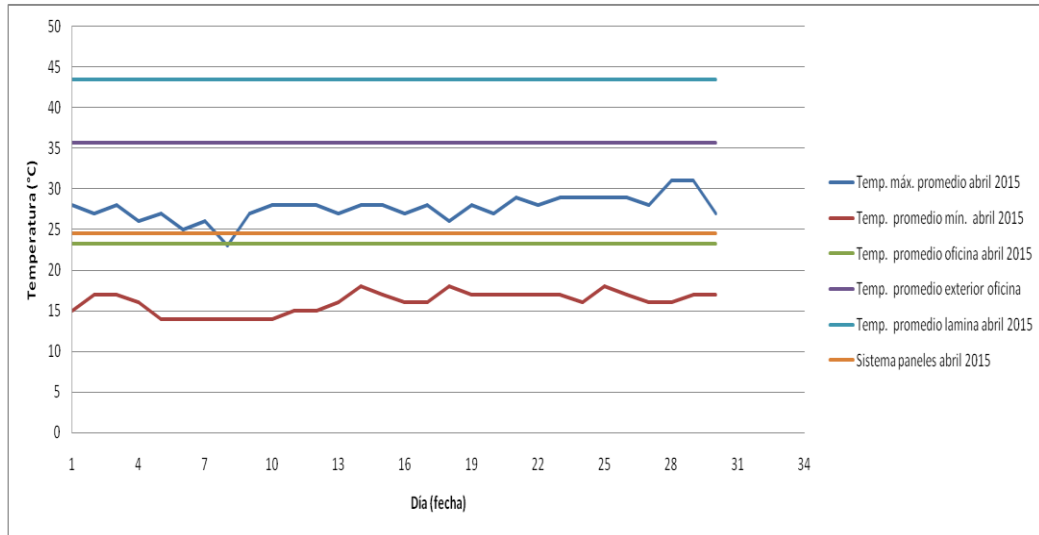


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

En marzo las temperaturas ambientales medias aumentaron, y se aumentó el número de paneles colocados a 36, cubriendo ya 6 ejes. La figura 66 presenta que la temperatura de la oficina se mantuvo por debajo de la temperatura de los paneles. También se muestra cómo, según las franjas, la temperatura del exterior a esas horas era cercana a la temperatura de la lámina. Esto demuestra una gran concentración de calor, que el sistema logró controlar, según datos.

También la figura 84 presenta el resumen de marzo, y demuestra que a lo largo del mes, la temperatura disminuyó dentro del ambiente, a pesar de que la temperatura ambiental era más alta que el mes anterior.

Figura 85. Comportamiento general del sistema en abril de 2015

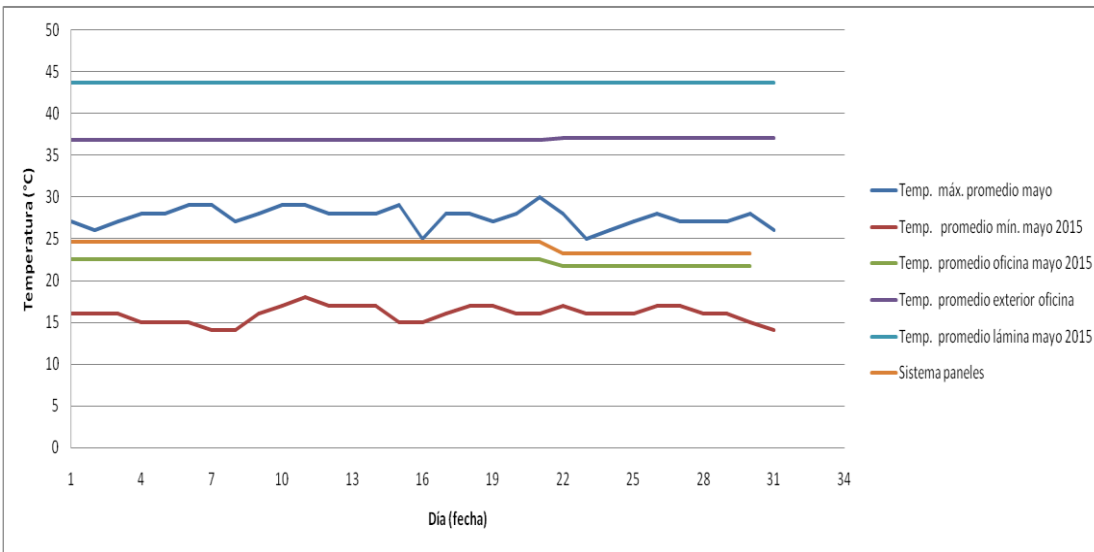


Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Abril presentó temperaturas más elevadas en la lámina debido al aumento de las temperaturas medias del ambiente. En este mes se mantuvieron los 36 paneles. Aquí la temperatura de la lámina aumentó según la figura 68, proporcional a la temperatura del exterior de la oficina. Aún así la temperatura de la oficina se mantuvo por debajo de la temperatura de los paneles.

En la figura 85, el resumen muestra que a lo largo del mes, la temperatura del ambiente y paneles ya fue mucho menor que la temperatura ambiente. Tanto marzo como abril lograron entrar en el rango de las temperaturas del ambiente.

Figura 86. Comportamiento general del sistema en mayo de 2015



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

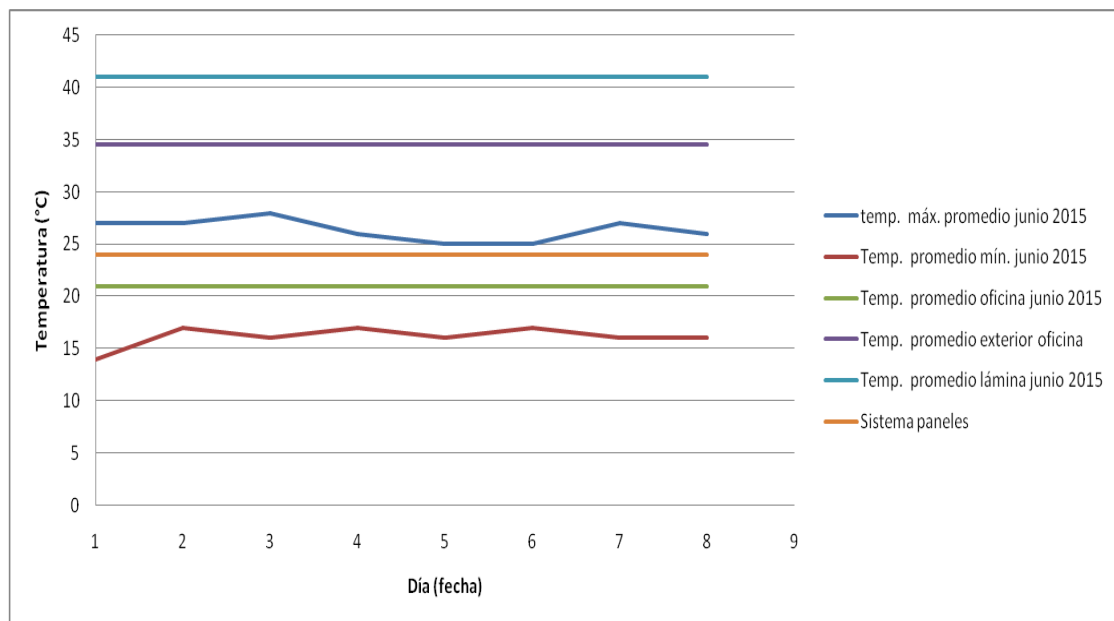
Mayo registró altas temperaturas medias ambientales, así como grandes temperaturas que la lámina contenía. Desde la primera semana, hasta el día 21, se colocaron 44 paneles y según la figura 69, se muestra un gran balance de la temperatura dentro de la oficina, ya con mayor diferencia que la temperatura superficial de los paneles.

Luego del 21 de mayo, al colocarse la totalidad de paneles en el sistema, sellando los espacios que los paneles no habían llenado, se logró un balance de las temperaturas de los paneles, junto con la temperatura de la oficina, que fue menor en este punto.

Dicha relación se observa también en la figura 86, donde el resumen muestra cómo las temperaturas de la lámina, y las temperaturas medias máximas del ambiente fueron altas, y la temperatura de la oficina se mantenía

en un rango aceptable. Es después del 21 de mayo cuando la temperatura disminuye más, y encuentra un mejor balance del estado dentro de la oficina.

Figura 87. **Comportamiento general del sistema en junio de 2015**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

En el último mes de medición, se muestra cómo el sistema completo tiene un mejor balance y temperatura. Por eso en la figura 87 se presenta cómo la temperatura de la oficina disminuyó, inclusive más que la superficial de los paneles. Es decir que la transmisión de calor por convección disminuyó al estar completo el sistema. Inclusive, la temperatura del suelo tiende a estar en una temperatura más suave que en otros meses.

En la figura 77, el resumen muestra claramente cómo la temperatura media del ambiente máxima es mayor que la superficial de los paneles, y la

temperatura de la oficina llega al rango aceptable de 21 grados centígrados, teniendo una diferencia entre la lámina y el sistema de casi 23 °C.

3.12.3. Comportamiento aislante del panel

Para la evaluación del panel, se escogieron los meses de octubre y noviembre, y como se muestra en las figuras 55 y 57, se obtuvieron las temperaturas superficiales superior e inferior del panel, para tener un diferencial que determine cuánta temperatura es absorbida por el elemento.

Según la tabla XIII, la desviación estándar de datos es de 0,69, por lo tanto hay una buena correlación de datos medidos. Además, presenta un diferencial en la temperatura de 6,2 °C, que provoca una conductancia y resistencia térmica igual a la unidad. Por lo tanto, lo convierte en un elemento bastante aislante, debido a que según estándares de construcción térmica, se considera aislante térmico aquel que tenga una resistencia mayor a 0,025 ($m^2 \cdot K/W$).

De igual forma, en noviembre se muestra cómo disminuyó el diferencial de temperatura a 4,1 °C entre las superficies, pero la resistencia térmica y conductancia se mantuvieron en 1.

3.12.4. Horas críticas de medición

A lo largo de la evaluación, se tuvo como base la medición en los periodos que comprendían de las 10 de la mañana, hacia las 2 de la tarde. Según muestran las tablas X, XII, XV, XVIII, XX, XXII, XXIV, XXVII, las horas con mayores temperaturas en la lámina y ambiente fueron registradas entre 12 y 1 pm, cuando el sol está en el cenit.

Las figuras 52, 55, 58, 61, 64, 67, 69, 73 y 76 demuestran el comportamiento respecto de las horas de medición. Es importante saber que la variación contó con mediciones en horas donde hubo nublados o lluvia, pero aun así las mediciones mantuvieron valores elevados en los primeros meses de la investigación.

Por lo tanto, las horas de medición están relacionadas también con las épocas de mayor calor. Para mayor comprensión, en el apéndice se muestran los rangos de las temperaturas pertenecientes a periodos cálidos, templados y fríos, por medio de una relación estadística, planteada en una campana de Gauss.

3.12.5. Análisis térmico de los paneles

Con base en los meses de prueba para este análisis, que fueron octubre y noviembre, se puede observar que en la tabla XIII y XVI, los valores correspondientes a la conductancia y resistencia térmica son acordes a un elemento aislante. Puede observarse que la conductancia se mantiene en un valor de 1, debido a que el coeficiente de conductividad térmica es menor a $0,06 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, con un espesor no mayor a 5 centímetros; asimismo, su resistencia térmica es mayor a $0,025 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, alcanzando un valor de 1.

3.12.6. Mapas de calor

Como parte adicional, se eligieron las temperaturas máximas promedio de cada punto de la lámina de un mes con características de alto calor, como lo fue marzo del 2015, y se plasmaron en un mapa de calor. Las temperaturas variaron entre los $27 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta los $55 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.12.6.1. Mapa de calor del sistema de cubierta de techo

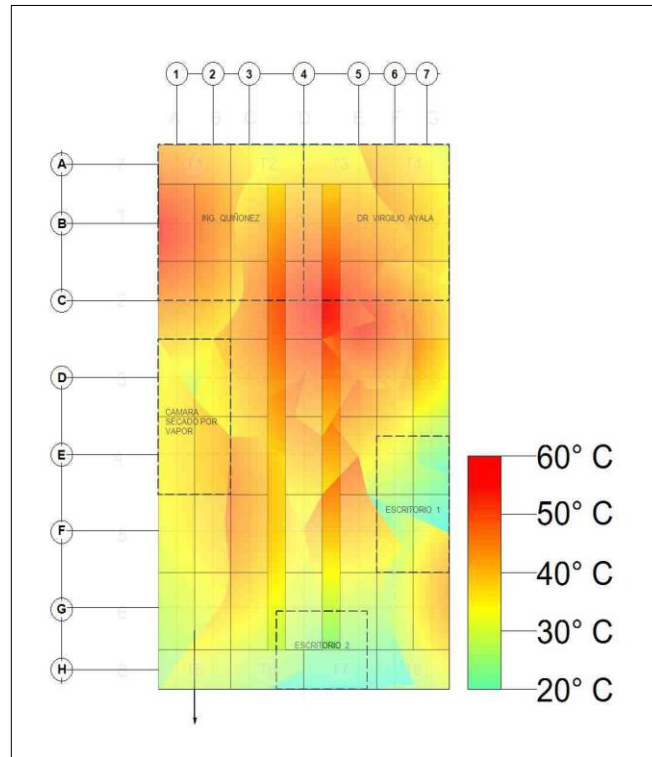
Se trazaron líneas debido a la temperatura, semejantes a las curvas de nivel topográficas, y luego se determinaron los puntos de mayor calor de la cubierta de lámina como la oficina.

Tabla XXXI. **Libreta de temperaturas promedio máximas de marzo 2015**

Promedio de máximas temperaturas de la lámina del mes de abril 2015								
	EJE A	EJE B	EJE C	EJE D	EJE E	EJE F	EJE G	EJE H
EJE 1	44,2	52,2	47,5	33,2	32,1	31,1	29,1	30,7
EJE 2	41,2	44,7	46,2	33,4	33,6	32,1	30,4	30,4
EJE 3	37,2	42,1	47,9	33,5	35,6	36,1	30,7	29,4
EJE 4	36,2	48,2	55,1	39,9	37,2	34,6	29,5	27,5
EJE 5	38,6	47,2	53,2	41,2	37,1	33,4	27,2	25,1
EJE 6	39,2	42,1	47,2	39,2	32,1	27,1	26,0	23,1
EJE 7	35,2	40,3	41,3	37,2	27,2	26,1	30,1	24,5

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Figura 88. **Mapa de calor de temperaturas promedio máximas**



Fuente: elaboración propia, con programa Vector Works.

En la figura 88 se observa que los puntos de mayor concentración se dan en el eje C4. En este caso se puede determinar que la zona afectada es el área superior, y se va disipando a toda la oficina.

Este mapa de calor de las temperaturas superficiales máximas demuestra que puede llegar la lámina a temperaturas cercanas a los 60 °C (55,1 la más alta).

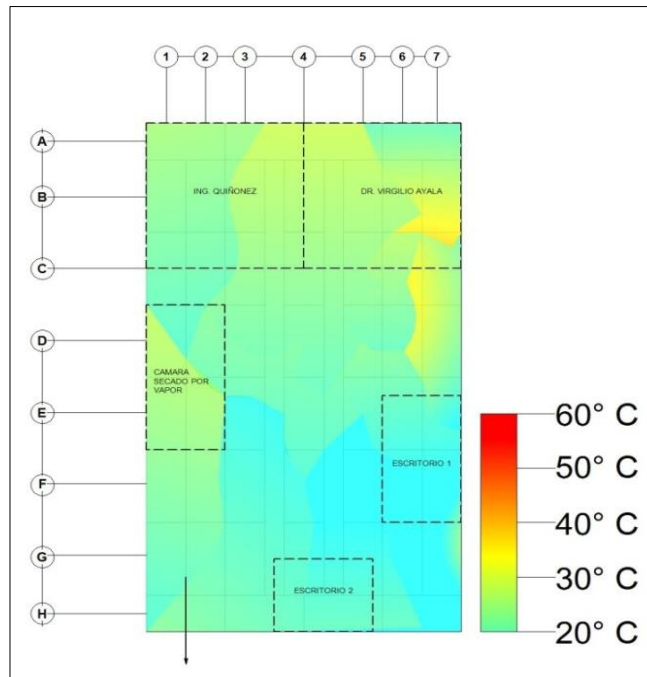
Esto ejemplifica la capacidad de la cubierta de absorber el calor en las horas de más radiación solar.

Tabla XXXII. **Libreta temperaturas promedio dentro de oficina**

Promedio temperaturas dentro de la oficina en periodo cálido del mes de abril 2015								
	EJE A	EJE B	EJE C	EJE D	EJE E	EJE F	EJE G	EJE H
EJE 1	24,1	23,2	22,1	24,5	23,5	22,7	22,6	22,1
EJE 2	24,0	22,5	22,0	21,5	23,9	23,1	22,8	21,5
EJE 3	24,6	23,4	22,4	22,4	21,1	22,0	22,0	22,1
EJE 4	25,6	23,9	23,5	23,5	20,1	21,5	21,4	21,9
EJE 5	25,1	23,1	23,0	22,5	21,0	20,4	21,0	21,9
EJE 6	21,0	25,4	25,6	21,5	20,8	20,1	20,4	21,9
EJE 7	19,7	28,1	27,4	24,2	22,7	19,5	19,4	18,9

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

Figura 89. **Mapa de temperatura de la oficina**



Fuente: elaboración propia, con programa VectorWorks.

En la figura 89, el mapa de calor que se presenta se refiere a la estabilización de la habitación con el sistema completo a nivel ambiental. Se puede observar, haciendo la comparación con el mapa de la figura 87, que mientras las temperaturas máximas llegan a los 60 grados centígrados superficialmente, a nivel ambiental, mantienen un promedio entre 20 y 26 grados centígrados de forma ambiental, por lo tanto la transmisión del calor al ambiente por parte de la lámina es reducido en gran manera por el sistema de cielo falso.

Asimismo, se observa que los puntos de máximo calor siguen siendo los cercanos a los ejes C4, aún se ve un decremento importante de la temperatura a nivel ambiental debido a que la disipación del calor disminuyó por la barrera aislante que es el sistema de cielo falso.

Los mapas sirven como un aporte para la identificación de la distribución del calor dentro del ambiente estudiado; esto da un parámetro para la reubicación y localización de espacios más aptos para permanecer dentro del ambiente estudiado.

CONCLUSIONES

1. El estudio determinó que la demanda de la lámina galvanizada de zinc para uso de cubierta de techo es alta, teniendo un 72 % del total de viviendas del país con este material. También se determinó la cantidad de temperatura que ocasiona el calor, que puede absorber una techumbre de este tipo de material, llegando hasta 55,1 grados centígrados superficiales en la lámina galvanizada en el área sur de la ciudad capital de Guatemala, que se dispersan en toda la habitación, haciendo necesario un sistema de aislamiento acorde para las viviendas.
2. Se utilizó la caña de maíz como material para promover una tecnología novedosa, más sencilla y económica, y así disminuir el uso de materiales modernos, con impacto bajo en el tema ambiental, y que da la opción de un sistema autoconstruible. Con esto se diseñaron los paneles para el sistema, tomando en consideración sus dimensiones (0,50 x 1,00 m), proceso de elaboración (mayor facilidad dependiendo del número de capas de cada panel), peso (entre 2,3 a 2,5 kg/m²), y la presentación de cada panel.
3. Se construyó el sistema de cielo falso de tipo modular colgante, utilizando el panel de caña de maíz más adecuado. El sistema fue evaluado durante un periodo de 11 meses entre agosto de 2014 y junio de 2015, dando un resultado satisfactorio en el tema del *confort*, donde se presenta un balance en la temperatura ambiental dentro de la oficina estudiada entre los 20 y 25 grados centígrados, y confirmado en los resultados con la gráfica de campana de Gauss.

4. Entre las ventajas del sistema, destaca que es una nueva tecnología constructiva, de fácil acceso a la materia prima, otorgando una solución en tema de condiciones térmicas en un ambiente de vivienda. La elaboración es sencilla, y no requiere de mano de obra calificada, presentando buenas cualidades aislantes en el periodo de experimentación, mostrando una mejoría en la temperatura ambiental de la oficina con un descenso de 5 a 10 grados centígrados. Tiene la desventaja de que es un sistema que no es completamente sellado debido a las características físicas de la caña, como irregularidades del tallo, dejando pequeños espacios en los paneles, y está susceptible al deterioro natural.

5. Se caracterizó la caña de maíz como materia prima, donde sus características físicas varían en cada planta, que dependen de factores como la localidad de la siembra, clima, suelo, cuidado, tipo de semilla, entre otros. Se consideró como materia prima por su fácil acceso, ya que es una planta de gran abundancia en el país, siendo su producción agrícola la más alta con 38 178 400 quintales producidos, llegando a ser parte del Producto Interno Bruto del país, con un 3,93 % en el sector agrícola.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con el desarrollo de más investigaciones que promuevan el uso del desecho de la planta del maíz. De esta forma, se puede profundizar en los problemas a nivel tanto constructivo como de organización, para implementar soluciones con base en tecnologías nuevas con materiales de fácil acceso.
2. Implementar talleres de formación en comunidades, así como centros educativos con avance de estudios en nuevas tecnologías, dando cursos sobre cómo se elaboran los sistemas constructivos y acercar a las personas a conocer e investigar sobre temas relacionados con la construcción, así como buscar que las personas elaboren y utilicen dichos sistemas en sus comunidades.
3. Con base en el sistema constructivo, dar un recubrimiento a los paneles de caña de maíz, de manera que puedan prolongar su vida útil, y así evitar el deterioro por acciones de tiempo, factores de humedad o insectos. Esto puede ser de un material conocido, como una aplicación de una capa de barniz, pintura o yeso, como también buscar soluciones alternas naturales, como el empleo de taninos extraídos de plantas, y dar un mejor acabado al sistema.
4. Para la fabricación de los paneles es recomendable explorar con los diferentes tipos de cañas de maíz que existen en las diversas regiones, poder tener variedades de paneles y demostrar que el sistema puede acoplarse a cualquier tipo de región y materia prima.

5. Continuar con la investigación del sistema de aislamiento térmico, manteniendo el enfoque de la implementación de la nueva tecnología, la aplicación a las comunidades, y expandir la idea en la variación de posibilidades que da la caña de maíz, aplicando estas innovaciones en la solución y aplicación rápida en la problemática de la vivienda en Guatemala.

6. Mantener la línea de innovación, como la continuación de los paneles alternativos con caña triturada y yuquilla, como parte de un sistema de cielo falso más elaborado que continúa con el enfoque de implementación de confort térmico.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARROYO, Fernando.; FERNÁNDEZ GARCÍA, Felipe., *Aproximación al conocimiento del confort térmico urbano de Madrid*. España Ediciones Universidad Autónoma, 1991, 109 p.
2. Centro de Investigación y Mejoramiento del Maíz y Trigo. *Investigación y producción del maíz en Guatemala*, Artículo CIMMYT HOY no. 14, México 1981, 15 p.
3. CHIC CAMEY, Josué, *Diseño, evaluación y construcción de un elemento constructivo para vivienda utilizando caña de maíz*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 102 p.
4. COGUANOR, *NTG 36012:2013. Norma Técnica Guatemalteca. Láminas de acero con revestimiento de zinc (galvanizado) o revestimiento de aleación de zinc-hierro (galvanorecocido), por medio de un proceso de inmersión en caliente*. Guatemala: Ministerio de Economía. 2013, 28 p.
5. Corporación de Desarrollo Tecnológico – Cámara Chilena de la Construcción. *Cielos falsos: rasos y modulares. Recomendaciones técnicas*. 2aed, Chile, Trama Impresores, 2013, 55 p.
6. FUENTES LÓPEZ, Mario. *El cultivo de maíz en Guatemala, una guía para su manejo agronómico*. Guatemala: ICTA, 2002, 45 p.

7. FUENTES LÓPEZ, Mario; VAN ETTEN, Jacob; ORTEGA APARICIO, Álvaro; VÍVERO POL, José. *Maíz para Guatemala, propuesta para la reactivación de la cadena agroalimentaria del maíz blanco y amarillo*. Guatemala: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. 2005, 135 p.
8. GONZÁLES CARDONA, Henry. *Implementación de un sistema de control de calidad en una planta de lámina galvanizada corrugada de acero*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2005, 126 p.
9. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. *NTP 18: Estrés térmico, evaluación de las exposiciones muy intensas*. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1982, 5 p.
10. _____. *NTP 74: Confort térmico - método de Fanger para su evaluación*. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1983, 7 p.
11. _____. *NTP 322: Valoración del riesgo de estrés térmico: índice WBGT*. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1992, 6 p.
12. _____. *NTP 501: Ambiente térmico: inconfort térmico local*. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998, 6 p.

13. _____. *NTP 779: Bienestar térmico: criterio de diseños para ambientes térmicos confortables*. [en línea]. <[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/Fichas Tecnicas/NTP/Ficheros/752a783/nTP-779.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/Fichas_Tecnicas/NTP/Ficheros/752a783/nTP-779.pdf)> [Consulta: 8 de octubre de 2014].
14. MORENO RAMÍREZ, Jesús. *Evaluación y elaboración de núcleos aligerados con caña de maíz para construcción de muros tipo emparedado*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2015. 170 p.
15. PUAC ÁLVAREZ, Octavio Roberto. *Opciones de techo para vivienda en Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996. 141 p.
16. Tesis doctorales en red: *Consideraciones generales sobre ambiente y confort térmico*. Extracto de tesis, Capítulo núm. 7, [en línea]. <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6104/07CAPITULO2.pdf?sequence=7>. [Consulta: 12 de noviembre de 2014].
17. Unificación de Normativas Españolas, *ISO 7730:2006, Determinación analítica e interpretación de bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local*. España: Asociación Española de Normalización y Certificación. 2006. 8 p.

18. VECCHIA, Francisco; CASTAÑEDA NOLASCO, Gabriel. *Evaluación del comportamiento térmico de casa experimental con bajareque mejorado*. Artículo del trabajo de evaluación experimental, México: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo CYTED.; Brasil: Universidad de Sao Paulo, 2005. 8 p.
19. VECCHIA, Francisco; CASTAÑEDA NOLASCO, Gabriel. *Reacción ante el calor de cuatro sistemas de cubiertas*. *Ingeniería*, Vol. 10, Número 1. México: Universidad Autónoma de Yucatán.35 p.
20. WILLEMS, Wolfgang. *Wärmeschutz: Grundlagen – Berechnung – Bewertung*. (Aislamiento: Conceptos básico – cálculo y evaluación). Alemania, AZ DruckundDatentechnik, 2011.301 p.

APÉNDICES

Apéndice A. **Análisis estadístico de las muestras de tomas de datos de temperatura por medio de coeficientes de correlación y desviación estándar**

Debido a la cantidad de datos obtenidos a lo largo de la investigación, se verificaron por métodos estadísticos, para determinar su confiabilidad para su desarrollo.

- Método de correlación Pearson: Se determinó la confiabilidad de los datos por el método de correlación de Pearson, para los datos de las mediciones superficiales de temperatura realizadas en la cubierta de lámina y en los paneles, como las medidas ambientales dentro de la oficina. Se verificaron por medio de dos procedimientos:
 - Expresión matemática de correlación de Pearson.
 - Verificación por medio de hoja de Excel.

La fórmula de Pearson está dada por:

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} * \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}}$$

Donde:

- X: variable dependiente
- Y: variable independiente

Es importante que ambas variables sean de carácter cuantitativo.

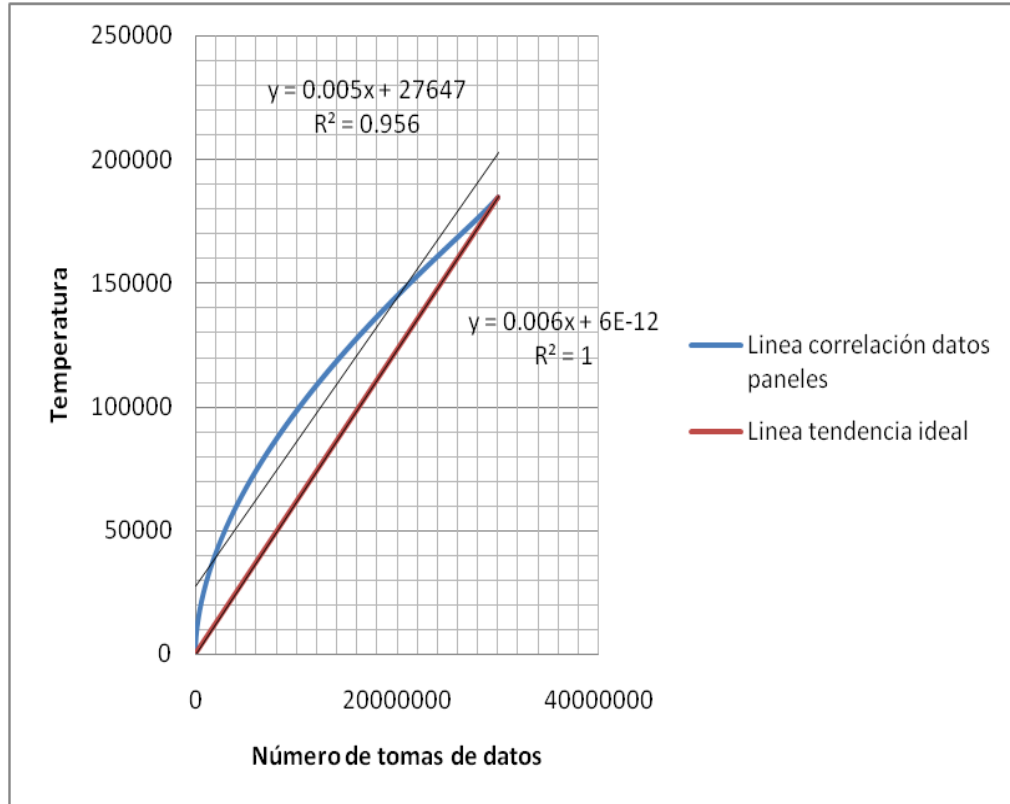
Se usó una hoja de Excel para determinar los datos con base en la cantidad de mediciones realizadas, donde se obtuvieron gráficas en las cuales se explica la línea de tendencia y su correlación R comparativa.

Apéndice A 1. **Tabla resumen de datos para análisis de correlación**

Resumen de datos para encontrar el coeficiente valor R correlación			
	Paneles	Lámina	Temperatura oficina
$\Sigma(x)$ (número de mediciones)	7,76E+10	3,11E+10	3,98E+08
$\Sigma(Y)$ (temperaturas °C)	6,67E+08	5,97E+08	1,87E+07
x^2	1,40E+18	3,05E+17	2,14E+14
y^2	7,96E+13	8,69E+13	3,60E+11
$X*Y$	1,03E+16	5,04E+15	8,57E+12
N (número de datos)	7751	5717	1337
R por método de Pearson	0,978	0,980	0,977
R calculado por hoja de Excel	0,956	0,959	0,955

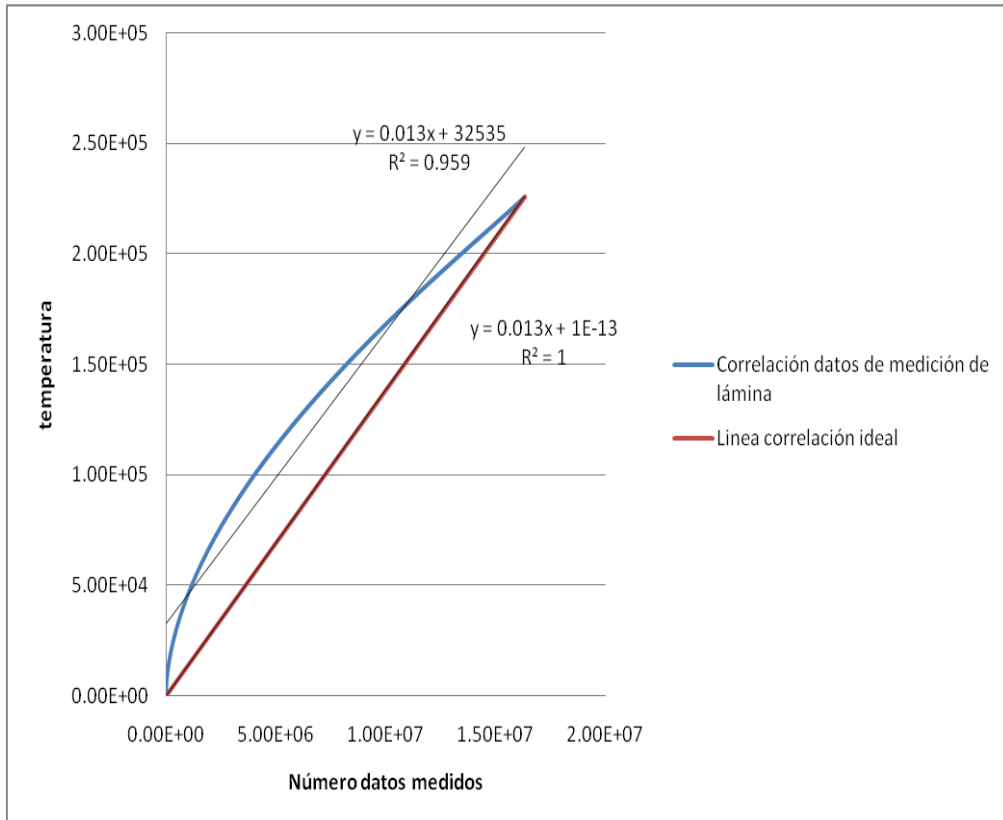
Fuente: elaboración propia, programa Excel 2007.

Apéndice A 2. **Gráfica de correlación de datos de la medición de paneles**



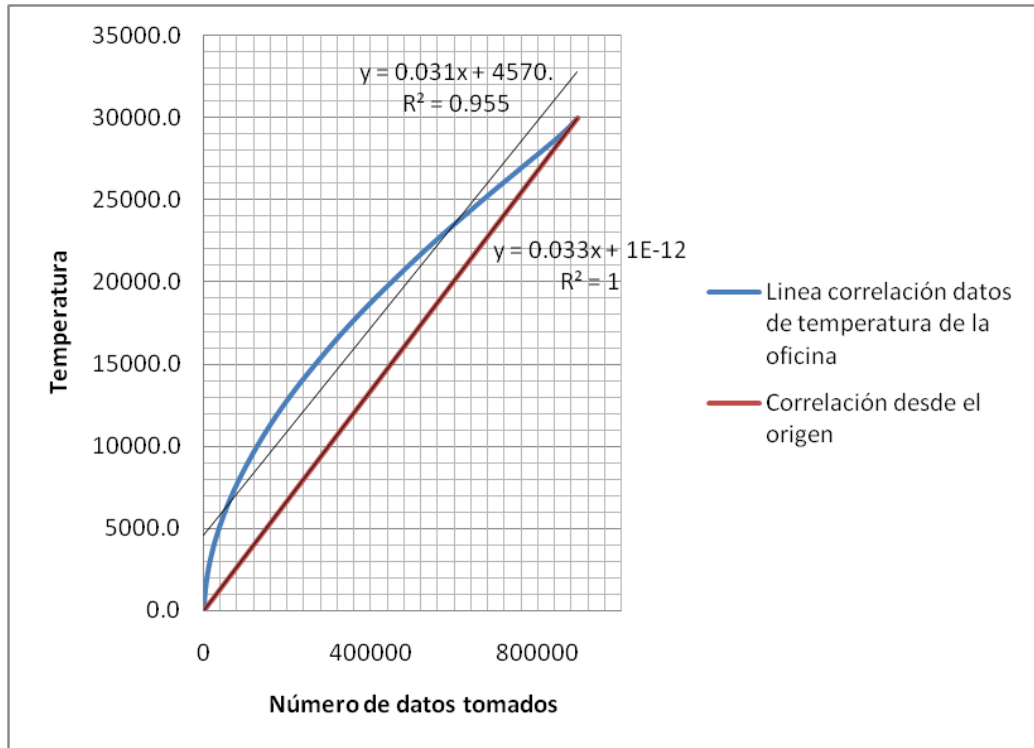
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Apéndice A 3. **Gráfica de correlación de datos de la medición de la cubierta de lámina**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Apéndice A 4. **Gráfica de correlación de datos para la medición de la temperatura interna de la oficina**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

- Método de verificación de la desviación estándar de las muestras de datos: se utilizaron métodos estadísticos, tales como el promedio o media aritmética y desviación estándar.
 - Fórmula de la media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

Donde “a” son los datos, y “n” el número de datos de la muestra

- Fórmula de la desviación estándar

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Donde X_i es el dato base, \bar{x} es la media aritmética, y “n”, el número de datos de la muestra.

- Paneles: Se elaboró una distribución unitaria de los 7751 datos de medición de temperatura de los paneles de caña de maíz, en 51 grupos estimados de muestras, determinando así los resultados siguientes:

Apéndice A 5 **Resultados de muestras**

Resultados de la muestra	
N (datos)	7751
Media aritmética \bar{x}	23,9
Desviación estándar (σ)	3,0
Dato máximo del rango	37,2
Dato mínimo del rango	13,4

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Se presenta la tabla de datos en forma de distribución Gaussiana para su análisis gráfico

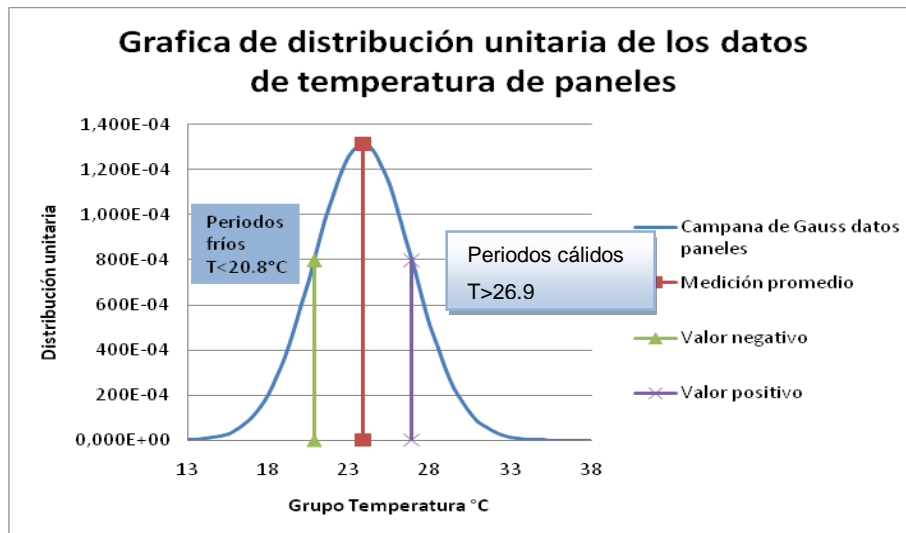
Tabla de grupos y distribuciones Gaussiana	
Grupos de mediciones	Distribución unitaria
13	0,00022371
13,5	0,00039714
14	0,0006862
14,5	0,00115399
15	0,00188885
15,5	0,00300908
16	0,00466567
16,5	0,00704105
17	0,01034199
17,5	0,01478474
18	0,02057153
18,5	0,02785882
19	0,03671995
19,5	0,0471069
20	0,05881799
20,5	0,07147909
21	0,0845456
21,5	0,09732988
22	0,10905474
22,5	0,11892854
23	0,12623238
23,5	0,13040633
24	0,13112024
24,5	0,12831693
25	0,12221975
25,5	0,11330315
26	0,10223174
26,5	0,08977858
27	0,07673665
27,5	0,06383754

Continuación apéndice A 6.

28	0,05168834
28,5	0,04073355
29	0,03124317
29,5	0,0233239
30	0,0169469
30,5	0,01198458
31	0,00824894
31,5	0,00552608
32	0,00360312
32,5	0,00228657
33	0,00141232
33,5	0,00084903
34	0,00049677
34,5	0,0002829
35	0,0001568
35,5	8,459E-05
36	4,4415E-05
36,5	2,2698E-05
37	1,1289E-05
37,5	5,4652E-06
38	2,5751E-06

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Apéndice A 7. Gráfica de Gauss para datos de temperatura de paneles



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Donde:

- $T < 20,8^{\circ}\text{C}$, periodos fríos
 - $20,8^{\circ}\text{C} < T < 26,9^{\circ}\text{C}$, rango de temperatura de ambiente templado
 - $T > 26,9^{\circ}\text{C}$, periodo cálido.
- Lámina: Se elaboró una distribución unitaria de los 5717 datos de medición de temperatura de los paneles de caña de maíz, en 75 grupos estimados de muestras, determinando así los resultados.

Apéndice A 8. **Resultados muestras**

Resultados de la muestra	
N (datos)	5717
promedio	39,6
Desviación estándar (σ)	5,6
Dato máximo del rango	55,0
Dato mínimo del rango	18,0

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007

Apéndice A 9. **Distribución Gaussiana de datos Lámina**

Distribución Gaussiana de datos	
grupos	Distribución unitaria
18	4,8512E-05
18,5	6,7742E-05
19	9,3857E-05
19,5	0,00012902
20	0,00017598
20,5	0,00023816
21	0,00031979
21,5	0,00042606
22	0,0005632
22,5	0,00073867
23	0,00096126
23,5	0,00124115
24	0,00159004
24,5	0,00202111
25	0,00254899

Continuación del apéndice A 9.

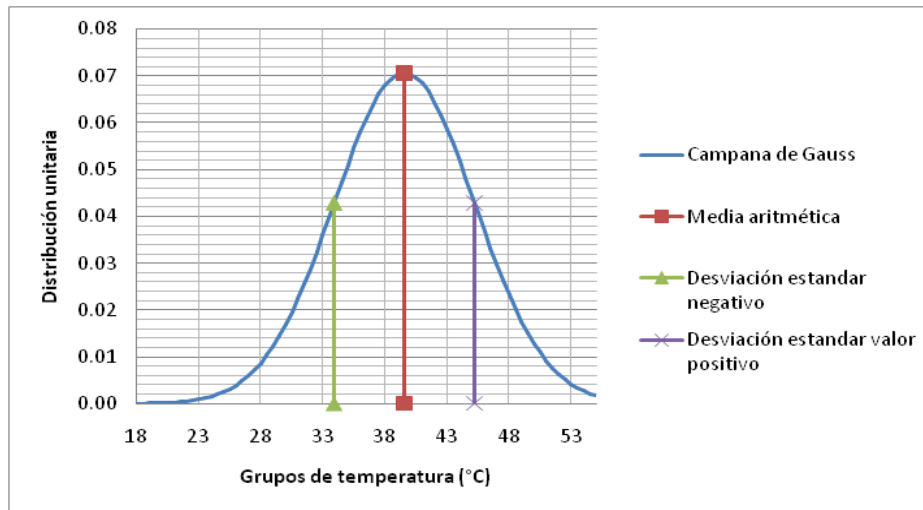
25,5	0,00318966
26	0,00396021
26,5	0,00487854
27	0,00596292
27,5	0,00723146
28	0,00870143
28,5	0,01038849
29	0,01230587
29,5	0,01446337
30	0,01686648
30,5	0,01951538
31	0,02240408
31,5	0,02551966
32	0,02884166
32,5	0,03234173
33	0,03598354
33,5	0,03972301
34	0,04350889
34,5	0,0472837
35	0,05098501
35,5	0,05454704
36	0,05790253
36,5	0,06098478
37	0,06372986
37,5	0,0660788
38	0,06797965
38,5	0,06938943
39	0,07027573
39,5	0,07061793
40	0,07040804
40,5	0,06965096
41	0,06836433
41,5	0,06657784
42	0,06433205
42,5	0,06167693
43	0,05866995

Continuación del apéndice A 9.

43,5	0,05537405
44	0,05185545
44,5	0,04818149
45	0,04441848
45,5	0,0406298
46	0,03687427
46,5	0,03320471
47	0,02966699
47,5	0,02629935
48	0,02313205
48,5	0,02018742
49	0,01748015
49,5	0,01501783
50	0,01280168
50,5	0,0108274
51	0,00908613
51,5	0,00756539
52	0,00625002
52,5	0,00512306
53	0,00416653
53,5	0,00336215
54	0,00269189
54,5	0,00213843
55	0,00168551

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Apéndice A 10. **Gráfica de Gauss para datos de temperatura de lámina**



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Dónde:

- $T < 33,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, periodo frío
 - $33,9 \text{ }^{\circ}\text{C} < T < 42,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, Rango de temperatura media para ambiente templado
 - $T > 42,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, periodo cálido
- Temperatura dentro de oficina: se elaboró una distribución unitaria de los 1337 datos de medición de temperatura de los paneles de caña de maíz, en 49 grupos estimados de muestras, determinando así los resultados siguientes:

Apéndice A 11. **Resultados muestra entorno**

Resultados de la muestra	
N (datos)	1337
promedio	22,4
Desviación estándar (σ)	2,9
Dato máximo del rango	36,6
Dato mínimo del rango	13,4

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Apéndice A 12. **Distribución Gaussiana del entorno**

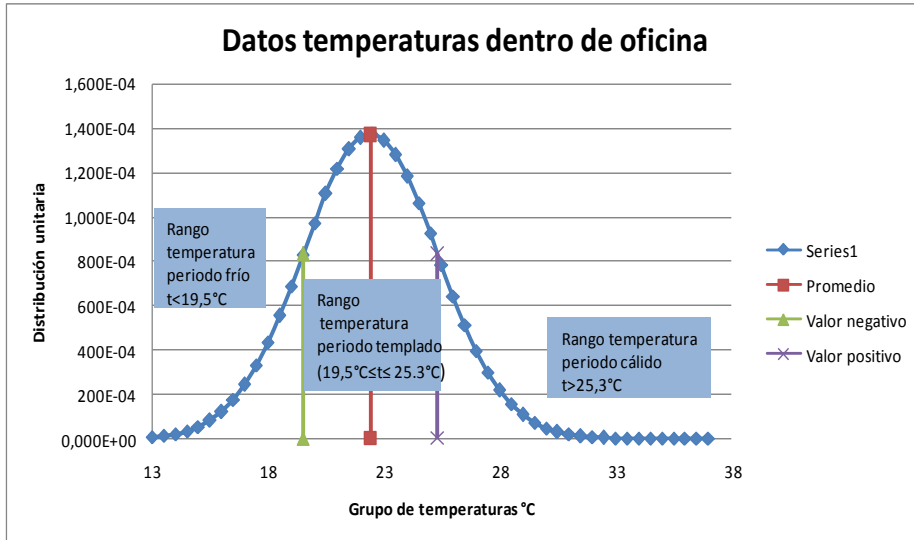
Tabla de grupos y distribuciones Gaussiana	
Grupos de mediciones	Distribución unitaria
13	0,00073393
13,5	0,00126005
14	0,0021005
14,5	0,00339981
15	0,00534298
15,5	0,00815289
16	0,01207918
16,5	0,01737648
17	0,02427081
17,5	0,03291583
18	0,04334347
18,5	0,0554167
19	0,06879484
19,5	0,08292189
20	0,0970467
20,5	0,11027843
21	0,12167421
21,5	0,13034809
22	0,13558418

Continuación apéndice A 12.

22,5	0,13693408
23	0,1342803
23,5	0,12785309
24	0,11819752
24,5	0,10609714
25	0,09246921
25,5	0,07825082
26	0,06429523
26,5	0,05129403
27	0,03973316
27,5	0,02988392
28	0,02182329
28,5	0,01547395
29	0,0106532
29,5	0,00712127
30	0,00462203
30,5	0,00291277
31	0,00178229
31,5	0,00105888
32	0,00061082
32,5	0,00034212
33	0,00018606
33,5	9,8245E-05
34	5,037E-05
34,5	2,5074E-05
35	1,212E-05
35,5	5,6878E-06
36	2,5918E-06
36,5	1,1467E-06

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Apéndice A 13. Gráfica Gauss de temperaturas de la oficina



Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2007.

Apéndice 2. Elaboración de panel alternativo Caña –Yuquilla (CY)

Utilizando los residuos del corte de las cañas, se procedió a fabricar unas mezclas con base un aditamento natural que trabajase como aglomerante, y a la caña triturada.

Se elaboraron varias mezclas, de las cuales se logró alcanzar una que tuviera las condiciones de elaboración y mejor uso de materiales.

Apéndice B 1. Residuos del proceso de limpieza de cañas



Fuente: Área de prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

Este experimento se hizo para darle un uso más a los residuos de la caña, pero por la cantidad de material utilizado y su elaboración más compleja, al igual que variables dimensiones requeridas, peso y tiempo de elaboración, no alcanzaron la fase de experimentación final.

- Molienda de caña: los residuos de la limpieza y corte de la caña, fueron almacenadas para luego ser trituradas, para luego ser parte de los módulos experimentales. Aquí se utilizó el molino de martillos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, del área de Prefabricados. Los trozos de caña y hojas fueron arrojados de manera simultánea.

Apéndice B 2. Molino de Martillos



Fuente: Área de prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

Se les dio un tiempo prudencial a cada grupo de cañas, hasta su total trituración, para no bloquear el molino.

Esta fue cortada, de tal manera que se tuviera un grano fino, utilizado para unas briquetas experimentales posteriores al estudio principal.

- Tamizado de molienda: Este proceso fue hecho a partir de los tamices No. 30, y No. 10, teniendo 3 tipos de grano, que fueron usados para hacer las proporciones indicadas, todo esto realizado en el área de carpintería.

Apéndice B 3. **Material previo a tamizar**



Fuente: Área de prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

Se utilizaron los tamices $\frac{1}{4}$, 16 y 30. Se utilizaron variables en cuanto a volumen en el área de carpintería, para hacer módulos de 30 X 30 centímetros de área, por 2 centímetros de altura.

Apéndice B 4. **Material tamizado para pruebas**



Fuente: Área de Prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

- Yuquilla: este material fue adquirido en el mercado de víveres comunal. Se necesitó de fácil acceso a las personas, y por ser usada para alimentación, el mercado fue un lugar de buen acceso. Para esta evaluación, se utilizó yuquilla encontrada en el mercado comunal de San José Jocotales, Chinautla.
- Aglomerante para pruebas: para la obtención del aglomerante, se procedió a moler con mortero la yuquilla. Esta se vende en un polvo triturado, pero por motivos de manipulación en ventas y almacenaje, se forman grumos, y estos deben de molerse con un mortero. Esto se hace hasta lograr un polvo muy fino, que se guardará en bolsas selladas para evitar el paso de humedad.

Apéndice B 5. **Aglomerante utilizado para pruebas de probetas**



Fuente: Área de Prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

Es necesario que si la yuquilla se encuentra por algún motivo con aspectos de humedad, se seque en al aire libre o en horno por un período de 30 a 45 minutos, y así tener un material más adecuado a la hora de moler.

- **Elaboración:** se hicieron varias pruebas para lograr tener la cantidad necesaria del aglomerante y el agregado, con una proporción aproximada de 80 a 85 % de agregado, donde la mayor cantidad de grano era el más grueso, y la menor del grano medio; el resto de la mezcla era el aglomerante (yuquilla).

Apéndice B 6. **Medición del material a utilizar para aglomerante**



Fuente: Área de Prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

Se utilizó para su realización una prensa hidráulica en el área de carpintería. La mezcla se utilizaba calentando la yuquilla con una cantidad base de agua, formando una pasta moldeable, que luego se mezclaba con el agregado.

Posteriormente, se colocaba en la prensa manual hidráulica, con una presión de 5 a 10 toneladas métricas, dependiendo la cantidad de material, para luego, esperar 3 minutos, y luego quitar la briqueta ya comprimida.

Luego se secaba al aire o con el horno a una temperatura aproximada de 30 °C, durante 24 horas.

Apéndice B 7. Probeta de material experimental terminada



Fuente: Área de Prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.

Apéndice B 8. Secado de muestras en cámara de vapor



Fuente: Área de prefabricados, sección de Ecomateriales, FIUSAC.