



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

***Lagenaria siceraria* una posibilidad para
compuestos de origen orgánico energéticamente eficientes**

TESIS
Para obtener el grado de
Ingeniero en Sistemas de Energía

PRESENTA
Osbet Alberto Aguayo Barrera

DIRECTOR DE TESIS
Dr. Inocente Bojórquez Báez

ASESORES
Dr. Víctor Manuel Sánchez Huerta
Dr. Víctor Manuel Romero Medina
Ing. Set Jubal Castillo Ávila
M.I.A. Juan Carlos Ávila Reveles



Chetumal Quintana Roo, México, Julio de 2016



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**Trabajo de Tesis elaborado bajo supervisión del Comité de asesoría y aprobada
como requisito parcial para obtener el grado de:**

INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA

Comité de Trabajo de Tesis

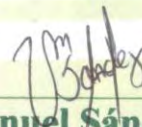


Director:



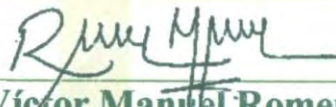
Dr. Inocente Bojórquez Báez

Asesor:



Dr. Víctor Manuel Sánchez Huerta

Asesor:



Dr. Víctor Manuel Romero Medina

Chetumal, Quintana Roo, México, Julio de 2016.

INDICE

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
METODOLOGÍA.....	3
MARCO TEÓRICO.....	5
HIPÓTESIS.....	8
OBJETIVOS.....	8
APORTES.....	4
CAPÍTULO I. NORMATIVIDAD Y REGLAMENTACIÓN DE LA EDIFICACIÓN SUSTENTABLE EN MÉXICO.....	9
1.1.NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES.....	9
1.1.1.NOM-008-ENER-2001- Eficiencia energética en edificaciones.....	9
1.1.2.NOM-009-ENER-1995- Eficiencia energética en aislamientos térmicos.....	9
1.1.3.NOM-020-ENER-2011- Eficiencia energética en edificaciones.....	10
1.1.4.NOM-018-ENER-2011 Aislantes térmicos para edificaciones.....	10
1.2.NORMATIVA NACIONAL Y CERTIFICACIONES EXTRANJERAS.....	11
1.2.1.Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013.....	11
1.2.2.Norma Mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009.....	11
1.2.3.Certificaciones internacionales para la vivienda.....	11
1.3.MEDIDAS Y PROGRAMAS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA MEXICANA.....	14
1.3.1.Hipoteca Verde.....	15
1.3.2.Ésta es tu Casa.....	15
1.3.3.Código de Edificación de Vivienda (CEV).....	15
1.3.4.Vida Integral Infonavit: Vivienda Sustentable.....	16
1.3.5.Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables (DIUS).....	16
CAPÍTULO II. EXPERIMENTACIÓN.....	17
2.1.CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES.....	18
2.1.1.Matriz.....	18
2.1.2.Refuerzo.....	18
2.1.3.Metodología para la obtención del polvo Lagenaria siceraria.....	19
2.2.DETERMINACIÓN DE PORCENTAJES PARA MEZCLAS DE MORTEROS.....	20
2.2.1.Relaciones en la fabricación de morteros.....	21
2.2.2.Elaboración de morteros.....	21
2.3.PROPIEDADES TÉRMICAS.....	24
2.3.1.De transporte.....	24
2.3.2.Termodinámicas.....	31
CAPÍTULO III. DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES.....	36
3.1.CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES NEURONALES.....	36
3.2.DISEÑO DE LA RED NEURONAL ARTIFICIAL.....	37
3.3.FUNCIONES DE TRANSFERENCIA EN REDES NEURONALES.....	38
3.4.RELACIÓN DE NEURONAS EN LA CAPA OCULTA.....	40
3.5.APLICACIÓN DE REDES NEURONALES EN LA ESTIMACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	42
CAPÍTULO IV. SIMULACIÓN NUMÉRICA USANDO ANSYS-FLUENT.....	45
4.1.MODELO DE ESTUDIO. CARACTERÍSTICAS.....	45
4.1.1.Propiedades de la envolvente de la edificación.....	50

4.2.LEYES DE CONSERVACIÓN.	52
4.2.1.Principio de conservación de masa.	52
4.2.2.Principio de conservación de la energía.	52
4.2.3.Conservación de cantidad de movimiento.	53
4.3.MODELOS DE ENERGÍA, RADIACIÓN Y TURBULENCIA UTILIZADOS POR EL PROGRAMA DE SIMULACIÓN ANSYS FLUENT.	54
4.3.1.Modelo de energía.	54
4.3.2.Convección natural.....	54
4.3.3.Modelo de Radiación.....	55
4.3.4.Modelo de Turbulencia.....	56
4.4.SIMULACIÓN MEDIANTE EL PROGRAMA ANSYS.	57
4.4.1.Elaboración del modelo en ANSYS Design Modeler.	58
4.4.2.Discretización del volumen de control de la cabaña.	59
4.4.3.Solución del modelo por medio de ANSYS FLUENT.	61
4.5.RESULTADOS DE SIMULACIÓN	71
4.5.1.Análisis de la simulación de la cabaña.	71
4.5.2.Análisis con materiales de Fibras leñosas.	73
4.5.3.Análisis de temperaturas con materiales de compuesto lagenaria 1:5 (F0.25).....	76
CONCLUSIONES.	78
RECOMENDACIONES.	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	81
BIBLIOGRAFÍA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ANEXOS.	88

DEDICATORIA

U ti'al in nool'ob yeetel in chich'ob: Emilia Uc Dzib, José Mercedes Barrera Pat, Hermelinda Kú yéetel Rodolfo Aguayo (+) in yaax tata'ob.

Tí in k'ichkelem yuum'ob: In ná Irma Barrera Uc yéetel in tata Alberto Nabor Aguayo Kú, yo'osal u ka'ansajo'ob ti tu lakal ba'alob tin chich ní. Jach man in yaakum'ex, yum bo'otik te'ex tu lakal in ku'uxtal yéetel u k'ansajil tu láakal meyaj ka metke'ex. Tu tzú in puk'sik'aal yane'ex.

Tí in ítz'in'ob: Sergio Eduardo, José Rodolfo yéetel Jesús Manuel, jach in ya'abime'ex.

Tí tu la'akaal in láak'ob ku k'uchlo'ob ich naj, yum bo'otik te'ex tu láakal t'aan xi'ikin ta meyaj'tex teen.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia expreso mi enorme gratitud al Dr. Inocente Bojórquez Báez, por encaminarme en toda esta historia universitaria con el todo el cariño y dedicación fuera de los límites de la docencia, por sus consejos, por su forma tan particular de asumir los retos, por las tardes de música, las charlas de política y sociedad, las recomendaciones de lectura, de comida, de vida y tantas cosas más, además de su dirección tan grata del trabajo de tesis.

Al M.E.S. Roberto Acosta Olea, por ser uno de mis primeros amigos de la carrera universitaria y por su invaluable apoyo como tutor responsable.

Agradezco de todo corazón a los amigos-hermanos que pude encontrar en el transcurso de esta aventura universitaria: Ariel Tah, Daniel Cámara, Gustavo Rodríguez, Luciano Belín, Yarandy Padilla y Roberto Pérez, que estuvieron presente en todas las irrelevancias de mi lógica diaria, las agradables pláticas, salidas, reuniones y demás.

A mis amigos-hermanos del taller de ISE que no podían faltar: Yasser, Picasso, Panchito, Set Jubal y Miguel Campos que alimentaron mi ser con sus entrañables pláticas de la universidad, de la sociedad, de política, de cuando acabar la tesis,...

A ti Adda, por acompañarme desde el inicio del trabajo, por tu comprensión, apoyo, amor incondicional, tus revisiones como mi asesora externa personal y por ser lo que eres para mí.

A mis amigos del IER: Dr. Guillermo Barrios y Dra. Guadalupe Hueltz por su apoyo y su trato atento en la estancia. A Lupita y Mary mis hermanas queridas de Temixco.

A mis amigos de la Universidad del Caribe, Ramiro Pastor, Natalia, Ángel y Lorena por su apoyo y su amistad tan grata en mi estancia. Al Dr. Víctor Romero por sus enseñanzas en termofluidos y al M. Juan Bárcenas por su amable atención en el laboratorio ambiental.

A mis amigos Fredy Canul y Aleks Maldonado por su apoyo y amistad que nos hemos dado reciprocamente todos estos años.....

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.2-1. CERTIFICACIONES LEED.	12
FIGURA 1.2-2. ESQUEMA DE CERTIFICACIÓN BREEAM.	13
FIGURA 1.3-1. PROGRAMAS DE VIVIENDA NACIONAL.	14
FIGURA 2.1-1. ESPECIE <i>LAGENARIA SICERARIA</i>	18
FIGURA 2.2-1. MODELO DEL HEXÁGONO PARA DOSIFICACIONES DE MEZCLA.	20
FIGURA 2.2-2. BATIDORA INDUSTRIAL 60T 575.	21
FIGURA 2.2-3. MEZCLA 1:F2 DESMOLDADA A LOS 7 DÍAS.	22
FIGURA 2.2-4. COMPUESTO 1:1:5 EN ESPERA DE DESMOLDAR.	22
FIGURA 2.3-1. CONDUCTÍMETRO DE PLACA CALIENTE GUARDADA.	25
FIGURA 2.3-2. ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.	25
FIGURA 2.3-3. LEVANTAMIENTO FOTOTÉRMICO A LAS 10 HORAS DÍA TÍPICO DE MAYO.	28
FIGURA 2.3-5. CALORÍMETRO CONVENCIONAL.	31
FIGURA 3.1-1. SINAPSIS CEREBRAL HUMANA.	36
FIGURA 3.2-1. MATRICES DE DATOS OBJETIVOS (TARGETS).	38
FIGURA 3.3-1. RED NEURONAL FEEDFORWARD CON 10 NEURONAS.	39
FIGURA 3.3-2. CORRELACIÓN DE CADA UNA DE LAS FUNCIONES CON BASE 10 NEURONAS.	39
FIGURA 3.4-1. RED NEURONAL TANSIG Y APROXIMACIÓN MEDIANTE 5 NEURONAS.	40
FIGURA 3.4-2. RED NEURONAL TANSIG Y APROXIMACIÓN CON 10 NEURONAS.	41
FIGURA 3.4-3. RED NEURONAL TANSIG Y APROXIMACIÓN MEDIANTE 15 NEURONAS.	41
FIGURA 3.4-4. CORRELACIÓN DE FUNCIONES CON BASE EN TANSIG.	42
FIGURA 3.5-1. DIAGRAMA DE RED NEURONAL TANSIG CON 15 NEURONAS.	43
FIGURA 3.5-2. RED DE VALORES ESTIMADOS.	44
FIGURA 4.1-1. COMPOSICIÓN GENERAL DEL TECHO.	46
FIGURA 4.1-2. COMPOSICIÓN GENERAL DE LOS MUROS.	47
FIGURA 4.1-3. VISTA LATERAL DE LA CABAÑA ORIGINAL.	47
FIGURA 4.1-4. INTERIOR DE LA CABAÑA ORIGINAL.	48
FIGURA 4.1-5. MODELO 3D DE LA CABAÑA.	48
FIGURA 4.1-6. MODELO 3D DE LA CABAÑA ACOTADO.	49
FIGURA 4.1-7. VISTA DE PLANTA DE LA CABAÑA.	50
FIGURA 4.3-1. COMPONENTES DE LA RADIACIÓN EN EL ESPACIO.	56
FIGURA 4.4-1. PROCESO PARA UNA SIMULACIÓN DE TERMO FLUIDOS EN ANSYS.	58
FIGURA 4.4-2. MODELO EN 3D PARA LA SIMULACIÓN.	59
FIGURA 4.4-3. DETALLES DEL MODELO.	59
FIGURA 4.4-4. DIFERENTES TIPOS DE MALLA.	60
FIGURA 4.4-5. DETALLES BÁSICOS DE LA MALLA.	60
FIGURA 4.4-6. ESTADÍSTICAS.	61

FIGURA 4.4-7. DISCRETIZACIÓN DEL MODELO DE LA CABAÑA.....	61
FIGURA 4.4-8. MENÚ DE SOLUCIÓN DE ANSYS FLUENT.....	62
FIGURA 4.4-9 CONFIGURACIÓN. “SOLAR CALCULATOR”.....	63
FIGURA 4.4-10. PROPIEDADES DEL AIRE INCLUIDAS EN LA BASE DE DATOS DE FLUENT.....	64
FIGURA 4.4-11. MENÚ DE CONFIGURACIÓN CELL ZONE CONDITIONS EN FLUENT.....	65
FIGURA 4.4-12. MENÚ DE CONDICIONES DE FRONTERA EN FLUENT.....	66
FIGURA 4.4-13. PARÁMETROS DEL MURO EN LAS CONDICIONES DE FRONTERA.....	67
FIGURA 4.4-14. TABLA DE VALORES DE TEMPERATURA EXTERIOR.....	67
FIGURA 4.4-15. MENÚ DE MÉTODOS DE SOLUCIÓN.....	68
FIGURA 4.4-16. PASO FINAL PARA EL INICIO DEL CÁLCULO.....	69
FIGURA 4.4-17. ESCALA DE RESIDUALES DEL CÁLCULO MEDIANTE ANSYS FLUENT.....	70
FIGURA 4.4-188. CORTE TRANSVERSAL. VISUALIZACIÓN DE COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA.....	70

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1-1. VALORES MEDIOS DE TRANSMITANCIA PARA CUATRO ESPECIES DE ÁRBOLES Y COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	6
TABLA 1.1-1.1. MÉTODOS DE PRUEBA NOM-018-ENER-2011	10
TABLA 1.3-1. APORTACIÓN EXTRA POR HIPOTECA VERDE.....	15
TABLA 2.1-1. EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN CONVENCIONAL.	20
TABLA 2.2-1 RELACIONES DE MEZCLAS ELABORADAS CON BASE A VOLUMEN.....	21
TABLA 2.2-2. ABSORCIÓN Y POROSIDAD DE LOS COMPUESTOS.....	24
TABLA 2.3-1. VALORES PROMEDIO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.	26
TABLA 2.3-2. INCERTIDUMBRES PORCENTUALES EN LAS MEDICIONES EXPERIMENTALES	27
TABLA 2.3-3. CALOR ESPECIFICO DE LOS COMPUESTOS ESTUDIADOS.	32
TABLA 2.3-4. DIFUSIVIDAD TÉRMICA DE LOS COMPUESTOS.....	33
TABLA 2.3-5. EFUSIVIDAD TÉRMICA DE LOS COMPUESTOS.....	34
TABLA 3.2-1. FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DE LAS MEZCLAS EXPERIMENTALES.....	38
TABLA 3.5-1. VARIACION DE MEZCLAS ESTIMADAS MEDIANTE REDES NEURONALES.	43
TABLA 4.1-1. DIMENSIONES DE LAS COTAS DE LA FIGURA 4.1-5 Y LA FIGURA 4.1-6.....	49
TABLA 4.1-2. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA DE MUROS CON SU ESPESOR CORRESPONDIENTE.....	51
TABLA 4.1-3. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN EL SISTEMA DEL TECHO. .	51
TABLA 4.1-4. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES DEL PISO.	51
TABLA 4.1-5. PROPIEDADES ÓPTICAS DE LA ENVOLVENTE.....	51
TABLA 4.1-6. PROPIEDADES FÍSICAS: DENSIDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.	51
TABLA 4.4-2. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA SIMULACIÓN CON VALORES ORIGINALES.....	64
TABLA 4.5-1. ERRORES DE LAS TEMPERATURAS ORIGINALES VS LAS TEMPERATURAS DE LA SIMULACIÓN. 73	
TABLA 4.5-2. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA SIMULACIÓN CON MURO DE FIBRAS LEÑOSAS.	73
TABLA 4.5-3. TEMPERATURAS PROMEDIO DE LA SIMULACIÓN CON DIFERENCIA DE FIBRAS LEÑOSAS	73
TABLA 4.5-4. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA SIMULACIÓN CON MURO DE COMPUESTO 1:5(F0.25).	76
TABLA 4.5-5. TEMPERATURAS PROMEDIO DE LA SIMULACIÓN CON DIFERENCIA DE FIBRAS LEÑOSAS.	76

INDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 2.1-1. RELACIÓN MASA Y HR AMBIENTAL EN LAS HORAS DEL DÍA.....	19
GRÁFICA 2.2-1. DENSIDAD DE LOS MORTEROS REALIZADOS.....	23
GRÁFICA 2.3-1. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS COMPUESTOS ANALIZADOS.....	26
GRÁFICA 2.3-2. COMPORTAMIENTO DEL COMPUESTO 1:5 (F025).....	28
GRÁFICA 2.3-3. COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA DEL COMPUESTO 1:1:5.	29
GRÁFICA 2.3-4. COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA DEL COMPUESTO 1:1:5 (F1).....	29
GRÁFICA 2.3-5. COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA DEL COMPUESTO 1:5.....	30
GRÁFICA 2.3-6.COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA DEL COMPUESTO 1:5 (F025).....	30
GRÁFICA 2.3-7. CALOR ESPECÍFICO DE LOS COMPUESTOS ANALIZADOS.	32
GRÁFICA 2.3-8. CAPACIDAD TÉRMICA VOLUMÉTRICA DE LOS COMPUESTOS ANALIZADOS.	33
GRÁFICA 2.3-9. DIFUSIVIDAD TÉRMICA DE LOS COMPUESTOS ANALIZADOS.....	34
GRÁFICA 2.3-10. EFUSIVIDAD TÉRMICA DE LOS COMPUESTOS ANALIZADOS.....	35
GRÁFICA 4.5-1.VARIACIÓN DE TEMPERATURA DEL MODELO ORIGINAL Y EL MODELO SIMULADO EN EL MES DE ABRIL.....	71
GRÁFICA 4.5-2.VARIACIÓN DE TEMPERATURA DEL MODELO ORIGINAL Y EL MODELO SIMULADO EN EL MES DE SEPTIEMBRE.....	72
GRÁFICA 4.5-3. VARIACIÓN DE TEMPERATURA DEL MODELO ORIGINAL Y EL MODELO SIMULADO EN EL MES DE NOVIEMBRE.....	72
GRÁFICA 4.5-4. VARIACIÓN DE TEMPERATURA DEL MODELO SIMULADO Y EL MODELO CON FIBRAS LEÑOSAS EN EL MES DE ABRIL.....	74
GRÁFICA 4.5-5.VARIACIÓN DE TEMPERATURA DEL MODELO SIMULADO Y EL MODELO CON FIBRAS LEÑOSAS EN EL MES DE SEPTIEMBRE.....	75
GRÁFICA 4.5-6. VARIACIÓN DE TEMPERATURA DEL MODELO SIMULADO Y EL MODELO CON FIBRAS LEÑOSAS EN EL MES DE NOVIEMBRE.....	75
GRÁFICA 4.5-7.VARIACIÓN DE TEMPERATURA DEL MODELO SIMULADO Y EL MODELO CON APLANADO DEL COMPUESTO 1:5 (F0.25) EN EL MES DE ABRIL.....	77
GRÁFICA 4.5-8.VARIACIÓN DE TEMPERATURA DEL MODELO SIMULADO Y EL MODELO CON APLANADO DEL COMPUESTO 1:5 (F0.25) EN EL MES DE SEPTIEMBRE.....	77
GRÁFICA 4.5-9-.VARIACIÓN DE TEMPERATURA DEL MODELO SIMULADO Y EL MODELO CON APLANADO DEL COMPUESTO 1:5 F0.25 EN EL MES DE NOVIEMBRE.....	78

RESUMEN.

El crecimiento demográfico actual ha impulsado el desarrollo de nuevos sistemas constructivos para satisfacer las necesidades actuales de confort de vivienda del ser humano. Sin embargo, en algunas ocasiones éstos no son adaptativos a los microclimas del país. El objetivo de este trabajo fue analizar el proceso de transferencia de calor de materiales alternos de origen orgánico, con refuerzo de fibra *Lagenaria siceraria*, para disminuir la ganancia térmica en la vivienda usando la normatividad vigente sobre materiales y sistemas energéticamente eficientes. La metodología se inició con la revisión de bibliografía referente a la temática, posteriormente se realizaron mezclas a base de matriz de cemento Portland I, polvo de piedra caliza y refuerzo de fibra orgánica para analizar las propiedades térmicas con base a las normas ASTM C 177 97 y ASTM C 351 92, éstas fueron referentes en la elaboración de un análisis mediante redes neuronales en el programa MATLAB para estimar conductividades térmicas; con las propiedades térmicas obtenidas, se realizó un análisis de termo-fluidos por medio del programa ANSYS FLUENT con la finalidad de simular condiciones de confort térmico en un espacio. Como resultado se encontró un material que debido a su desempeño térmico, mejora las condiciones de confort, reafirmando la relación de los compuestos elaborados: a mayor cantidad de fibra orgánica, la transferencia de calor disminuye.

INTRODUCCIÓN.

México se encuentra entre los 11 países más poblados del mundo que durante los últimos 65 años ha crecido alrededor de 4 veces (INEGI, 2015). Esto conlleva al aumento del área inmobiliaria, con especial énfasis en la destinada al área de vivienda donde la creciente demanda ha propiciado el aumento de la deforestación para la edificación de conjuntos habitacionales, lo cual ha influido en el comportamiento de la temperatura, observándose estos incrementos en el área de estudio (ANEXO 1)

Tan solo en 20 años la temperatura media anual nacional ha presentado un incremento mayor a 1 °C, llegando en el 2014 hasta un aumento de 1.4 °C. Con respecto al sur de Quintana Roo, la temperatura media registrada en el periodo del 2000 al 2015 fue de 27.4°C y particularmente en los meses de mayo a septiembre se encontraron en un rango de 29.1 °C a 29.6 °C (CONAGUA, 2014). Esto comparado con años previos al año 1980 se encontraba por debajo de 1 °C de las temperaturas actuales (ANEXO 1).

En el estado de Quintana Roo, como en toda la Península de Yucatán, los constructores mayas utilizan aún la palma de huano *Sabal mexicana* y maderas de diferentes especies para los muros de las chozas. Sin embargo, las constantes lluvias y ciclones han hecho poco efectivo este sistema constructivo, migrando al uso del hormigón. Actualmente es común el uso de los sistemas constructivos de vigueta y bovedilla para techos y block de hormigón simple de 15x20x40 para los muros, repellado con diferentes tipos de mortero a base de cemento Portland I y polvo de piedra caliza. Este sistema constructivo es bastante efectivo en una zona con un índice de ciclones tropicales frecuentes, no obstante las propiedades térmicas de los materiales utilizados y el desconocimiento en el diseño de las casas habitacionales, son partícipes de la transferencia de calor hacia los espacios interiores provocando con ello situaciones de discomfort térmico.

Tomando como referencia a García (1995), basado en el criterio de Szokolay, la temperatura neutra observada en el período considerado es de 26.28 °C. Por lo cual es necesario mejorar el desempeño de la envolvente como aislante térmico haciendo uso de los recursos naturales y la investigación hacia compuestos en materiales alternativos, promoviendo un desarrollo simbiótico entre la sociedad y el ambiente.

Por lo que en la presente investigación se discute la necesidad actual por desarrollar y utilizar materiales alternos, el cual se abordó de la siguiente manera. En el capítulo 1 se realizó la búsqueda bibliográfica de algunos programas relacionados con el ahorro energético y certificaciones de viviendas sustentables, con el fin de dar a conocer la normatividad vigente y concluyendo que en muchas ocasiones esta normativa no es utilizada en la construcción en México. En el Capítulo 2, se desarrolló la caracterización de los componentes de los morteros de cemento Portland con refuerzo fibra orgánica *Lagenaria siceraria*, se realizaron las diferentes proporciones con base en la norma ASTM C94 para estudiar sus respectivas propiedades térmicas y su comportamiento en la transferencia de calor hacia recintos cerrados, encontrando que a mayor cantidad de fibra, menor conductividad térmica y mayor calor específico. En el Capítulo 3 se estudió un

modelo heurístico denominado redes neuronales mediante el programa MATLAB, el cual estimó la conductividad térmica de los materiales con diferentes proporciones de mezclas con el fin de ser un sustituto al proceso de producción de compuestos y acelerar el estudio de la transferencia de calor. En el Capítulo 4 se elaboró un modelo de simulación de una cabaña en el programa ANSYS FLUENT, con el propósito de conocer el comportamiento térmico de las temperaturas interiores del modelo, con las propiedades térmicas de uno de los materiales estudiados en el Capítulo 2, el cuál finalizó con una disminución de temperatura en el interior del recinto analizado.

JUSTIFICACIÓN.

En la zona maya de Quintana Roo, existen una variedad extensa de especies naturales, las cuales han sido en algunas ocasiones, utilizadas como utensilios, recipientes y materiales de construcción. Una de estas especies, antiguamente utilizada como cántaro, se denomina “chuj” en lengua maya, siendo su nombre científico *Lagenaria siceraria*. Ésta especie vegetal al pasar por un proceso de secado tiene propiedades físicas hidrofóbicas que han ayudado a la conservación de semillas y líquidos tales como el agua, a una temperatura menor que la temperatura exterior. Esta planta cuyo fruto es de uso tradicional, es parte característica de la milpa maya y puede llegar a ser un detonante económico teniendo un enfoque que favorezca las condiciones tanto en su uso como sustituto del plástico, como su uso en alguna circunstancia particular.

Tomando en cuenta los cambios bruscos de temperatura y las condiciones ambientales del Estado de Quintana Roo, se consideró necesario investigar acerca de un material que por sus propiedades, pudiera ayudar a contrarrestar la transferencia de calor hacia el interior de la vivienda. Por esta razón y basado en trabajos previos alrededor de esta temática, se propuso la fabricación de morteros a base de matriz de cemento Portland I con refuerzo de *Lagenaria siceraria*, esto con el fin de mejorar las condiciones de confort térmico en el interior de la vivienda de la zona maya y de las ubicadas en zonas con características semejantes a partir del análisis de las propiedades físicas, termodinámicas y el comportamiento térmico de un nuevo material alternativo energéticamente eficiente. Dando así, un uso diferente a lo convencional a la especie *Lagenaria siceraria* e induciendo su cultivo en las comunidades rurales.

METODOLOGÍA.

El trabajo relacionó las diferentes metodologías del método científico, por ende se dividió en métodos empíricos y teóricos como sigue.

1. Métodos empíricos.

- **Hipotético-deductivo.**

Con base a la bibliografía y a las observaciones físicas del comportamiento habitacional se consideró relacionar las variables comprometidas en el proceso de transferencia de calor.

- **Experimentación.**

Se realizaron mezclas de diferentes proporciones con fibra orgánica *Lagenaria siceraria* en un ambiente con radiación solar, con base a la norma ASTM C94, el cual establece las proporciones de mezclas en morteros, además de la norma ASTM C 177 97 y ASTM C 351 92 para el desarrollo de las mediciones de conductividad térmica y calor específico respectivamente. Estas mediciones se realizaron en tiempo regular y se introdujeron a las condiciones climáticas del momento: Humedad relativa, radiación y temperatura exterior.

2. Teóricos.

- **Análisis de proporciones.**

Los datos del método experimental fueron acrecentados por medio del programa MATLAB en un sistema denominado redes neuronales debido a la cantidad de tiempo implicado en realizar las mezclas de fibra orgánica con cemento portland.

- **Simulación.**

Los datos encontrados, sirvieron como punto para elaborar una simulación de una cabaña conocida y conocer la relación entre la variación de la transferencia de calor con la proporción del mortero fabricado. Analizando los datos de temperatura generados mediante el programa de simulación ANSYS FLUENT.

APORTES.

Técnicos.

- Una metodología para el análisis del confort térmico en edificaciones, que incluye desde el cálculo de las propiedades térmicas hasta el análisis del comportamiento de los fenómenos de transferencia de calor en un espacio interior.

MARCO TEÓRICO.

Para elaborar el análisis acerca de la influencia de las fibras orgánicas en el ahorro de energía, se hace uso de la simbiosis existente entre el recurso natural y el sistema constructivo, por ende, una de las primeras investigaciones en esta temática fue realizada por Datta (1936), quién realizó pruebas experimentales con el bambú como refuerzo del hormigón en la India, utilizando aceites derivados del petróleo evitando el uso del agua debido a la hidrólisis alcalina, la cual ocurre en las mezclas de hormigón con refuerzos de fibra orgánica. El bambú por su parte, fue uno de los primeros elementos de investigación para aminorar las ganancias térmicas y sigue siendo uno de los principales materiales utilizados en el empleo de mezclas con refuerzos debido a sus propiedades. Truejeque (2009) en cuanto a pruebas mecánicas, realizó un trabajo con base al *Bambusoideae*, en la cual encontró su tendencia a tener la resistencia equivalente a 1/6 con respecto al hormigón, una conductividad térmica de 0.3 W/m°C y una torsión de 2340° angulares. A pesar que en este ejemplo no se ahonda la investigación en matrices con refuerzo de fibras, se consideran puntos base en la caracterización de los materiales.

Desde el punto de vista doméstico y a pesar de que las condiciones climáticas de la región de Quintana Roo no son favorables para su aplicación, la evapotranspiración que usa la evaporación o transpiración de especies vegetales como medio de disipación de energía, es una opción para reducir la ganancia térmica. Torres (2009) realizó la determinación de la Evapotranspiración de una casa popular en la Ciudad de México mediante el análisis de parámetros de temperatura, radiación solar, precipitación y velocidades de viento. En él obtuvo una cantidad de 5.5 mm/día de evapotranspiración realizada por las plantas, lo cual nos lleva a un ahorro energético de baja escala pero importante debido a que el techo de la mayoría de las edificaciones es usualmente la mayor ganancia térmica.

Una de las aplicaciones más comunes de las especies vegetales como los árboles es el efecto sombra debido a la radiación solar. Bansal (1994) menciona la distribución de porcentajes sobre la energía solar incidente sobre determinadas especies de árboles comunes en Barcelona, España. Del 100% de la energía, las plantas absorben entre 5-20% en el proceso de la Fotosíntesis, emiten entre el 5-20% por medio de la reflexión en las hojas, disipan por evapotranspiración 20-40%, emiten entre el 10-15% y transmiten 5-30%. Al realizar la comparación de la transmitancia de 4 variedades de plantas encontró que el *Platanus acerifolia* tiene valores bajos, por lo cual se considera el mejor espécimen para utilizar en el verano, (vease Tabla 1.1-1). Cabe mencionar que aunque las plantas son reductoras de los efectos de la radiación del cercano infrarrojo, no bloquean la transferencia totalmente, por lo cual una buena ventilación y la elección de determinadas especies de la zona son la clave en el ahorro energético.

Tabla 1.1-1. Valores medios de transmitancia para cuatro especies de árboles y componentes de la radiación solar.

Especie	Tipo de radiación	Transmisividad %			
		Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Platanus acerifolia (Plátano común)	Global	60.0	9.8	23.9	41.1
	Difusa	75.3	13.7	29.4	49.1
	Directa	56.5	8.9	22.7	39.3
Morus alba (Morera)	Global	34.3	31.4	38.7	66.4
	Difusa	44.8	39.8	47.6	74.1
	Directa	31.9	29.5	36.7	64.6
Fraxinus excelsior (Fresno común)	Global	20.9	16.2	65.8	70.5
	Difusa	22.4	27.3	61.1	68.3
	Directa	20.6	13.7	66.9	71.0
Melia azedarach (Melia)	Global	30.5	25.8	41.2	45.6
	Difusa	21.3	17.2	36.1	42.8
	Directa	32.4	22.9	42.4	46.2

Un análisis similar fue realizado por Alamilla, *et al.* (2009) en Quintana Roo, donde se analizó de manera más específica la influencia de los recursos naturales en el ahorro de energía. Para ello utilizaron una muestra representativa de 189 viviendas de interés social, donde en el 51% de ellas existía la presencia de un árbol denominado *Ficus refusa*. Se encontró que en los lugares en donde este recurso tenía presencia, el consumo de energía se reducía hasta en un 18%.

Los materiales tradicionales para la edificación, usadas antes de la revolución de los materiales están basados en investigación empírica de cientos de años, como lo son las maderas, el huano, el zacate, la paja entre otros. Actualmente se tiene una extensa investigación acerca de posibles materiales como por ejemplo: la paja, la fibra de coco, las algas de mar, la cascara de arroz, las mazorcas del maíz, las cuales tienen efecto en la mitigación de la ganancia térmica. Una de las investigaciones en ahorro energético de la vivienda fue elaborada por Castañeda (2009), que presentó una comparación de concreto armado y viga losa. En el proceso realizó un techo de concreto armado y uno de Viga losa con 4 aislantes desde naturales hasta sintéticos (PET, Poliestireno, Cáscara de coco, Aserrín de madera de pino), en los cuales encontró que la Viga losa con relleno de Cáscara de coco tenía un mayor impacto como aislante térmico incluso comparándolo con el Poliestireno, el concreto armado por su parte desde el inicio fue desplazado por la Viga losa. Para estos análisis, los resultados de retardo, amortiguamiento y ganancia térmica fueron los principales objetos de estudio.

En cuanto al uso de compuestos fibrosos, Bojórquez (2003) realizó estudios con fibras de la región del Sureste Mexicano, realizó pruebas respecto a proporciones, propiedades mecánicas y propiedades térmicas. En primera instancia encontró las proporciones ideales para utilizar con materiales de origen orgánico de densidad baja, utilizando el modelo del hexágono, el cual plantea realizar un número considerable de muestras con el propósito de determinar las relaciones A/C y A/F (Agua-cemento, Agua-fibra respectivamente). Realizó el estudio de la resistencia a la compresión de las muestras y la conductividad térmica (k) de un bloque de fibras leñosas obteniendo como resultados las proporciones de mayor estabilidad alrededor del 50% en A/C - A/F, Resistencias a la

compresión en las mezclas desde 15 MPa hasta 30 MPa y la determinación de k promedio en $0.18 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

Onésippe (2010) por su parte examinó las propiedades térmicas de los compuestos reforzados con bagazo de caña de azúcar al 1.5% y 3% (Respecto al volumen total del compuesto), uno agregando bagazo rectificado y otro reforzado con fibras alcalinas. Se realizó a su vez la caracterización del bagazo de caña mediante pruebas experimentales y a su vez determinó las conductividades térmicas de ambos compuestos de matriz de cemento reforzado. Encontró que la conductividad térmica se encontró alrededor de 0.62 W/m K sin fibra y con fibra 0.42 W/m K , el efecto el bagazo.

Sin embargo, los materiales orgánicos no fueron los únicos que avanzaron en desarrollo, actualmente existen una vasta cantidad de materiales plásticos y no orgánicos manufacturados en la industria actual con el objetivo de ser amortiguadores de calor y tener propiedades térmicas óptimas, para su uso en diferentes actividades, tanto en el uso habitacional como en el industrial. Bunker, Plaka yeso Rh, Acustic-K y Plaka Rf son ejemplos de materiales utilizados como placas aislantes de temperatura, de calor del fuego y de absorción de sonido, como estos existen cientos de materiales aislantes sintéticos que han acaparado el mercado internacional desde el término de la segunda guerra mundial en 1945.

Estos trabajos tienen diversas metodologías en la investigación de materiales, desde el desarrollo de los mismos hasta el análisis de la transferencia de calor; Cabe mencionar que no existe una variedad amplia de autores que relacionen el cemento con refuerzo de fibra orgánica ni se ha analizado la transferencia de calor como régimen transitorio sino que únicamente en estado estacionario. Por lo cual es necesario realizar las siguientes cuestiones:

- ¿Existe una metodología recomendada para elaborar compuestos con fibras orgánicas?
- ¿Es posible encontrar tendencias de conductividades térmicas mediante algún programa informático?
- ¿La fibra orgánica puede reducir la ganancia térmica en compuestos con base en cemento portland?
- ¿Existe alguna relación entre la cantidad de fibra y la variación de las propiedades térmicas y físicas?
- ¿Qué tan eficaz puede resultar el interior de un recinto con refuerzo de fibra orgánica a uno con sistemas constructivos convencionales?

HIPÓTESIS.

El componente de la fibra *Lagenaria siceraria* en morteros puede influir positivamente en la disminución de la ganancia térmica comparándose con algunos compuestos que se encuentran en venta en el mercado internacional.

OBJETIVOS.

GENERAL.

Elaborar una mezcla con matriz de cemento Portland tipo I unido con un refuerzo de *Lagenaria siceraria* con el fin de encontrar un material alternativo cuyas características térmicas sean capaces de disminuir las ganancias de calor en la vivienda local.

ESPECÍFICOS.

1. Recomendar una nueva metodología en el análisis térmico de los espacios interiores.
2. Utilizar una nueva metodología para determinar las conductividades térmicas mediante un algoritmo de Redes Neuronales Tipo Feed-forward utilizando el programa MATLAB 2010.
3. Elaborar una comparación de la envolvente con materiales tradicionales y materiales con refuerzo de *Lagenaria siceraria* mediante simulación en el programa ANSYS FLUENT.
4. Análisis comparativo de las propiedades térmicas de los morteros *Lagenaria siceraria* con los morteros de fibras orgánicas.

CAPÍTULO I. NORMATIVIDAD Y REGLAMENTACIÓN DE LA EDIFICACIÓN SUSTENTABLE EN MÉXICO.

Actualmente México cuenta con una serie de normas oficiales en las cuales se acatan los derechos y responsabilidades en las que se encuentran inmersas las empresas y los individuos del territorio nacional, tanto las normas y las leyes de protección al consumidor como las técnicas referentes a las instalaciones eléctricas, hidráulicas, hídricas con un énfasis en el aspecto energético. A pesar de que en el 2013 fue impulsada la llamada reforma energética, en las cuales se pretendió mejorar el desarrollo energético de México no se han realizado grandes modificaciones a los sistemas de construcción de las diferentes zonas y se han mantenido las mismas desde los años 90's, siendo actualizados únicamente a los dirigentes públicos.

El desarrollo de México está regido por 3 normas principales, en las cuales recae la aceptación de algunas actividades en diferentes ámbitos del territorio, llámense ambientales, políticos, constructivos, humanitarios, entre otros. Por esta razón las normas son divididas en 3 normas de aceptación Mexicana:

- Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) cuyo objetivo es regular diseño, producción y bienes de servicios cuando constituyen un riesgo para personas y el medio ambiente
- Las Normas Mexicanas (NMX) Establece los requisitos mínimos de calidad de productos y servicios. En la mayoría de los casos su aplicación es voluntaria.
- Las Normas de Referencia (NRF) Realizadas por la administración pública federal cuando las normas nacionales o internacionales no cubran con los requerimientos correspondientes.

1.1. Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética en Edificaciones.

Los mecanismos de ahorro energético en edificación se rigen actualmente por 4 normas establecidas en la norma oficial mexicana, determinadas por las normas siguientes:

1.1.1. NOM-008-ENER-2001- Eficiencia energética en edificaciones, envoltorio de edificios no residenciales.

La norma anteriormente mencionada es una norma que rige la ganancia de calor por medio del diseño, con base a la aplicación de parte soles, del cálculo de resistencias térmicas de los materiales y de los valores de la Irradiación contenidas en el documento (CONUEE, 2001).

Con respecto a datos de conductividad térmica, en el caso del fibrocemento (Mezcla de Cemento con madera), la Norma Oficial 008-ENER-2001 indica que se encuentra en un valor de 0.076 W/m°C.

1.1.2. NOM-009-ENER-1995- Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales.

La presente norma tiene como fin disminuir las pérdidas energéticas en el ambiente, mediante el uso de aislamientos térmicos en las instalaciones industriales. Los rangos de aplicación de temperatura para esta norma se encuentran entre los -75°C y 815°C. Presenta una serie de procedimientos de

cálculo de coeficientes de transferencia de calor por conducción, convección y radiación en la aplicación de superficies planas (SENER, 1995).

1.1.3. NOM-020-ENER-2011- Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios para uso habitacional.

La Norma Oficial 020 se trata de una actualización a la Norma anterior 008-ENER-2001, incluyendo ciertos puntos de la normativa de la NOM-008-ENER-1995 en la cual de la misma forma proporciona las ecuaciones y rige las asíntotas de los cálculos necesarios para certificar un edificio por medio de la envolvente en energéticamente eficiente (CCNNPURRE, 2011). Sin embargo, se ha demostrado por investigaciones que únicamente se maneja un sistema estático de cálculos, los cuales son independientes del tiempo y por lo tanto pueden llegar a existir incertidumbres mayores en las mediciones de campo reales (G. Barrios, 2012).

1.1.4. NOM-018-ENER-2011 Aislantes térmicos para edificaciones. Características y métodos de prueba.

Con base a la Norma Oficial Mexicana, esta norma mencionada tiene como propósito delimitar los métodos de prueba en la cual se evalúan conductividad térmica, densidad aparente, permeabilidad al vapor de agua, adsorción de humedad y absorción de agua de los materiales homogéneos, que se comercializan en el país con propiedades de aislantes térmicos.

Como propósito tiene incrementar el ahorro de energía y la preservación de los recursos energéticos a través de la utilización de “mejores materiales” para aislar térmicamente las edificaciones (SENER, 2011).

Tabla 1.1-1.1. Métodos de prueba NOM-018-ENER-2011

Propiedades	Método de prueba
Densidad aparente	NMX-C-125-ONNCCE-2010 NMX-C-126-ONNCCE-2010 NMX-C-213-ONNCCE-2010 NMX-C-258-ONNCCE-2010
Conductividad térmica	NMX-C-181-ONNCCE-2010 NMX-C-189-ONNCCE-2010
Permeabilidad al vapor de agua	NMX-C-210-ONNCCE-2010
Adsorción de humedad y absorción de agua	NMX-C-228-ONNCCE-2010

Fuente: NOM-018-ENER-2011.

En cuanto a los materiales heterogéneos la norma 018 la indicada para elaborar análisis en los materiales y colocarlos en alguna categoría.

1.2. Normativa nacional y certificaciones extranjeras en la construcción de vivienda energéticamente sustentable.

Las siguientes normas no se consideran oficiales por la federación, aunque eso no los hace menos importantes, ya que algunas de las normas oficiales se basan en las consideraciones de las presentes Normas Mexicanas.

1.2.1. Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013. Edificación Sustentable- Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos.

El objetivo de esta norma mexicana es especificar los requerimientos ambientales mínimos para una edificación sustentable mediante el aprovechamiento ideal de los recursos naturales. Esta norma es una recopilación de normas de preservación de aguas, optimización eléctrica, uso de energías renovables y la aplicación de las normas oficiales que conllevan a un edificio sustentable. En el caso del uso eficiente de la energía en los edificios, únicamente hace referencia a las NOM oficiales anteriormente mencionados. (AISLANTES MINERALES, S.A DE C.V; AMERICAN CONCRETE INSTITUTE- CENTRO Y SUR DE MÉXICO (ACI), 2013).

En cuanto a fabricación de matrices de compuesto orgánico, la reglamentación que rige los procesos no se encuentra como NOM, sino como una independiente de las NMX.

En la normatividad para la vivienda sustentable de igual forma se encuentran las normas ambientales **NMX-AA-171-SCFI-2014** y la **NMX-AA-SCFI-157-2012**, que se refieren a el desempeño ambiental de establecimientos de hospedaje (TURÍSTICOS & AMBIENTE, 2014). Y a los requisitos para la selección de sitio, diseño, construcción, operación y abandono de sitio en la zona costera de la Península de Yucatán respectivamente (K'AAN, INMOBILIARIOS, & AL, 2012).

1.2.2. Norma Mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009. "INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AISLAMIENTO TÉRMICO – VALOR “R” PARA LAS ENVOLVENTES DE VIVIENDA POR ZONA TÉRMICA PARA LA REPÚBLICA MEXICANA - ESPECIFICACIONES Y VERIFICACIÓN."

El objetivo primordial de esta se encuentra incrustada en el título y es el cálculo de la resistencia total de una edificación con base a la NOM-018-ENER, esto es, la determinación del aislante térmico que debe de tener una edificación en relación a su zona térmica. Quintana Roo, como toda la Península de Yucatán se encuentra en la zona térmica 1, por lo tanto le corresponden ciertos valores de resistencia para evitar el disconfort térmico (Aislantes Minerales, S.A. de C.V. (ROLAN); Armacell, Inc; AEAE, 2009).

1.2.3. Certificaciones internacionales para la vivienda.

Como marco informativo es de vital importancia conocer las certificaciones internacionales de vivienda sustentable, debido a que en estas mismas se encuentran inmersas las Normas Internacionales.

1.2.3.1. Leadership in Energy and Environmental Design (LEED).

Certificación de alto impacto creado por la U.S Green Building Council (USGBC), en la cual se dividen por proyectos y tipos de certificación, que van desde certificaciones en el diseño y construcción de edificaciones hasta la certificación de hogares. En total existen 21 tipos de certificaciones que ofrece la empresa. Existe un rango de certificación acorde al puntaje, avanzando por cada 10 puntos obtenidos. Esto es desde la certificación normal (40-49 puntos), la Certificación de Plata (50-59), Certificación Oro (60-69) y la Certificación Platinum (80+) (USBG, 2016).



Figura 1.2-1. Certificaciones LEED.

Fuente: <http://www.usgbc.org/discoverleed/certification/all/>

1.2.3.2. Certificación del sistema evaluador Energy Star.

Esta certificación se realiza de forma voluntaria en algunos estados en EUA, aunque también es posible encontrar una reproducción parcial por medio de la CONNUE, es necesario enfatizar que la mayoría de los parámetros que maneja la certificación no se encuentran en la base de datos de la misma. Para reconocer a un Edificio con la certificación Energy Star la evaluación del edificio se realiza en una escala del 1 al 100, siendo la puntuación de 50 un edificio promedio y por lo tanto no es posible establecerle el

sello de certificación. Rodríguez (2010) elaboró la evaluación de la sustentabilidad ambiental en la construcción y administración de edificios en México, en la cual hace mención de las certificaciones importantes aplicadas con base a la normatividad mexicana. Las consideraciones van desde la construcción, la energía utilizada, cantidad de personas, ambientes externos y otros.

1.2.3.3. Living Building Challenge (International Living Future Institute)

Esta certificación fue creada en el año 2006 y busca la aplicación de las edificaciones con energía cero o Net Zero Energy , en donde una de las reglas principales es la utilización únicamente de energías renovables y las escalas van dependiendo la solución tecnológica, casa habitación, hoteles, industrias etc. Es una certificación muy rigurosa pero bastante completa. (International Living Future Institute, 2006)

1.2.3.4. EarthCheck

Es una de las empresas certificadoras a nivel internacional en las cuales según datos de la página oficial comenzó a operar en México junto a FONATUR desde el 2012 (EarthCheck, 2016). Esta certificación trata de apoyar a gobiernos locales enfocados a mejorar la eficiencia en edificios mediante la aplicación de las normas internacionales.

1.2.3.5. BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) es una empresa certificadora del reino unido, fundada en los años 1990 y permitiendo la aplicación de la certificación a nivel internacional en el 2008. Sus sistema se basa en un esquema de evaluación aplicable a diferentes tipos de edificación (BREEAM, 2008)



- BREEAM® ES **Urbanismo**, destinada a mejorar la sostenibilidad de los proyectos urbanísticos.
- BREEAM® ES **Vivienda**, aplicable a viviendas unifamiliares y viviendas en bloque.
- BREEAM® ES **Nueva Construcción**, aplicable a edificios de nueva construcción. Este esquema de certificación, vigente desde Enero de 2015, es la evolución del antiguo "BREEAM® ES Comercial", que ya permitía evaluar obra nueva destinada a oficinas, industria y comercio. Ahora, amplía su aplicabilidad a edificios sanitarios, educativos, deportivos, culturales, hoteleros, recreativos, judiciales, etc.
- BREEAM® ES **A Medida**, que permite evaluar edificios singulares no incluidos en Nueva Construcción y Vivienda.
- BREEAM® ES **En Uso**, que constituye una oportunidad importante de afrontar el impacto ambiental de los edificios existentes así como la mejora de su gestión.

Figura 1.2-2. Esquema de Certificación BREEAM.

Fuente: <http://breeam.es/index.php/certifica/esquemas-de-certificacion>

1.3. Medidas y programas para el ahorro de energía en la vivienda Mexicana.

México se ha esforzado por implementar cierta clase de políticas públicas para el ahorro energético en la vivienda con sellos de vivienda sustentable, Aunque en muchas ocasiones, no ha dado los frutos esperados. A pesar de eso, el Gobierno Federal de la Nación ha ido creando programas de viviendas “Sustentables”, con el objetivo de ser energéticamente eficiente. Disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, evitar el consumo excesivo de agua y mejorar la calidad de vida. (Embajada Británica en México, 2013)

- Hipoteca Verde – Infonavit
- Ésta es tu Casa – CONAVI
- Código de Edificación de Vivienda- CONAVI
- Vida Integral Infonavit: Vivienda Sustentable- Infonavit
- Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables (DIUS).

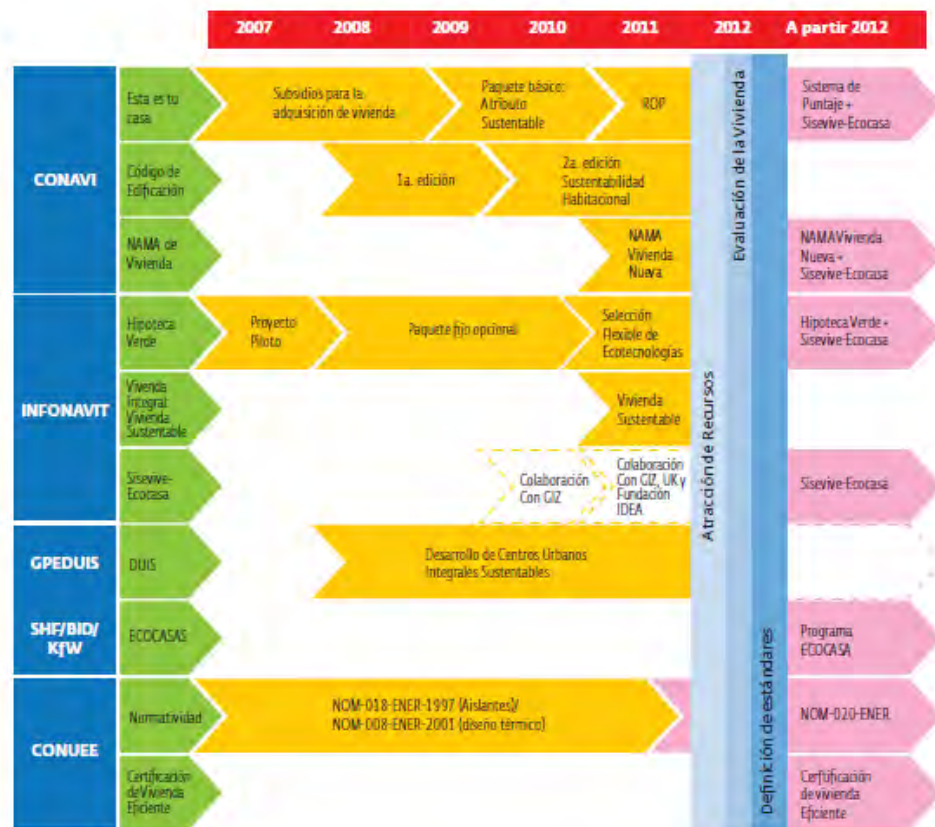


Figura 1.3-1. Programas de Vivienda Nacional.

Fuente: Embajada Británica en México, Fundación IDEA.

1.3.1. Hipoteca Verde

El incentivo denominado hipoteca verde, comenzó como un programa piloto en el 2007 y a partir del 2010 se empezó a autorizar los montos, esto es, un presupuesto adicional al monto que el derechohabiente tiene autorizado para adquirir una vivienda con tecnologías eficientes que disminuyan el consumo de agua, energía eléctrica y disminuir las emisiones de CO₂ al ambiente (INFONAVIT, 2010). Estos montos se rigen por los ingresos mensuales, que se pueden observar en la Figura 1.3-1.

Tabla 1.3-1. Aportación extra por Hipoteca Verde.

Si tu ingreso mensual es:		Podrás tener un monto máximo de crédito adicional de:	Y un ahorro mínimo mensual de:
\$ 2,220.41	\$ 3,552.65	\$4,440.82	\$100.00
\$ 3,552.65	\$ 8,526.37	\$22,204.1	\$215.00
\$8,526.37	\$14,921.15	\$22,204.1	\$250.00
\$14,921.15	\$23,447.52	\$33,306.15	\$290.00
\$23,447.52	en adelante	\$44,408.2	\$400.00

Fuente: <http://portal.infonavit.org.mx>

1.3.2. Ésta es tu Casa

Es un programa subsidiado por medio del presupuesto de la CONAVI, que tiene la finalidad de apoyar a personas de bajos recursos a obtener viviendas dignas (COPARMEX, 2016). Para ser beneficiario se tiene que cumplir ciertos requisitos establecidos mencionados a continuación:

- Obtener ingresos menores a 5 salarios mínimos, esto es \$9,474.16¹, actualmente.
- No haber sido beneficiario por ningún subsidio federal de vivienda.
- Tener CURP.
- No tener vivienda.
- Realizar el aporte del monto de ahorro correspondiente.
- Tener financiamiento autorizado por el programa.

Las modalidades aplicables mediante este subsidio son las siguientes:

1. Adquisición de Vivienda Nueva o Usada
2. Mejoramiento de Vivienda
3. Adquisición de Lote con Servicios
4. Autoconstrucción o Autoproducción de Vivienda.

1.3.3. Código de Edificación de Vivienda (CEV)

Por medio de la CONAVI, se desarrolló el CEV, el cual tiene como objetivo regular aspectos específicos en el proceso de la edificación de la vivienda, incorporando las

¹ Es necesario mencionar que actualmente el salario mínimo fue homologado en toda la república mexicana, siendo establecida por la comisión de salarios mínimos en el DOF el 18 de diciembre de 2015 y vigente a partir del 1 de enero del 2016 como única de \$73.04 MNX

normas y leyes que rigen la construcción segura. Este código consta de 10 partes que se desarrollan básicamente en 3 parámetros:

- Parámetros administrativos.
 - Permisos y licencias necesarias, así como las inspecciones y control de la edificación.
- Parámetros Urbanos y de diseño del edificio.
 - Se refiere a la parte técnica, en la cual se desenvuelven los parámetros urbanos necesarios para el desarrollo de comunidades funcionales y sustentables.
- Parámetros técnicos para la edificación.
 - Funcionalidad. El uso satisfactorio de las viviendas y unidades habitacionales
 - Seguridad. Seguridad estructural.
 - Habitabilidad y sustentabilidad. Higiene salud y protección al medio ambiente.

El Código de edificación y vivienda pretende consolidar un cambio estructural en la normativa aplicable actualmente, siendo este, un manual bastante completo y de mucha utilidad y trascendencia para la edificación futura en México (CONAVI, 2014)

1.3.4. Vida Integral Infonavit: Vivienda Sustentable.

Esta es una medida aplicada desde el 2011 por medio del INFONAVIT, en el cual se incentiva a la vivienda sustentable, mediante el análisis de atributos como sustentabilidad ambiental, social y económica. El Infonavit incentiva viviendas que tengan las características siguientes:

- Bien Ubicada
- Cómoda
- Moderna
- En una comunidad solidaria y responsable
- Construida por los mejores desarrolladores en un marco de planeación urbana: Esto se refiere al “índice de satisfacción del acreditado” para los desarrolladores o constructores.

Las viviendas aprobadas son pagadas de inmediato por el instituto, aun cuando se haya fila para iniciar el trámite de crédito (INFONAVIT, 2012).

1.3.5. Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables (DIUS).

Este esquema es un nuevo modelo de sector de vivienda que se ha ido implementando de manera gradual en México denominados DIUS, en el cual participan la SHCP, SEDESOL, SEMARNAT, SENER, SECRETARIA DE ECONOMIA, CONAVI, INFONAVIT, FOVISSSTE, BANOBRAS, FONADIN, PROMEXICO y SHF. Por medio de patrocinadores se pretende aceptar proyectos de aprovechamiento de suelo y de creación de lotes bajo el esquema de Nuevas Ciudades y Comunidades. En el 2010 ya se contaba con 5 DIUS certificados por un instituto fomentado por las mismas secretarías mencionadas anteriormente, denominado GPDIUS (SHCP, 2011).

CAPÍTULO II. EXPERIMENTACIÓN.

El estudio de los materiales se ha realizado tiempo atrás por diversas civilizaciones haciendo uso del método científico, conocer el olor, sabor, textura, comportamiento en situaciones de temperaturas extremas y estudios de compresibilidad basados únicamente en prueba-error y de forma arcaica. Debido a la amplia disponibilidad de los recursos naturales en las zonas tropicales como Quintana Roo, es de vital importancia la búsqueda constante de formas eficaces de aprovechamiento, induciendo al uso y promoviendo su importancia para los organismos que habitamos esta región.

Con base en los objetivos de la tesis, se persigue encontrar una mezcla con la fibra *Lagenaria siceraria* que cumpla ciertos requisitos térmico-mecánicos que permita realizar las mediciones correspondientes a las propiedades físicas esenciales en la investigación. A partir de las relaciones A/C y F/C del método del polígono se tienen expectativas positivas en la búsqueda de las proporciones necesarias y las características físicas que puedan ser viables como reductores de ganancia térmica en la edificación (Bojórquez, 2005).

A pesar de que el estudio del mortero ha sido realizado con materiales de calidad media, con respecto a la calidad del agua y a que la fibra de *Lagenaria siceraria* nunca ha sido utilizado como refuerzo en morteros (ACI committe 544, 1998). La presente investigación puede ser una base para futuros estudios con variantes de la especie o abrirle paso a nuevos elementos que se encuentran en nuestra vida cotidiana y en nuestra región.

Inicialmente se requieren 3 pasos: 1. Caracterización de los componentes en los cuales se pretende ahondar en las propiedades base del material de mortero; 2. Determinación de porcentajes para mezclas, que pretende encontrar la mejor proporción de a/c y f/c; 3. Análisis de propiedades térmicas, que consiste en la determinación de las propiedades de transporte y termodinámicas de cada compuesto elaborado.

Una descripción más detallada se proporciona a continuación, como base para la explicación específica de cada uno de los pasos mencionados:

1. Caracterización de los componentes.

1.1. Matriz.

1.2. Refuerzo.

1.2.1 Contenido de humedad de las fibras.

1.2.2. Obtención de polvo *Lagenaria siceraria*.

2. Determinación de porcentajes para mezclas en morteros.

2.1. Relaciones de fabricación de morteros.

2.2. Elaboración de morteros.

3. Propiedades térmicas:

3.1. De Transporte.

3.1.1. Conductividad térmica.

3.1.2. Amortiguamiento y retardo térmico.

3.2 Termodinámicas.

3.2.1. Calor específico.

3.2.2. Difusividad y efusividad.

3.2.3. Densidad.

2.1. Caracterización de los componentes.

Los componentes de la mezcla están constituidos por una serie de elementos básicos, matriz de cemento Portland con y sin cal aunado a un refuerzo de fibra *Lagenaria siceraria*. En el apartado siguiente se presentan las características de los materiales que constituyeron los morteros elaborados.

2.1.1. Matriz.

La matriz de la mezcla está constituido por materiales comerciales del sureste de México: El cemento Portland Tipo I, se clasifica de acuerdo a la NMXC-414-ONNCE-1999 como CPC 30R de Resistencia Inicial de a los 3 días y de a a los 28 días.

La cal se denomina como cal comercial con fórmula $\text{Ca}(\text{OH})_2$, hidróxido de calcio y regulada por la Norma Mexicana NMX-C-003-ONNCE-1996.

2.1.2. Refuerzo.

Debido a la necesidad por encontrar nuevos materiales para la edificación en la Zona Maya y a la búsqueda del desarrollo económico regional, se elige un refuerzo con propiedades para mantener a menor temperatura recintos cerrados : la fibra *Lagenaria siceraria* con un diámetro de granulometría de 2mm y una densidad promedio de 5 g/cm³.



Figura 2.1-1. Especie *Lagenaria siceraria*.

El polvo de piedra comercial, encontrado en la zona sur de Quintana Roo con granulometría Núm.10 equivalente a 2.00 mm, la conductividad térmica de la piedra caliza es de 1400 W/m K, definida por la norma NMXC-414-ONNCE-1999.

2.1.2.1. Contenido de humedad de la fibra.

Una de las características principales de las fibras es la facilidad de intercambio de humedad con el ambiente, perdiéndolo o ganándolo según las condiciones de operación. La humedad puede existir en 2 estados diferentes (Young, 1998).

- Encontrado en agua libre o vapor de agua dentro de las cavidades de la fibra.
- Como agua constitutiva o de enlace.

En el estudio del contenido de humedad de la fibra se realizaron 5 muestras midiendo el peso inicial antes de ingresar al horno y el peso final después de ser retiradas del mismo.

Después se realizó la medición de masa cada hora en 8 horas para obtener una relación de tiempo y masa como se puede observar en la Gráfica 2.1-1.

El contenido de humedad puede encontrarse con una relación porcentual simple de masas como se indica en la ecuación.

(2.1)

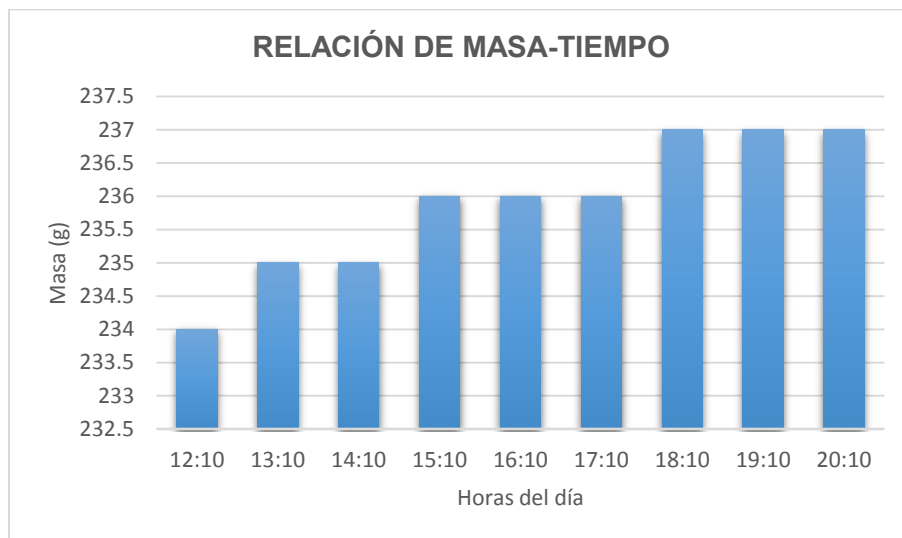
Donde:

= Absorción.

= Masa saturada parcialmente seca.

= Masa seca en estufa.

El peso del agua libre se puede obtener con la diferencia entre el peso de la fibra con humedad ambiente y el peso de la fibra seca (Alvarado, 2002). La fibra *Lagenaria siceraria* se encontró con un contenido promedio de humedad del 6%, resultado que está de acuerdo a la norma ASTM C 1185 99. La relación masa- tiempo de la nos da una idea de la cantidad de absorción de la fibra a través del tiempo, con base en las mediciones extras realizadas. Aunque únicamente es una característica de la fibra y no de los compuestos realizados en esta investigación.



Gráfica 2.1-1. Relación masa y HR ambiental en las horas del día.

2.1.3. Metodología para la obtención del polvo *Lagenaria siceraria*.

Para realizar de manera eficiente la obtención del polvo *Lagenaria siceraria*, se fabricó una base adaptativa para un taladro y un cabezal con lija de madera Núm.100 evitando lo mínimo posible las impurezas con la piedra de lija. Los tiempos y la eficiencia de producción se observan en la Tabla 2.1-1.

Tabla 2.1-1. Eficiencia de producción Convencional.

Núm. De muestra.	Tiempo de extracción	Eficiencia de producción casera (%)
1	4	76
2	4	78
3	4	80
4	4	77.14
5	4	78.18

2.2. Determinación de porcentajes para mezclas de morteros.

Previamente no se tenía un método exacto para elaborar las mezclas, pero después de ciertas experiencias obtenidas en la literatura se inicializó la determinación de los porcentajes de cada uno de los componentes de la mezcla se elaboró con base a los análisis previos (Bojórquez, 2005). El modelo del hexágono observado en la Figura 2.2-1 para determinar las relaciones Agua/Cemento y Fibra/Cemento, juega un papel crucial en la fabricación de los compuestos. Las muestras estudiadas corresponden a relaciones f/c desde 0.5 hasta 2.5.

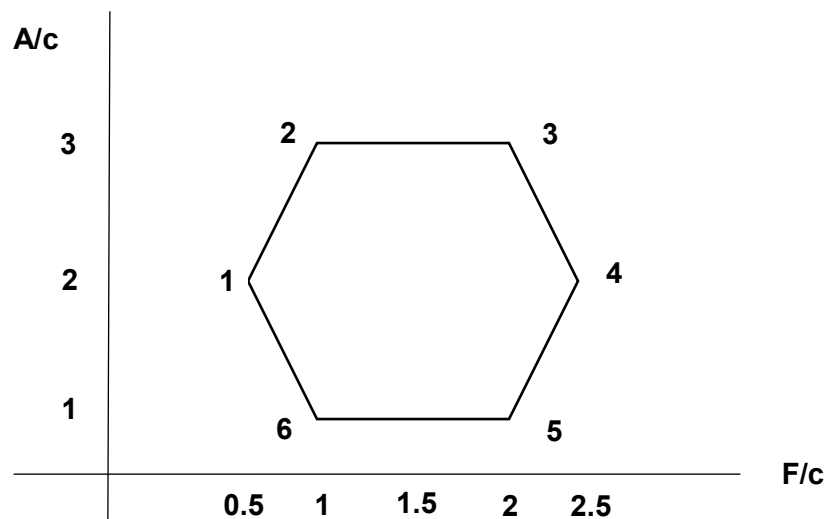


Figura 2.2-1. Modelo del hexágono para dosificaciones de mezcla.

Para comprender las relaciones utilizadas por medio del método del hexágono es preciso utilizar un modelo de regresión cuadrática, en el cual se aplica normalmente el método de mínimos cuadrados para su resolución, con el objetivo de tener una base para desarrollar las ecuaciones 2.2 y 2.3.

(2.2)

Aplicando para 2 factores se tiene:

(2.3)

Sin embargo, en el estudio de las relaciones térmicas del compuesto, las cuales son de principal índole, no se pretende hacer la relación de las variables, únicamente tiene como carácter ser de uso informativo respecto a la metodología de la fabricación de mezclas y para su uso en las relaciones de densidad y resistencia mecánica.

2.2.1. Relaciones en la fabricación de morteros.

Las mezclas fueron elaboradas con base en el cálculo de relaciones de masa, no obstante, se determinó que las relaciones en volumen de fibra/Cemento y Agua/Cemento son de mejor manejabilidad. El producto de la fibra *Lagenaria siceraria* fue sometido a un proceso de secado con ayuda de un horno industrial a temperatura controlada de 105 ± 2 °C, para luego ser utilizada en las mezclas en diferente porcentaje, utilizando como base los vértices que permitieron manejabilidad en el mortero en los estudios. La Tabla 2.2-1 presentan las mezclas realizadas.

Tabla 2.2-1 Relaciones de mezclas elaboradas con base a volumen

Muestra	Cemento	Cal hidratada	Polvo	Relación Fibra/ Cemento (x1)	Relación Agua/Cemento (x2)
1	1	1	5	-	3
2	1	1	5	1	3
3	1	-	5	-	3
4	1	-	5	0.25	3
5	1	-	5	1	3

2.2.2. Elaboración de morteros

Para elaborar la mezcla en las diferentes proporciones, se basó en la norma ASTM C94, este se realizó un procedimiento con ayuda de una batidora tipo industrial Modelo 6 OT 575 W y una báscula de precisión AND modelo EK-12kg.



Figura 2.2-2. Batidora industrial 6OT 575.

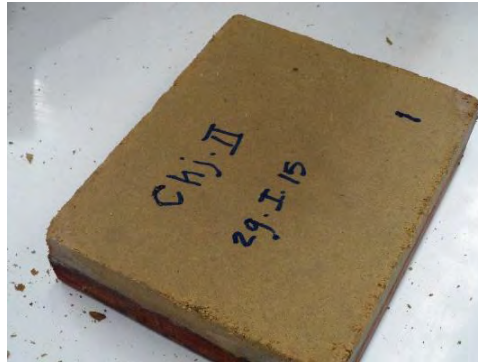


Figura 2.2-3. Mezcla 1:F2 desmoldada a los 7 días.

Para la fabricación de materiales en volumen, se utilizaron porciones de 250 ml a las cuales llamamos unidades.

1. Se colocaron 5 unidades de polvo de piedra caliza
2. Se colocó 1 unidad de cal hidratada en la superficie
3. Posteriormente se colocó 1 unidad de cemento
4. se vertieron 3 unidades de agua.
5. Se colocó una unidad de polvo *Lagenaria siceraria*.
6. Se vertió en moldes utilizados para pruebas térmicas.
7. Se dejó reposar en periodos de 3 días antes de desmoldar sin presión.

El siguiente procedimiento anterior basado en la norma mencionada, fue elaborado de esta manera para evitar lo mejor posible los grumos en el mortero.

Los compuestos elaborados de esta forma fueron los siguientes: 1:1:5, 1:1:5 (F1), 1:5, 1:5(F025), los primeros 2 elaborados con cal hidratada y las siguientes sin elemento de cal.



Figura 2.2-4. Compuesto 1:1:5 en espera de desmoldar.

2.2.2.1. Densidad, absorción y porosidad de compuestos.

La densidad de los morteros elaborados fue realizada por medio de la ecuación 2.4, que involucra la masa y el volumen en cada una de las mediciones elaboradas.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.4)$$

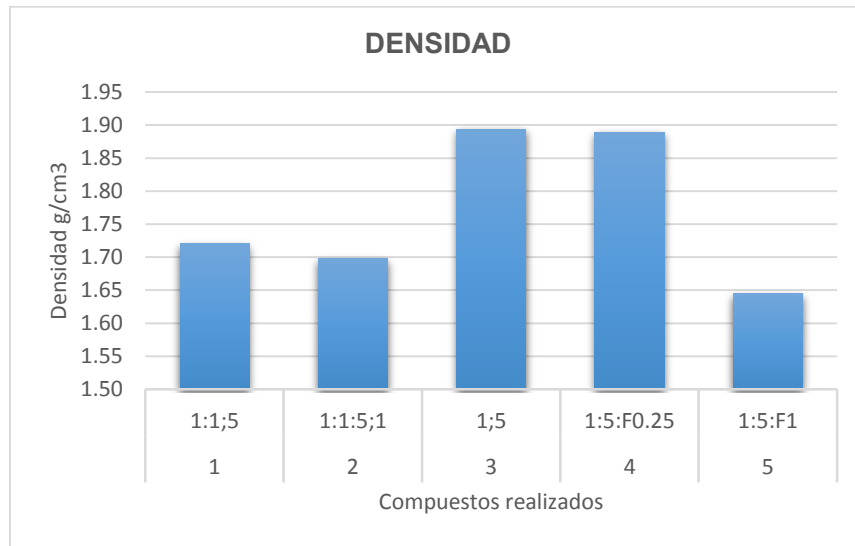
Donde:

ρ = Densidad (g/cm³)

m = masa (g)

V = Volumen (cm³)

Los valores de la ecuación de densidad se pueden observar en la gráfica de la Gráfica 2.2-1



Gráfica 2.2-1. Densidad de los morteros realizados.

Las relaciones de absorción y porosidad son elementos indicadores del comportamiento térmico y mecánico de los compuestos, por esta razón se realizaron las pruebas con base a la norma ASTM C 1185 99 (ANEXO 2), por lo tanto se utilizaron las ecuaciones 2.1 y 2.5. Los resultados se muestran como siguen en la Tabla 2.2-2.

$$P = \frac{M_{ps} - M_{se}}{M_h} \quad (2.5)$$

Donde:

P = Porosidad.

M_{ps} = Masa saturada parcialmente seca (g)

M_{se} = Masa seca en estufa (g)

M_h = Masa húmeda (g)

Tabla 2.2-2. Absorción y porosidad de los compuestos.

Compuesto	Absorción (%)	Porosidad (%)
1:1:5	1.346676638	23.0785287
1:1:5 (F1)	1.202317699	24.500043
1:5	0.956957058	14.0459704
1:5:(F025)	1.109392425	20.7872921

2.3. Propiedades térmicas.

Las propiedades térmicas determinan la eficiencia de los materiales como conductores o aislantes de energía térmica. Conocer su comportamiento frente a condiciones de transferencia de calor, es uno de los factores que en ingeniería de materiales son de índole principal, La NOM-018-ENER-1997 establece las reglas en cuanto a materiales termoaislantes para ser utilizados en la construcción actual y realizar las investigaciones de calor específico, conductividad térmica, difusividad y efusividad, además de amortiguamiento y retardo térmico.

2.3.1. De transporte.

La energía vibracional de los átomos permite inducir cambios de temperatura que por lo tanto se convierten en estudios para la transferencia de calor, en el transporte de energía. Las siguientes características se desarrollan en torno a la conductividad, amortiguamiento y retardo térmico.

2.3.1.1. Conductividad térmica.

En el desarrollo de la investigación a base de consideraciones térmicas, los análisis de calor específico no son suficientes para explicar con certeza el comportamiento de los fenómenos térmicos de un material, por lo tanto se realizaron las pruebas de conductividad térmica correspondientes a los materiales observados en la Tabla 2.2-1.

Para elaborar los ensayos fue utilizado un Conductímetro de Placa Caliente Guardada, desarrollado en la Universidad de Quintana Roo de acuerdo a la norma ASTM C 177 97;² haciendo uso de especímenes de dimensiones 127x152 mm de sección y 25 mm de espesor a los cuales se les suministró calor en la superficie interior por medio de un calentador principal (resistencia eléctrica). Para después ser disipados mediante una placa fría en la superficie exterior, induciendo por ende a un gradiente de temperatura entre ambas superficies. La energía térmica fue suministrada por un “auto-transformador variable” mediante la variación de tensiones hasta encontrar el estado estable, considerado este, cuando las diferencias de temperaturas entre 4 mediciones son iguales o con una ligera variación de 0.1 °C. El proceso consistió en 4 series de ensayos y en cada una de ellas se realizaron 4 corridas con una tensión específica (ANEXO 4); El registro de los valores fue realizado cada 15 minutos con ayuda de un voltímetro MIC35 y amperímetro del mismo modelo, además de un monitor de termopares SR630 tipo K instalados en las superficies de baja temperatura y en las de alta temperatura (ANEXO 3).

² Bojórquez 2005, *op.cit.*, p.31.



Figura 2.3-1. Conductímetro de placa caliente guardada.



Figura 2.3-2. Ensayo de conductividad térmica.

Después de haber alcanzado el estado estable, se realizó el cálculo de la conductividad térmica mediante la ecuación de Fourier modificada.

(2.6)

Donde:

- = Calor suministrado (W).
- = Espesores de cada muestra (m).
- = Área.
- = Diferencial de temperaturas de cada muestra (°C).
- = Conductividad térmica (W/m °C).

En la Tabla 2.3-1 se observan los valores promedios de las conductividades térmicas y en la Gráfica 2.3-1 se puede observar la conductividad térmica calculada de la ecuación 2.6.

Tabla 2.3-1. Valores promedio de conductividad térmica.

Compuesto	Conductividad térmica (W/m°C)
1:1:5	0.94426368
1:1:5 (F1)	0.87118006
1:5	0.95538152
1:5 (F0.25)	0.93268514



Gráfica 2.3-1. Conductividad térmica de los compuestos analizados.

2.3.1.1.1. Análisis de incertidumbre.

Para el análisis de resultados es recomendable elaborar un análisis de incertidumbre, esto es, estimar las variaciones en los resultados experimentales por lo tanto se decidió utilizar el método de Kline y McClintock (Holman, 1994).

$$\frac{\Delta y}{y} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2 + \dots} \quad (2.7)$$

Donde

Δy = incertidumbre total.

$\frac{\Delta x_i}{x_i}$ = Resultantes de las derivadas con respecto a la variable correspondiente.

Δx_i = incertidumbre de las mediciones.

Aplicando la ecuación 2.7 se realizó el análisis de incertidumbre correspondiente de cada una de las mediciones (ANEXO 5). La Tabla 2.3-2 muestra los resultados promedio obtenidos en cada una de las muestras.

Tabla 2.3-2. incertidumbres porcentuales en las mediciones experimentales

Compuesto	Incertidumbre %
1:1:5	2.42
1:1:5 (F1)	2.84
1:5	2.4
1:5 (F0.25)	2.3

2.3.1.2. Coeficiente de Retardo y Amortiguamiento térmico.

Para el análisis de Amortiguamiento térmico, se realizó un levantamiento fototérmico durante un periodo de 24 horas, en un día típico del mes de Mayo, que se considera uno de los meses más calurosos de la región y con menor precipitación (ANEXO 6). Con base a la norma ASTM C1146 se realizó el siguiente estudio de transferencia de calor a través del tiempo, en la cual afirma que la variación de temperatura en el sistema es periódica y con la misma frecuencia pero con un retardo térmico, que se encuentra entre los 2 máximos o mínimos de las temperaturas exteriores e interiores (Bojórquez, Castillo, & Flores, 2010).

El retardo térmico es un indicador del tiempo en el cual la temperatura máxima exterior se asemeja a la temperatura interior y se obtiene a través de la ecuación 2.8.

(2.8)

Donde:

- = Retardo térmico.
- = Hora de la temperatura máxima exterior.
- = Hora de la temperatura máxima interior.

Realizando una relación entre las horas pico interior y exterior, se puede encontrar el factor de amortiguamiento o capacidad de reducción, expresada en la ecuación 2.9 como sigue:

(2.9)

Donde:

- = Factor de amortiguamiento térmico
- = Variación de temperatura exterior
- = Variación de temperatura interior.

Para conocer ambos factores mencionados con anterioridad se utilizaron muestras de 127x152 mm de sección y 25 mm de espesor, que fueron colocados en un aparato denominado caja caliente³, construido Con base a la norma ASTM-C-1363-97 (Graniel, 2007). Las mediciones fueron realizadas con una cámara foto térmica Marca Fluke

³ La caja caliente tiene la característica de simular la techumbre en una caja, la cual tiene una cara exterior para la temperatura exterior y una interior que mantiene una convección forzada para evitar cambios bruscos en la temperatura interior.

Modelo TiR como se muestra en la Figura 2.3-3, en lapsos de una hora en un periodo de 24 horas en un día típico del mes de Mayo, posteriormente se utilizaron las ecuaciones 2.8 y 2.9 para obtener las gráficas de comportamiento siguientes:

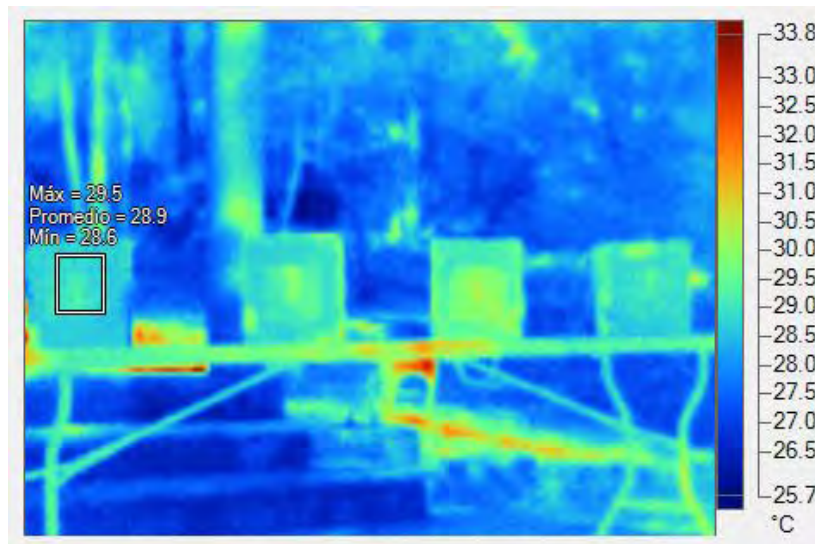
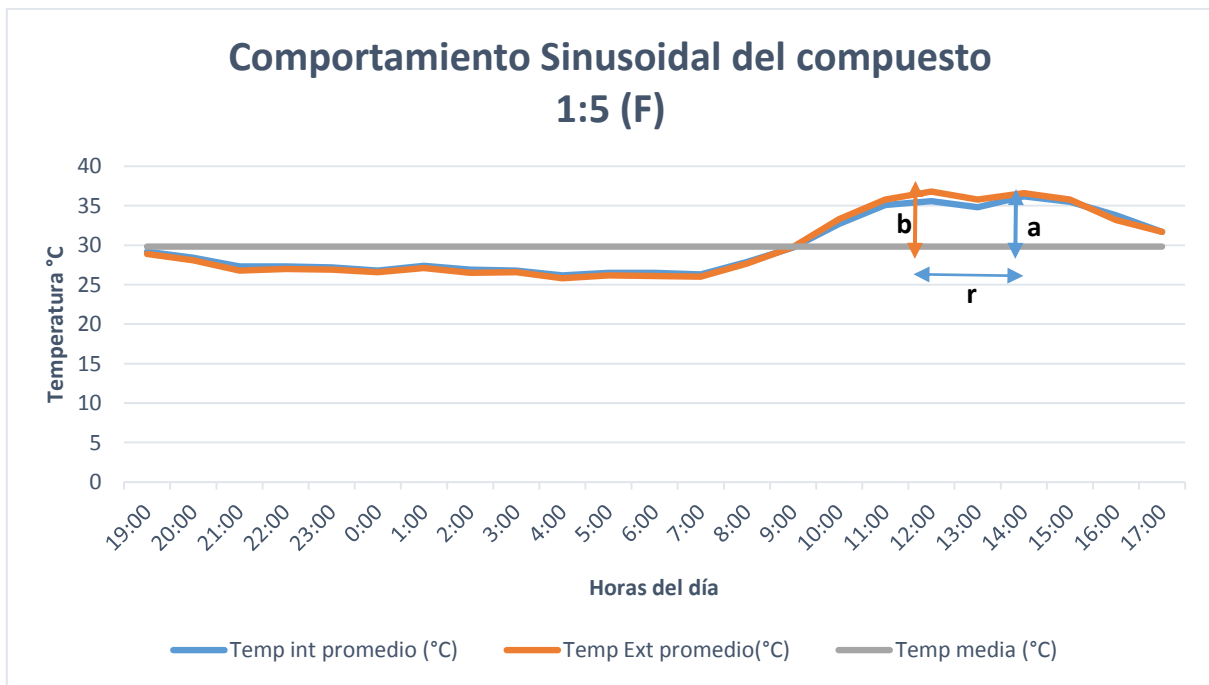
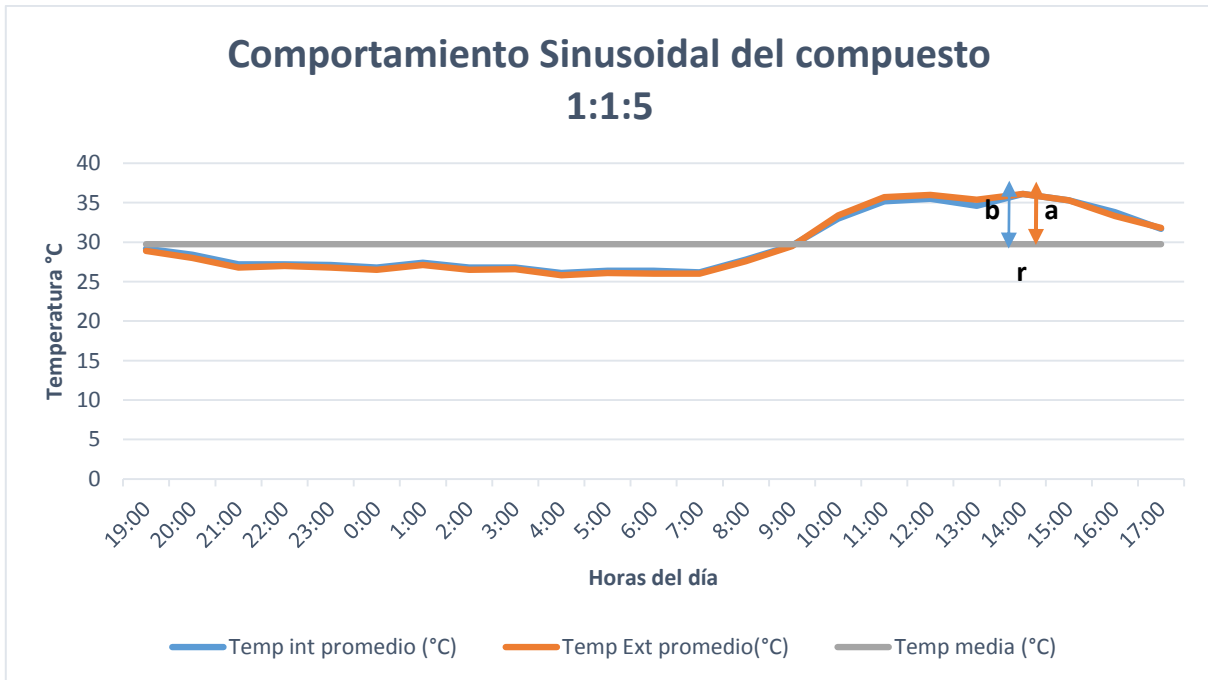


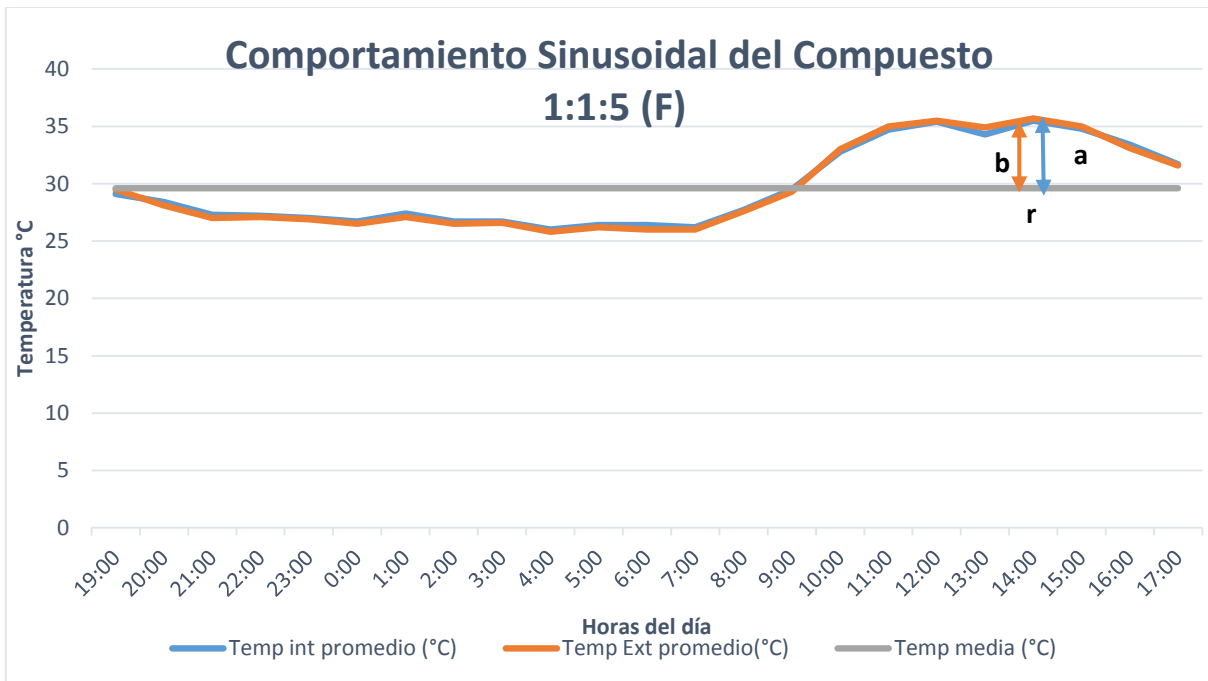
Figura 2.3-3. Levantamiento Fototérmico a las 10 horas día típico de mayo.



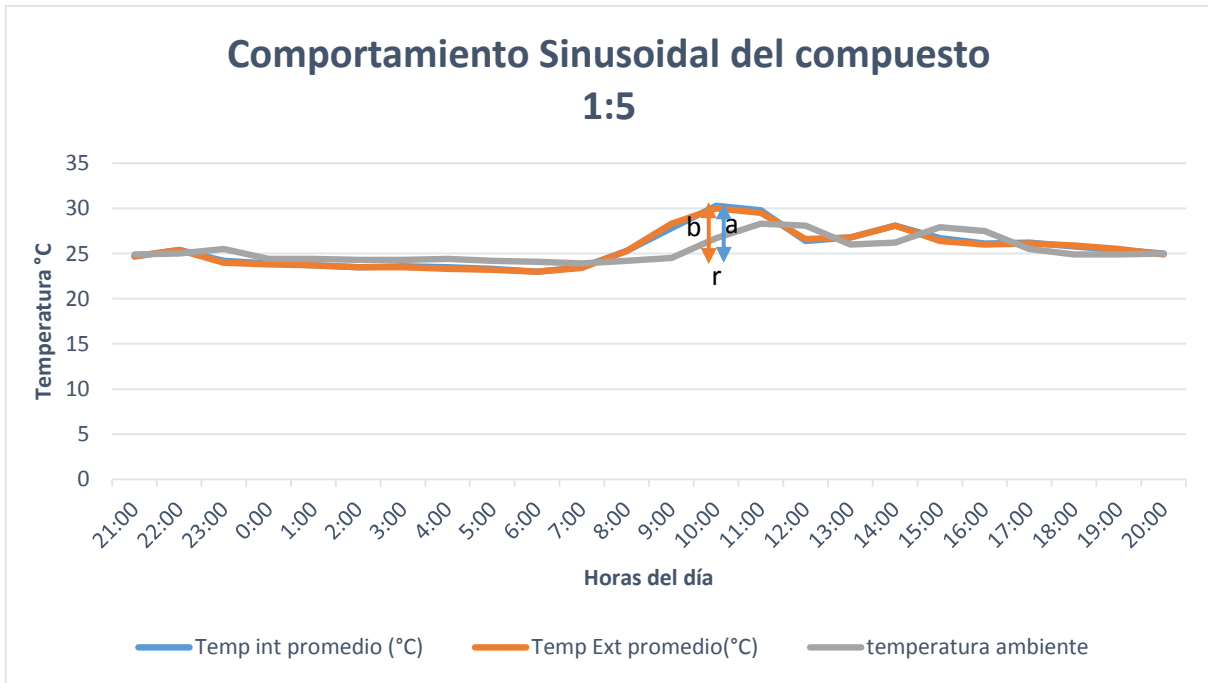
Gráfica 2.3-2. Comportamiento de temperatura del día típico en el mes de mayo del compuesto 1:5 (F025)



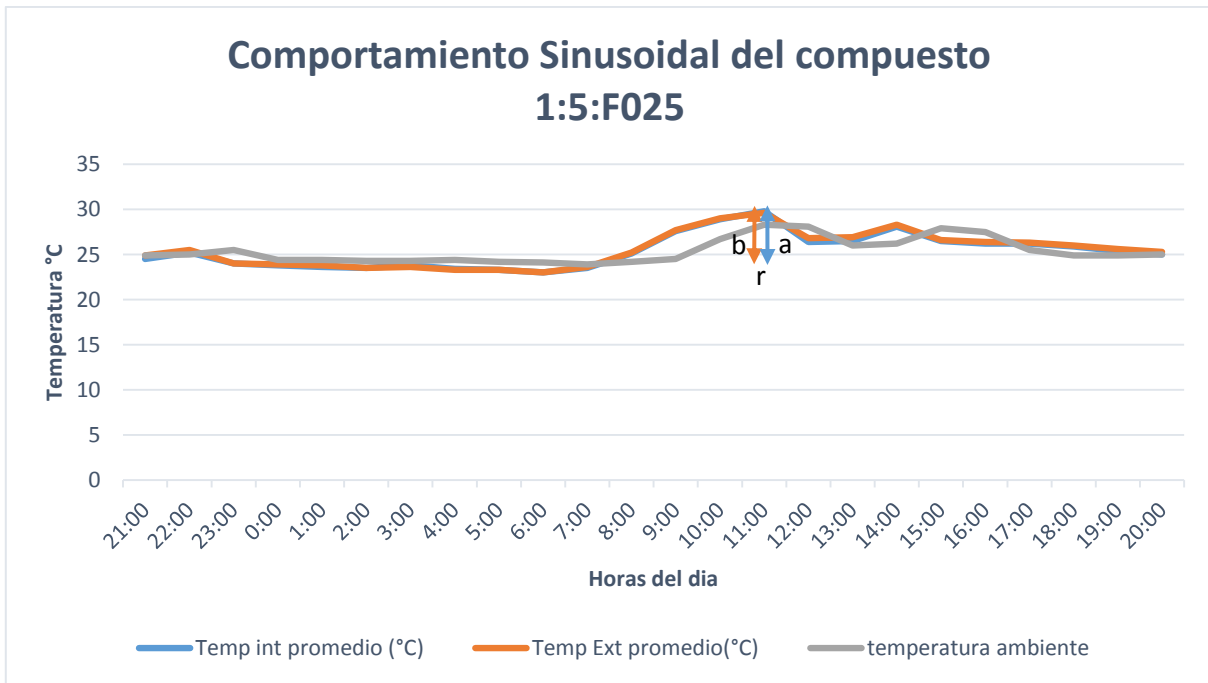
Gráfica 2.3-3. Comportamiento de temperatura del día típico en el mes de mayo del compuesto 1:1:5.



Gráfica 2.3-4. Comportamiento de temperatura del día típico en el mes de mayo del compuesto 1:1:5 (F1)



Gráfica 2.3-5. Comportamiento de temperatura del día típico en el mes de mayo del compuesto 1:5.



Gráfica 2.3-6. Comportamiento de temperatura del día típico en el mes de mayo del compuesto 1:5 (F025)

2.3.2. Termodinámicas.

Las propiedades térmicas termodinámicas son aquellas que son posibles observar y cuantificar en los sistemas, pueden ser intensivas o extensivas. En los siguientes apartados se ahondará el calor específico, la densidad y la efusividad y difusividad térmica.

2.3.2.1. Calor específico.

Como punto de apoyo se requiere hacer énfasis en el concepto de calor específico. Este puede ser a presión o a volumen constante

Para el estudio de las condiciones térmicas necesarias en los materiales, el calor específico tiene un papel esencial, debido a que indica si el comportamiento térmico puede resultar factible para situaciones específicas. Por ello se pretende realizar un estudio de calorimetría por medio del calor específico de los compuestos, con el propósito de encontrar que los morteros cumplan consideraciones en torno a viviendas energéticamente eficientes y relacionar la fibra *Lagenaria siceraria* en la disminución de energía térmica en los mecanismos de transferencia de calor.

Para determinar el calor específico consiste en inducir un aumento de temperatura en la muestra a una temperatura conocida para después colocarla en un recipiente que contenga un fluido (agua) de masa conocida y cumpla con y medir la temperatura hasta encontrar un estado de equilibrio. Los ensayos se realizaron de acuerdo a la norma ASTM C 351 92; para este ensayo se utilizó un calorímetro a volumen constante desarrollado en la Universidad de Quintana Roo observable en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y fueron fabricadas muestras elaboradas con dimensiones 127x152 mm de sección y 25 mm de espesor, mismas encontradas en Tabla 2.2-1 ,los cuales fueron sometidos a un incremento de temperatura mediante un recipiente con agua en un proceso de ebullición por 10 minutos e inmediatamente trasladado al conductímetro, colocándolo y sellándolo con un aislante térmico para evitar fugas de energía térmica en el proceso de búsqueda del punto de equilibrio. Se elaboraron 8 series, cada una con 4 corridas, estos datos fueron registrados con ayuda de un amperímetro, voltímetro y con un monitor de termopares tipo K, instalado en este caso en la parte interna del calorímetro, de donde se obtuvieron las temperaturas correspondientes hasta el punto de equilibrio.

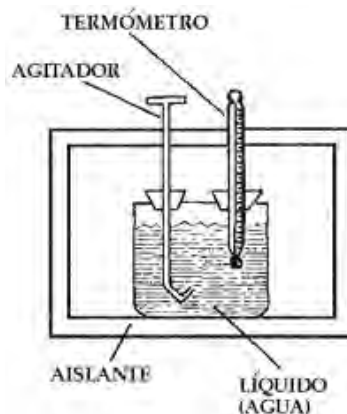


Figura 2.3-4. Calorímetro convencional.

Una vez alcanzado el estado estable, el cálculo fue obtenido mediante la aplicación de la Ley de conservación de la energía, de acuerdo a la ecuación 2.10.

$$(2.10)$$

Donde:

- = Calor específico del material x (J/kg °C).
- , = Masa de agua y de la muestra respectivamente (Kg).
- = Calor específico del agua (J/kg °C).
- , , = Temperatura de equilibrio, temperatura inicial del agua, temperatura de la muestra (°C).

Los resultados experimentales obtenidos con base en la ecuación (1.4) y se muestran en el ANEXO 7 y los valores promedio en la Tabla 2.3-3.

Tabla 2.3-3. Calor específico de los compuestos estudiados.

Compuesto	C (KJ/kg °C)
1:1:5	1.947
1:1:5 (F1)	1.989
1:5	1.869
1:5 (F025)	1.914

Es necesario puntualizar que para encontrar la capacidad de almacenamiento del material en unidad de volumen o capacidad térmica volumétrica, se realiza un producto entre la densidad y el calor específico. En la Gráfica 2.3-7 se muestran y los valores obtenidos.



Gráfica 2.3-7. Calor específico de los compuestos analizados.

2.3.2.2. Difusividad y efusividad térmica.

La difusividad es una propiedad que se encuentra en los análisis de transferencia de calor en régimen transitorio y representa la rapidez en la que se difunde el calor a través de un material (Cengel Y. A., 2003). Esta propiedad nos ayuda a encontrar el momento del estado estable de un material, mientras mayor sea la difusividad más rápido será el ajuste de la temperatura con los alrededores, debido a que la transferencia de calor es mayor a la capacidad térmica volumétrica.

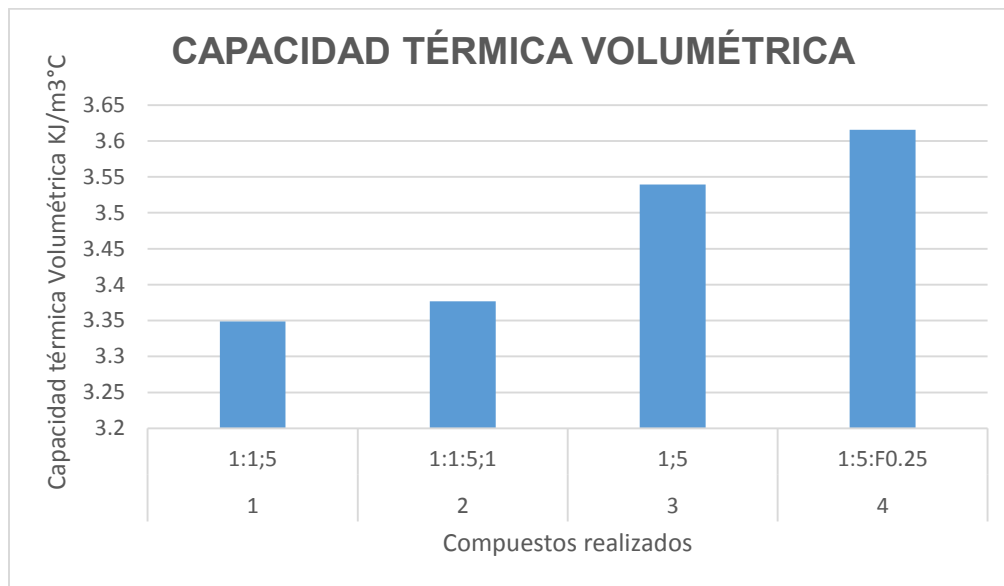
(2.11)

Donde:

= Difusividad térmica (m^2/s).

= Conductividad térmica ($W/m^{\circ}C$).

= Capacidad térmica volumétrica ($J/m^3\ ^{\circ}C$).

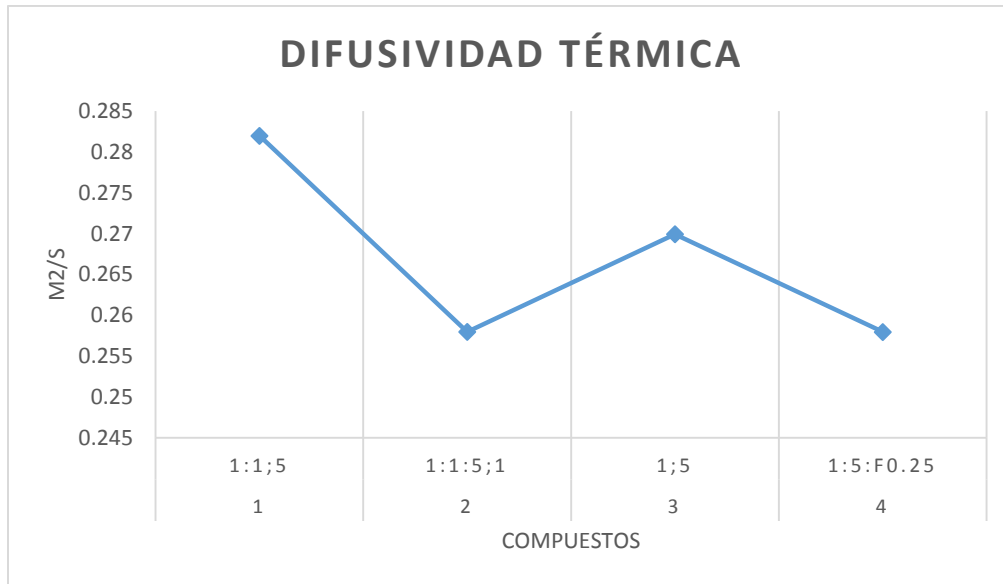


Gráfica 2.3-8. Capacidad térmica volumétrica de los compuestos analizados.

En la Gráfica 2.3-9 se pueden observar los resultados de la ecuación 2.11 y en la Tabla 2.3-4, los valores obtenidos de la difusividad térmica de cada uno de los compuestos.

Tabla 2.3-4. Difusividad térmica de los compuestos.

Compuesto	Difusividad térmica (m^2/s)
1	0.28198822
2	0.25798126
3	0.26994147
4	0.25795802



Gráfica 2.3-9. Difusividad térmica de los compuestos analizados.

Por otra parte y con el uso de las mismas variables, es posible calcular la efusividad térmica o admitancia térmica, que se define como la capacidad de un material para intercambiar energía térmica con sus alrededores.

2.12

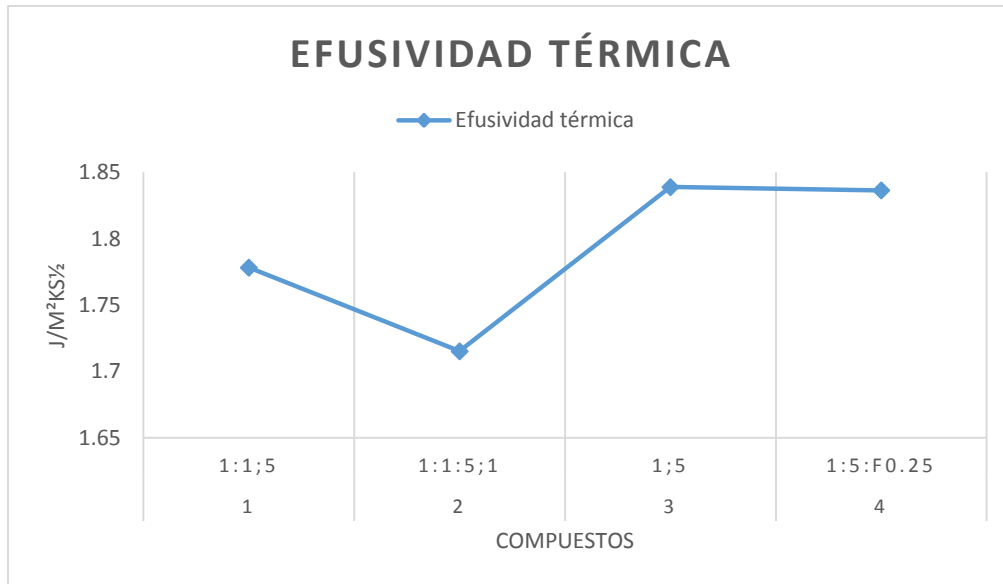
Donde:

- = Efusividad térmica ($J/m^2Ks^{1/2}$).
- = Conductividad térmica ($W/m^{\circ}C$).
- = Capacidad térmica volumétrica ($J/m^3^{\circ}C$).

En la Tabla 2.3-5 podemos observar los valores de las efusividades de los materiales y en la Gráfica 2.3-9, el comportamiento de las 4 muestras correspondientes.

Tabla 2.3-5. Efusividad térmica de los compuestos

Compuestos	Efusividad térmica $J/m^2Ks^{1/2}$
1	1.77818852
2	1.71519637
3	1.83883193
4	1.83637146



Gráfica 2.3-10. Efusividad térmica de los compuestos analizados.

CAPÍTULO III. DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDADES TÉRMICAS MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES.

En la determinación de porcentajes de mezcla abordadas en el Capítulo 2, es preciso destacar que los tiempos de mezclado y de fragua se basaron en la ASTM C94 son de 7, 14 y 28 días, por lo que en la diversificación de proporciones para la elaboración de morteros con refuerzo, puede ser una acción con lapsos de tiempo sumamente largos. Para la fabricación de los 4 morteros finales con refuerzo de *Lagenaria siceraria*, el tiempo promedio de fabricación es alrededor de 4 meses, sin considerar las pruebas de conductividad de cada una de las muestras. Debido a esto se pretende utilizar un modelo de aproximación mediante redes neuronales artificiales con las cuales es posible obtener un acercamiento a la conductividad térmica de los morteros a partir de información de datos conocidos en experimentos previos.

3.1. Características de las redes neuronales.

El cerebro humano tiene aproximadamente 1×10^{11} neuronas, las cuales están conectadas aproximadamente a otras 1000 neuronas. La Figura 3.1-1 muestra el diagrama de una neurona en la que se observa el axón y las dendritas haciendo sinapsis con una neurona de la periferia. La sinapsis es el proceso mediante el cual las neuronas comparten información.

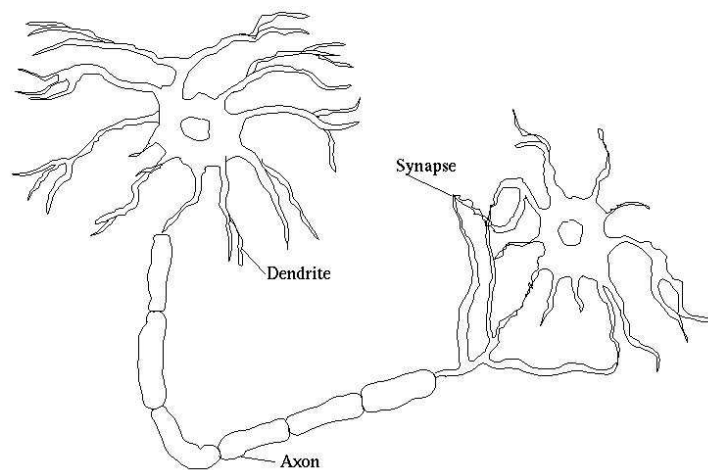


Figura 3.1-1. Sinapsis cerebral humana.

Fuente: www.medicina.com

Las redes neuronales artificiales (Artificial Neural Networks) son básicamente una simulación abstracta inspirada en los sistemas nerviosos biológicos constituidos por unidades denominadas neuronas. Las redes neuronales son entrenadas para resolver problemas que son difíciles para las computadoras convencionales y para los seres humanos (Ledesma, 2009).

Existen 3 fases en la modelación con redes neuronales:

- Fase de entrenamiento: Se utilizan un conjunto de datos o patrones establecidos para determinar los pesos o parámetros que rigen el modelo y se calcula de forma iterativa, tomando en cuenta los valores de entrada para minimizar el error.
- Fase de valoración: En la fase anterior, el modelo puede ajustarse demasiado a los valores de entrada perdiendo su habilidad de encontrar nuevos patrones y produciéndose un sobreajuste.
- Fase de prueba: En el cual se generan patrones que la red desconoce para determinar si cumple con la función y se encuentra en un margen de error deseable.

El algoritmo utilizado tiene la habilidad de realizar inferencias con base a valores iniciales y manipular las variables hasta encontrar una función que satisfaga los puntos, que en el caso de este trabajo corresponde a los valores de la conductividad térmica.

3.2. Diseño de la red neuronal artificial.

El proceso de entrenamiento de la red neuronal se conforma por los datos de entrada, dispuestos en una matriz, los cuales son en nuestro caso las variables que se pretenden utilizar para la determinación de las conductividades. De igual forma se incluyeron los datos objetivos, que corresponde a los valores de conductividad conocidos en relación a las variables de entrada.

La topología de la red neuronal seleccionada es una red neuronal tipo feed-forward con tres capas de neuronas: la capa de entrada, la capa intermedia y la capa oculta. El número de neuronas de la capa de entrada corresponde al número de variables de entrada al igual que el número de neuronas de la capa de salida que corresponde al número de variables de salida. Por su parte, el número de neuronas de capa oculta se determina heurísticamente, por lo que se deben realizar algunas corridas para determinar cuál es la mejor topología de red neuronal en cuanto a su aprendizaje y predicción. Posteriormente se seleccionaron las funciones de transferencia que rigen las diferentes capas de la red neuronal, las cuales pueden ser una función lineal, tangencial, hiperbólica o algunas otras menos usuales. Finalmente se realizó la evaluación en los porcentajes de entrenamiento, valoración y prueba (ANEXO 8).

La matriz inicial de valores que se utilizaron, fueron los valores porcentuales de la cantidad de cemento, cal, polvo, fibra, agua, con los valores de tensión, corriente y potencia eléctrica aplicados al conductímetro de placa caliente guardada, mencionado en el Capítulo 2. La Tabla 3.2-1 muestra las proporciones volumétricas de las mezclas que se analizaron por medio del algoritmo de redes neuronales, los cuales son parte del vector de la capa de entrada.

Tabla 3.2-1. Fracción Volumétrica de las mezclas experimentales.

Fracción volumétrica(%)	1:1:5	1:1:5(F1)	1:5	1:5(F025)
Cemento	10	9.091	11.11	10.811
Cal	10	9.091	0	0
Polvo	50	45.455	55.56	54.05
Fibra	0	9.091	0	2.703
Agua	30	27.273	33.33	32.43

Para la matriz de objetivos se utilizaron los valores de conductividad térmica obtenidos en cada una de las mediciones (ANEXO 4), siendo estas 16 y fueron colocados en una matriz vectorial de 1x16.

```
objetivos =
Columns 1 through 9
    0.9417    0.9448    0.9474    0.9431    0.8766    0.8711    0.8725    0.8645    0.9540
Columns 10 through 16
    0.9554    0.9574    0.9549    0.9310    0.9308    0.9358    0.9331
```

Figura 3.2-1. Matrices de datos objetivos (targets).

Es necesario tomar en cuenta que los valores de conductividad térmica determinados por la red neuronal artificial se encuentran en el rango valores obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio, esto es, el valor de cualquiera de las combinaciones de entrada realizadas en el algoritmo de redes neuronales está ligada directamente a los mínimos y máximos de la función principal, por lo tanto es posible que la red neuronal determine un valor alejado de conductividad térmica al colocar datos de entrada por ejemplo de un material únicamente con fibra, ya que los datos de este experimento no fueron proporcionados a la red neuronal artificial durante su fase de aprendizaje.

3.3. Funciones de transferencia en redes neuronales.

En la topología de la red neuronal utilizada en este estudio es posible variar las funciones de transferencia de la capa oculta y de salida con la finalidad de mejorar el desempeño de la red en la estimación de la conductividad térmica objetivo. Existen diferentes funciones de transferencia: tangencial, logarítmica y lineal.

Sin embargo, es necesario realizar un conjunto de simulaciones con diferentes funciones de transferencia en la capa oculta y la de salida, para encontrar una función que satisfaga los valores objetivos de conductividad térmica. A partir de los resultados obtenidos en este conjunto de simulaciones, se optó por usar un número de 10 neuronas en la capa oculta y una función de transferencia tangencial para la capa oculta y la capa de salida. La Figura 3.3-1 corresponde a la topología final de la red neuronal utilizada en este trabajo.

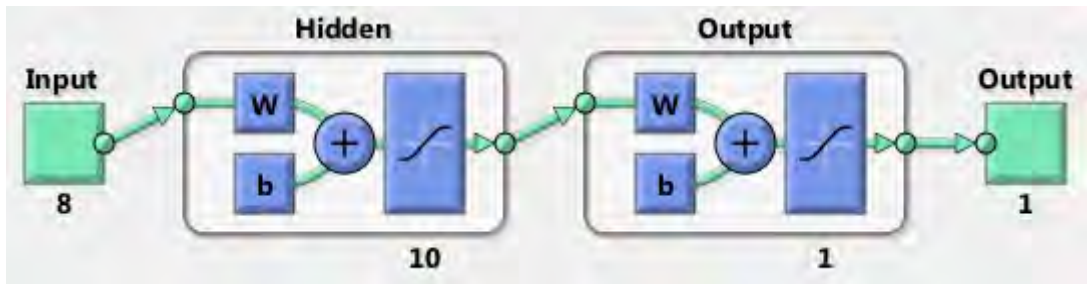


Figura 3.3-1. Red neuronal feedforward con 10 neuronas en la capa oculta con función tansig.

En estos casos es de gran utilidad conocer la correlación de cada corrida inferencial que se realizó para poder realizar un juicio efectivo en la selección de la mejor función de transferencia. En la Figura 3.3-2, se plantea la relación entre las conductividades experimentales (Target) y las inferidas por la red neuronal (Output) y que tan fuerte es la correlación entre estos datos.

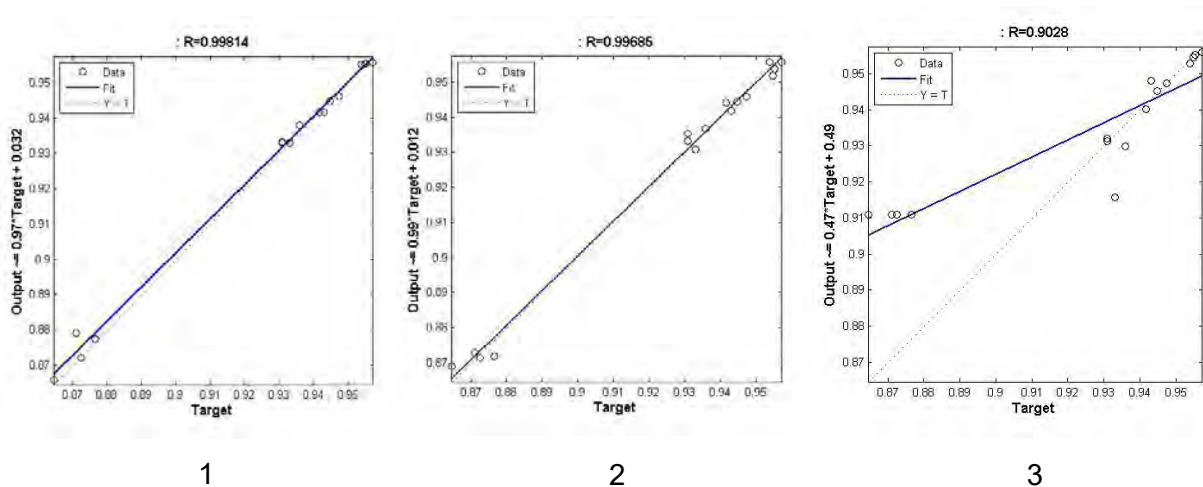


Figura 3.3-2. Correlación de cada una de las funciones con base 10 neuronas a la función de transferencia aplicada: 1. Función de transferencia tansig $R=0.99814$; 2. Función de transferencia purelin $R=0.99685$; 3. Función de transferencia en logsig $R=0.9028$.

3.4. Relación de neuronas en la capa oculta.

El número de neuronas de capa oculta se denomina como la cantidad de neuronas internas adjuntas a un peso que la red establece. Las neuronas de capa oculta pueden ser tantas como el diseñador considere recomendable. Es posible llegar a imaginar que mientras mayor sea la cantidad de neuronas, el resultado puede tener un incremento de compatibilidad con las variables experimentales y a menor cantidad de neuronas de capa oculta menor aproximación a la función, esto con frecuencia no sucede. En la búsqueda de una red neuronal eficaz para el propósito mencionado anteriormente, se realizaron un conjunto de simulaciones, para que, por medio del modelo heurístico de la red neuronal artificial se encuentre la mejor aproximación a la función deseada. En este apartado se mostraron únicamente 3 modelos con 5, 10 y 15 neuronas, con funciones de transferencia tangenciales, por ser de una mejor aproximación. Debido al cambio gradual del modelo heurístico, es poco conveniente obtener promedios o desviaciones de todas las simulaciones realizadas. En la Figura 3.4-1, es posible observar una red ordenada con los valores de las matrices de entrada y objetivos, la red fue entrenada con 5 neuronas de capa oculta. Dados estos valores, podemos encontrar visualmente la relación entre las variables encontradas por la aproximación de la red y los valores experimentales.

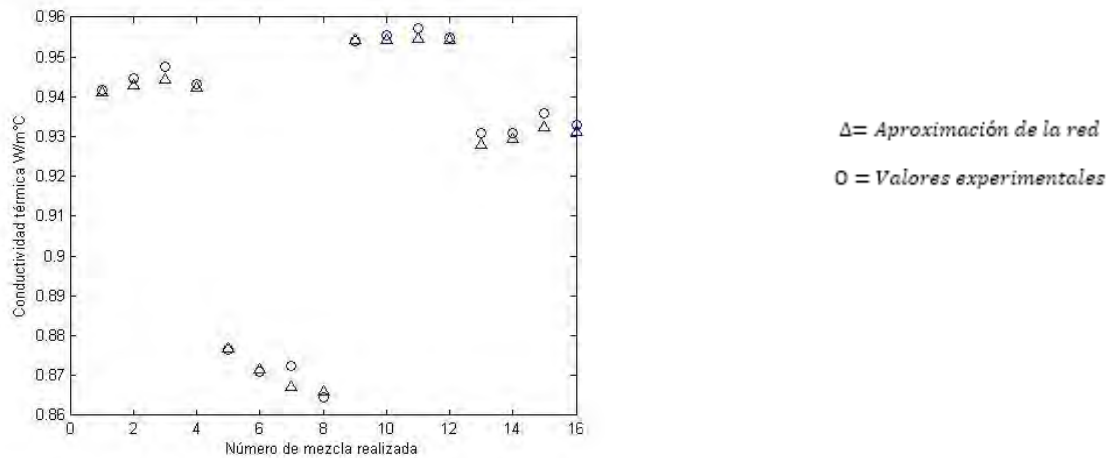


Figura 3.4-1. Red neuronal Tansig y aproximación mediante 5 neuronas.

De la misma manera se observa en la Figura 3.4-2, la red neuronal con 10 neuronas y como es su comportamiento como función.

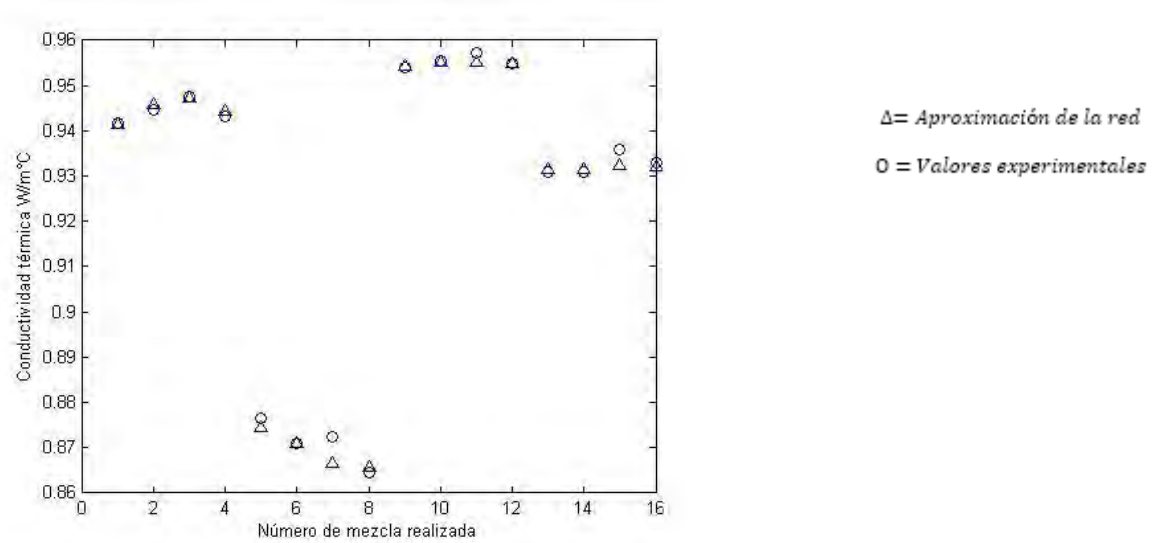


Figura 3.4-2. Red neuronal Tansig y aproximación con 10 neuronas.

La Figura 3.4-3 muestra los resultados obtenidos por la misma red neuronal tangencial pero con 15 neuronas.

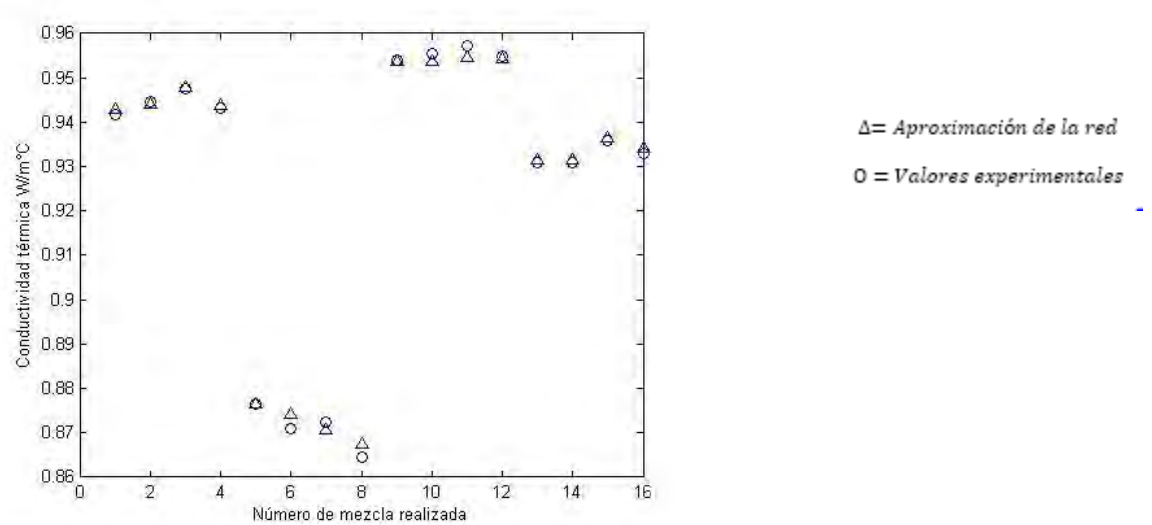


Figura 3.4-3. Red neuronal Tansig y aproximación mediante 15 neuronas.

La Figura 3.4-4 nos muestra el comportamiento de relación entre los valores de la red y los experimentales.

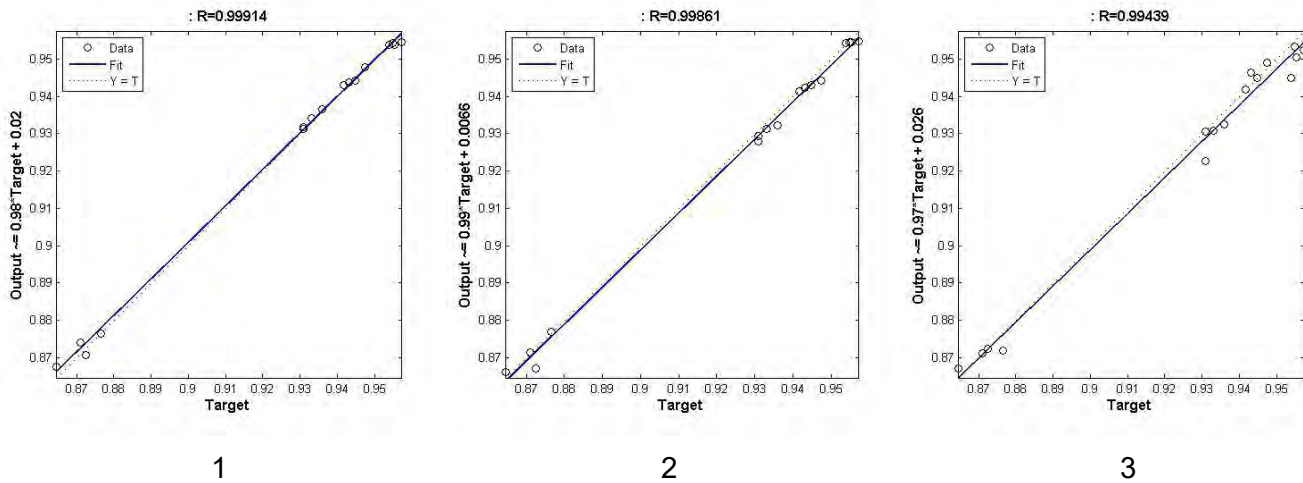


Figura 3.4-4. Correlación de funciones con base en Tansig: 1 Red neuronal con 14 neuronas; 2. Red neuronal con 10 neuronas; 3. Red neuronal con 5 neuronas.

3.5. Aplicación de redes neuronales en la estimación de la conductividad térmica.

Las conductividades térmicas determinadas por el método experimental, fueron elaboradas con base en la Norma ASTM C 177 97. Estos datos experimentales son la base del algoritmo de redes neuronales, A mayor cantidad de mediciones experimentales que se realicen, son mayores los datos de entrada que pueden ser utilizados para el entrenamiento de la red neuronal lo que da como resultado una menor incertidumbre en las aproximaciones calculadas de la red neuronal entrenada.

Los valores determinados por la red neuronal se encontraron en el rango de conductividades de la Tabla 2.3-1. Los compuestos en las que no se utilizó la fibra *Lagenaria siceraria* corresponden a los límites superiores de los valores de conductividad térmica, contrariamente, las que contienen polvo de fibra corresponden a valores inferiores de conductividad.

Para obtener los datos de entrenamiento de la red neuronal artificial se realizaron cuatro mediciones con diversas variaciones en los componentes de las mezclas, además de variaciones de tensión, corriente. La modificación de los porcentajes de mezclas nos permitió el manejo de 16 diferentes valores de conductividad térmica.

Tomando en cuenta las consideraciones de los apartados 3.4 y 3.5, la red neuronal que mejores resultados estimó en los estudios de conductividad térmica fue una red con funciones de transferencia tangenciales en sus capas y 15 neuronas en la capa oculta.

La topología de la red neuronal encontrada se muestra en la Figura 3.5-1. Para evaluar el proceso de aprendizaje de la red neuronal, se colocaron valores desconocidos con respecto a los valores de entrada iniciales. La red neuronal entrenada con los valores de

entrada generó objetivos que en este caso son conductividades térmicas calculadas para los valores iniciales con la que fue alimentada la red. En este proceso la red entrenada puede inferir la conductividad de cualquiera de los valores nuevos de entrada que se le coloquen al inicio.

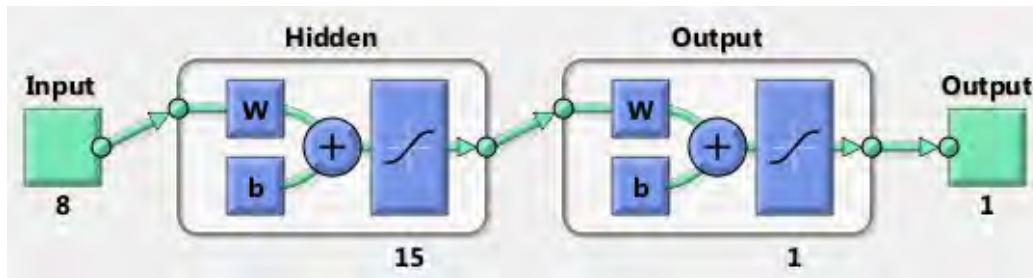


Figura 3.5-1. Diagrama de red neuronal Tansig con 15 neuronas.

Las columnas de la matriz de entrada se componen de la siguiente manera: cemento, cal, polvo de piedra, polvo *Lagenaria siceraria*, agua, corriente eléctrica, tensión eléctrica y potencia eléctrica suministrada respectivamente (ANEXO 9). Las proporciones que se encontraron con el uso de la red entrenada se muestran en la Tabla 3.5-1.

Tabla 3.5-1. Variación de mezclas estimadas mediante redes neuronales.

Fracción volumétrica(%)	1:5 (F)	1:5 (F)	1;5 (F)	1:1:5 (F)
Cemento	10.526	10.256	10	18.182
Cal	0	0	0	9.091
Polvo	52.63	51.28	50	45.455
Fibra	5.263	7.692	10	9.091
Agua	31.58	30.77	30	18.182

En la Figura 3.5-2 se encuentran los valores de los resultados de las conductividades encontradas, todos los valores están acotados por cuatro mediciones, por esa razón es posible observar grupos con cuatro valores similares, cada grupo corresponde a una mezcla determinada. Los primeros cuatro grupos corresponden a los valores experimentales obtenidos.

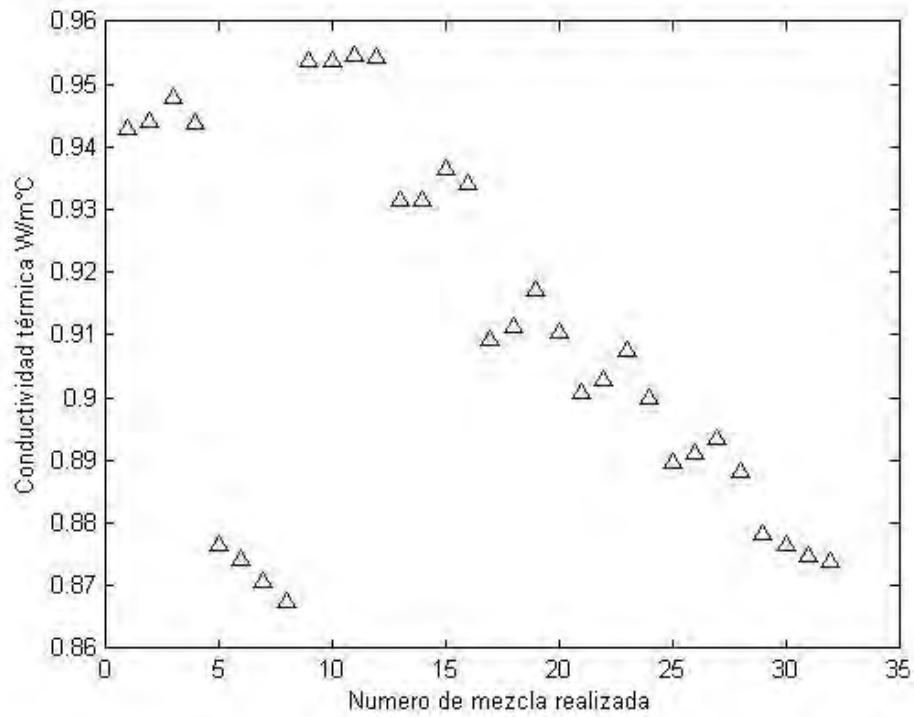


Figura 3.5-2. Red de valores estimados.

Cabe mencionar que debido al mismo proceso heurístico es probable encontrar mediante más ensayos de simulación, modelos de mejor correlación que cumplan con mayor eficacia la relación entre los valores experimentales y los de inferencia. Al igual que todo lo anterior es necesario recalcar que a pesar de haber encontrado las conductividades térmicas de las proporciones, no es equivalente a su factibilidad mecánica ni a su proceso de fabricación.

CAPÍTULO IV. Simulación numérica usando ANSYS-FLUENT.

El avance actual del procesamiento de información, ha hecho una herramienta viable el uso de la dinámica de fluidos computacionales para aportar soluciones eficaces en la resolución de las ecuaciones que describen la conservación de la masa, el momento y la energía en un sistema. ANSYS es un programa que utiliza la dinámica de fluidos computacionales (CFD) para la resolución de problemas tanto de fluidos como de análisis mecánicos y de magnetismo.

En este capítulo se presenta el análisis de una cabaña mediante el uso del programa ANSYS presentándose, la diferencia de temperaturas interiores en un punto específico por medio del cambio de los elementos que integran un sistema constructivo convencional. Para esto se utilizaron como datos iniciales los compuestos analizados en el capítulo 2 de la presente tesis.

4.1. Modelo de estudio. Características.

Se realizó el modelo de una cabaña privada ubicada en las coordenadas geográficas en grados decimales 18.841 con latitud norte y -88.263 longitud oeste, a 3 kilómetros de la comunidad de Buenavista, Quintana Roo.

Los elementos que conforman toda la cabaña se conocen como envolvente, en el caso de la cabaña los principales son: El techo, los muros y el piso. El techo de la cabaña observada en la Figura 4.1-1, está constituida por un sistema de 0.075 m de espesor a base de tres tipos de materiales de 0,025 m cada una, denominadas capas.



Figura 4.1-1. Composición general del techo.

De manera similar, la composición de los muros está dada por tres tipos de materiales que se observan en la Figura 4.1-2. Los espesores de cada capa son: Mortero 0.025 m, Block de concreto 0.15 m y Mortero 0.025 m respectivamente.

Finalmente, el piso tiene una altura de 0.5 m desde el suelo y se encuentra recubierto con mosaico cerámico. Tanto el techo como los muros se encuentran en una relación homogénea en todo el modelo constructivo.

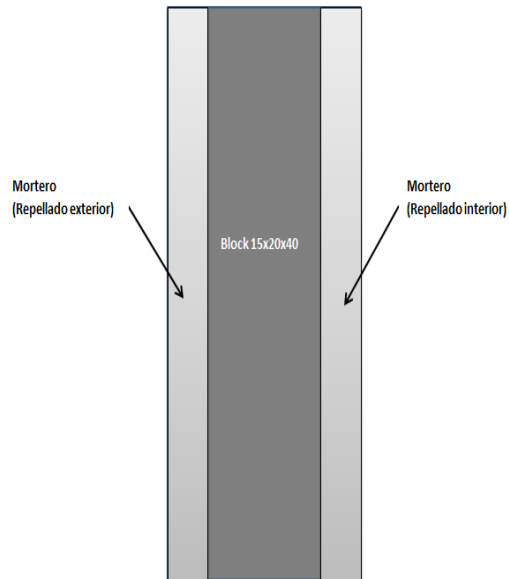


Figura 4.1-2. Composición general de los muros.

La fachada que se muestra en la Figura 4.1-3, corresponde a la orientada hacia el suroeste, donde se observa la textura de los muros para inducir el amortiguamiento térmico; Mientras que en la Figura 4.1-4 es posible observar la ventana de salida del aire así como los elementos ubicados en la parte superior de los muros con la finalidad de obtener el efecto Stack⁴, se observa también un dispositivo para el confort lumínico nocturno.



Figura 4.1-3. Vista lateral de la cabaña original.

Fuente: Fotografía Inocente Bojórquez Báez.

⁴ El efecto Stack ocurre cuando las diferencias de temperaturas causan diferencias de densidad en el aire y provocan diferencias de presión entre el interior y el exterior. Para mayor información consulte (Yarke, 2005).



Figura 4.1-4. Interior de la Cabaña Original

Fuente: Fotografía Inocente Bojórquez Báez.

En el transcurso del desarrollo hacia el análisis se realizó un modelo en 3D mediante uno de los componentes del programa ANSYS, denominado "Design Modeler".

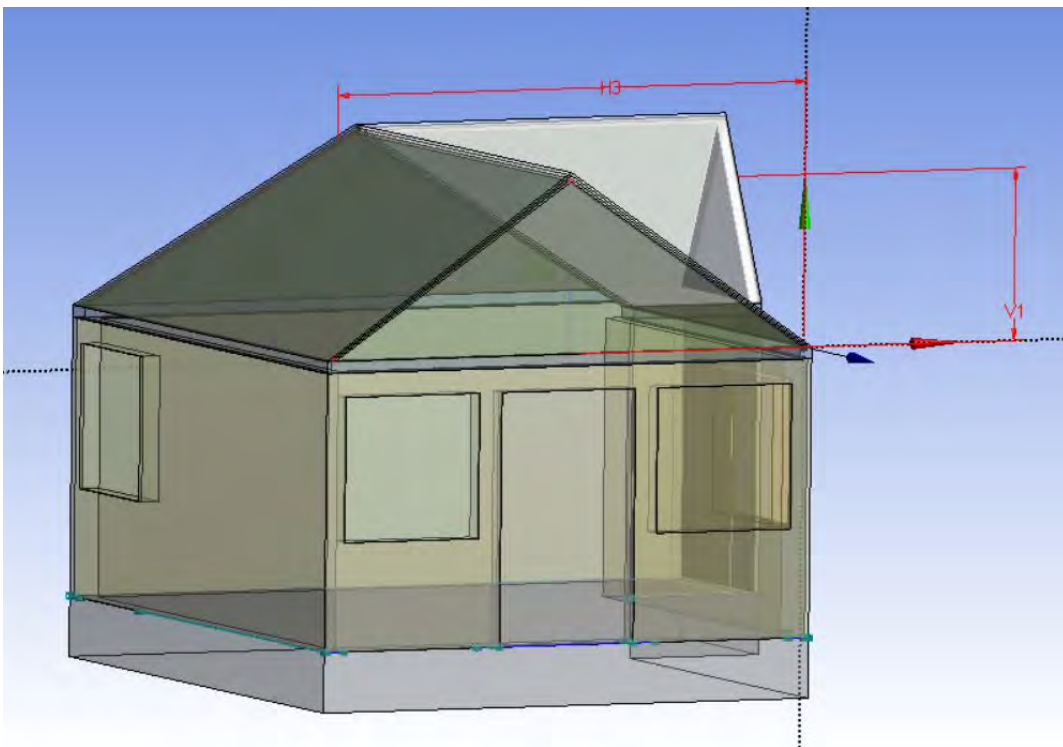


Figura 4.1-5. Modelo 3D de la cabaña.

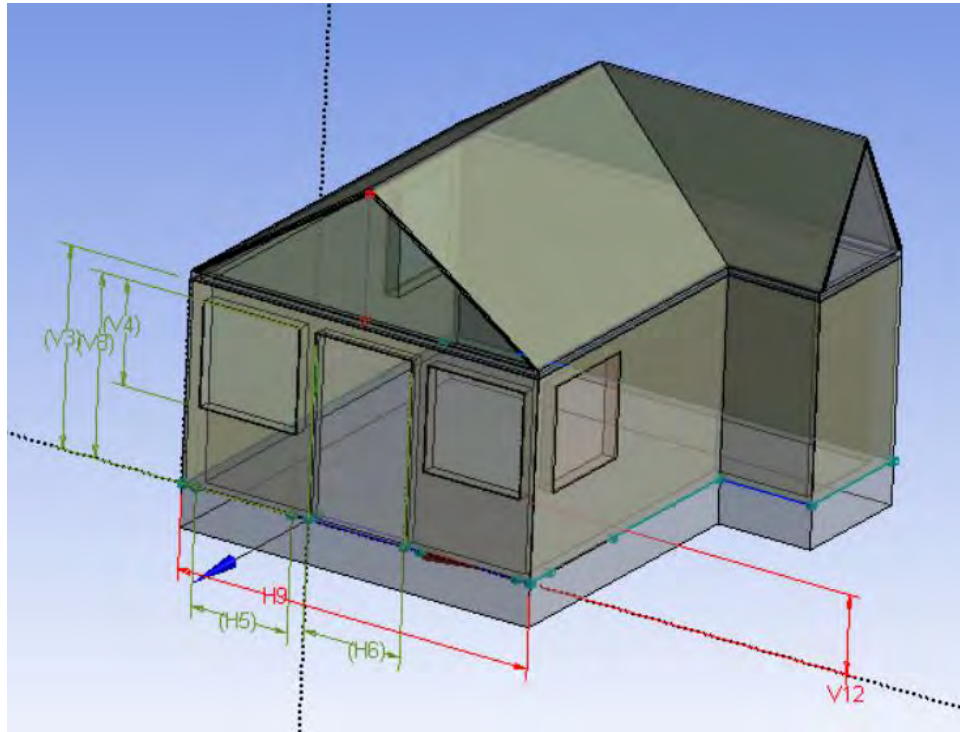


Figura 4.1-6. Modelo 3D de la cabaña acotado.

En la Tabla 4.1-1, se presentan las dimensiones correspondientes en metros de las cotas referenciadas. Entre el techo y los muros se encuentra un espacio denominado dispositivo de ventilación con una altura de 0.2 m y un espesor de 0.005 m, con la función de mejorar el intercambio de temperaturas entre el techo y el exterior.

Tabla 4.1-1. Dimensiones de las cotas de la Figura 4.1-5 y la Figura 4.1-6.

Cota	Dimensiones (m)
V1	1.5
V3	2.3
V8	2.1
V4	1.2
V12	0.9
H5	1.2
H6	1.2
H9	4.35
H3	4.325

En la Figura 4.1-7 se observa la vista superior, en la terraza se encuentran acotadas dos ventanas ubicadas en los extremos de 1.2 m y una puerta central de la misma dimensión. El espesor de las paredes es de 0.15 m que corresponden al espesor del block de concreto 15x20x40 cm. Tomando como punto de referencia el closet, hacia el sureste se encuentra una ventana de 1.2x1.2 metros y al suroeste alineado al mismo, otra ventana de dimensiones similares.

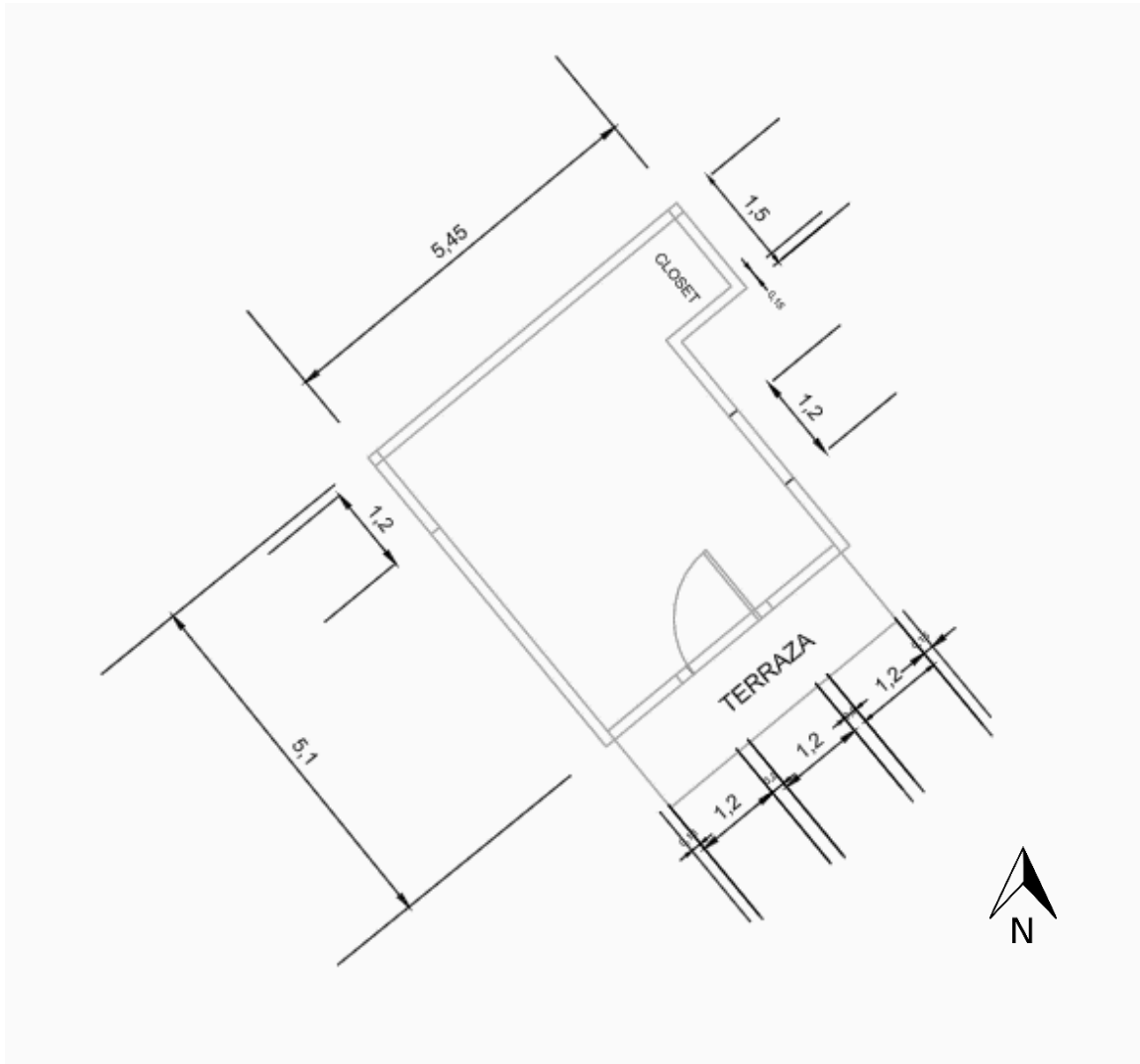


Figura 4.1-7. Vista de planta de la cabaña⁵.

4.1.1. Propiedades de la envolvente de la edificación.

Como parte del estudio, las propiedades térmicas, físicas y ópticas cada uno de los componentes del sistema constructivo de la cabaña original son incluidas en el actual subtema. En las tablas: Tabla 4.1-3 y Tabla 4.1-4 se muestran los valores de las propiedades térmicas. En la

Tabla 4.1-5, se incluyen también las propiedades ópticas y el coeficiente de convección; Como parte de las propiedades físicas en la Tabla 4.1-6 se muestran las densidades de los materiales utilizados.

⁵ Las dimensiones cotas de este plano se encuentran en metros.

Tabla 4.1-2. Propiedades térmicas de los materiales que constituyen el sistema de muros con su espesor correspondiente.

Componente	Mortero 1:1:3		L (m)	Block de concreto 15x20x40		L (m)	Mortero 1:1:3		L (m)
	(k) (W/m°C)	(Cp) (J/kg°C)		(k) (W/m°C)	(Cp) (J/kg°C)		(k) (W/m°C)	(Cp) (J/kg°C)	
Muro	0.604	2199	.025	0.51	1000	0.15	0.604	2199	.025

Tabla 4.1-3. Propiedades térmicas de los materiales que constituyen el sistema del techo.

Componente	Calcreto		L (m)	Ferrocemento		L (m)	Zapote	Zapote	L (m)
	(k) (W/m°C)	(Cp) (J/kg°C)		(k) (W/m°C)	(Cp) (J/kg°C)		(k) (W/m°C)	(Cp) (J/kg°C)	
Techo	0.782	1298	.025	0.782	1000	.025	0.23	904	.025

Tabla 4.1-4. Propiedades térmicas del piso.

Componente	Mosaico	
	(k) (W/m°C)	(Cp) (J/kg°C)
Piso	1.4	1000

Tabla 4.1-5. Propiedades ópticas de la envolvente.

Componente	Absortancia (α)	Reflectancia	Coefficiente de Convección ⁶ (h) (W/m ² K)
Muro	0.65	0.75	5
Techo	0.6	0.85	5
Piso Mosaico	0.6	-	

Tabla 4.1-6. Propiedades físicas: Densidades de los materiales utilizados.

Material	Densidad (kg/m ³)
Calcreto	2573
Piso mosaico	2180
Block 15x20x40 cm	1400
Caoba (madera)	477
Zapote (madera)	900
Ferrocemento	2100
Mortero 1:1:3.	1570

⁶ El coeficiente de convección fue obtenido de la literatura y se encuentra como un valor típico del coeficiente de transferencia de calor por convección (Moran & Shapiro, 2005).

4.2. Leyes de conservación.

La ley de conservación de la masa, la ley de conservación de cantidad de movimiento y la ley de conservación de la energía, contienen los términos y las ecuaciones que rigen los modelos de todos los programas de simulación mediante CFD⁷. Por lo tanto, es necesario hacer énfasis en su composición como a continuación se describe.

4.2.1. Principio de conservación de masa.

El principio de conservación de la masa es posible expresarlo de la siguiente manera: la transferencia neta de masa hacia dentro de un volumen de control, o hacia fuera de éste durante un intervalo es igual al cambio neto (aumento o disminución) en la masa total que está dentro de ese volumen en el transcurso de (Cengel Y. A., 2006). Para el estudio en un sistema, la Ecuación 4.1 expresa el principio de conservación de la masa.

$$\text{---} \quad (4.1)$$

Aunque en términos del volumen y la superficie de control es necesaria la aplicación del teorema de transporte de Reynolds, por lo tanto la ecuación general de la conservación de la masa se define en la Ecuación 4.2.

$$\text{---} \quad (4.2)$$

Donde:

= Densidad.

= Volumen de control.

= Componentes de velocidad.

4.2.2. Principio de conservación de la energía.

El principio de conservación de la energía establece que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma. En el caso donde el modelo de estudio se rige en un sistema, la Ecuación 4.3 cumple el principio en su forma más sencilla

$$(4.3)$$

Donde:

=Energía de entrada del sistema.

= Energía de salida del sistema.

= Variación de la energía en el sistema.

Sin embargo, en el caso de un modelo de estudio en volúmenes de control, es necesario la aplicación del teorema del transporte de Reynolds además de hacer uso de la transferencia de energía por trabajo (W) y la transferencia de energía por calor (Q). La

⁷ "Computational Fluid Dynamic"

Ecuación 4.4 muestra el principio de conservación de la energía para volúmenes de control.

$$\rho \frac{dV}{dt} + \rho \mathbf{V} \cdot \mathbf{A} = 0 \quad (4.4)$$

Donde:

- = Energía por unidad de masa.
- = Densidad.
- = Diferencial de volumen.
- = Componentes normales de velocidad.
- = Área diferencial.

4.2.3. Conservación de cantidad de movimiento.

La segunda ley de Newton , expresa que la aceleración de un cuerpo es proporcional a la fuerza que actúa sobre él y es inversamente proporcional a su masa. El producto de la masa y de la velocidad de un cuerpo se denomina momento lineal o cantidad de movimiento de un cuerpo⁸. Éste momento lineal se puede expresar como una razón de cambio en función del tiempo y directamente proporcional a la fuerza en un sistema cerrado como se puede apreciar en la Ecuación 4.5.

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} \quad (4.5)$$

Donde:

- = masa.
- = Aceleración bajo la influencia de .
- = Velocidad del cuerpo.

Utilizando el teorema de transporte de Reynolds y volviendo el análisis de sistema a volúmenes de control se formula la Ecuación 4.6. Tomando en cuenta que en un volumen de control las fuerzas que actúan son variables dentro del mismo y sobre la superficie y siendo la segunda ley de Newton el eje de referencia se define como: La suma de todas las fuerzas externas que actúan sobre un volumen de control son iguales a la razón de cambio respecto al tiempo del momento lineal contenido en el volumen de control más el flujo del momento lineal hacia fuera o hacia adentro a través de la superficie de control.

$$\rho \frac{dV}{dt} + \rho \mathbf{V} \cdot \mathbf{A} = \mathbf{F}_{ext} \quad (4.6)$$

Donde:

- = Densidad.
- = Diferencial de volumen.
- = Velocidad del fluido con relación a la superficie de control.

⁸ Cengel, 2006. *op. cit.* p-325.

=Velocidad del fluido.

= Flujo de masa que pasa por el elemento diferencial de área.

= Diferencial de área de superficie.

4.3. Modelos de energía, radiación y turbulencia utilizados por el programa de simulación ANSYS FLUENT.

Como se mencionó en el subtema anterior, las leyes de conservación rigen el funcionamiento de los modelos mediante CFD. ANSYS FLUENT utiliza con ciertas variaciones las ecuaciones características del comportamiento tanto de la energía (convección-conducción) como también la radiación y los fenómenos de turbulencia. A continuación se presentan el modelo de energía, el modelo de radiación y el modelo de turbulencia utilizado para el análisis de comportamiento de termo-fluidos.

4.3.1. Modelo de energía.

La simulación de energía se basa en los mecanismos básicos de transferencia de calor, esto es, conducción, convección y radiación, determinados mediante un modelo iterativo de energía. El modelo de energía utilizado en las regiones sólidas o fluidos por ANSYS FLUENT está determinado por el tipo de estudio realizado y la Ecuación 4.7 la define como sigue:

$$\text{---} \tag{4.7}$$

$$\text{---} \tag{4.8}$$

Dónde:

=Energía con base en unidad de masa.

Conductividad térmica.

Temperatura absoluta.

Densidad.

= Trabajo de flujo por unidad de masa.

= Energía cinética por unidad de masa.

Entalpía sensible en gases por unidad de masa .

= Campo de velocidades.

4.3.2. Convección natural

Se conoce que al ocurrir un aumento de temperatura en un fluido su densidad varía y un flujo convectivo es inducido por el cambio de densidad del mismo y la gravedad. En estos casos en los cuales se involucra el flujo convectivo, ANSYS FLUENT puede resolver el problema mediante los cálculos de las ecuaciones 4.9-4.11 que corresponden al número de Rayleigh, el coeficiente de expansión térmica y la difusividad térmica respectivamente.

$$\text{---} \quad (4.9)$$

$$\text{-- --} \quad (4.10)$$

$$\text{---} \quad (4.11)$$

Donde:

- = Gravedad.
- = Coeficiente de expansión térmica.
- = Coeficiente de difusividad térmica.
- = Cambio de temperatura en la capa límite.
- = Longitud característica.
- = Densidad.
- = Viscosidad cinemática.
- = Calor específico a presión constante.

4.3.3. Modelo de Radiación.

En la búsqueda de todas aquellas formas de transferencia de calor del modelo, es necesario conocer la ecuación que rige uno de los elementos determinantes de la transferencia de calor: la radiación.

ANSYS FLUENT provee un modelo de aproximación para el cálculo de la transferencia de calor por radiación que incide en una superficie. La ecuación general de transferencia por radiación utilizada por ANSYS FLUENT está definida por la ecuación 4.12, como sigue:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (4.12)$$

Donde:

- Vector de posición.
- Vector de dirección.
- Vector de dirección de dispersión.
- Longitud de la trayectoria.
- Coeficiente de absorción.
- Índice de refracción.
- Coeficiente de dispersión.
- Constante de Stefan Boltzmann --- .
- Intensidad de radiación dependiente de la posición y la dirección .
- Temperatura.
- Función de fase de Rayleigh: ---
- Ángulo sólido: ---

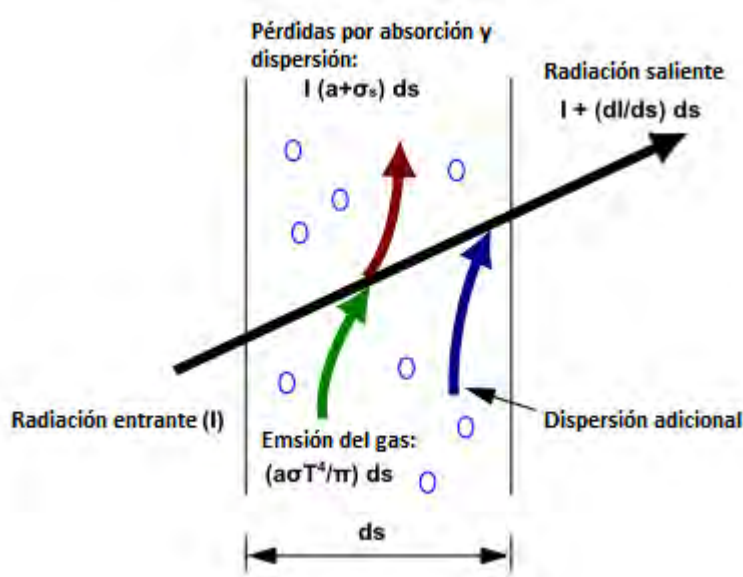


Figura 4.3-1. Componentes de la radiación en el espacio.

Fuente: 5.3.2. Ansys en línea

El modelo utilizado para el análisis realizado fue el modelo P-1, siendo el más práctico debido a que únicamente se necesitan las coordenadas geográficas del objeto y la orientación correspondiente hacia el norte y el este para su funcionamiento. El modelo está basado en la expansión de la intensidad de radiación dentro de series de armónicos esféricos, que no serán abordados en la presente investigación. La ecuación 4.13 define los términos necesarios para el cálculo del flujo de radiación en el modelo P-1.

$$(4.13)$$

Donde

Coeficiente de absorción.

Coeficiente de dispersión.

Radiación incidente.

= Coeficiente de función de fase lineal-anisotrópico⁹ (Propiedad del fluido analizado).

4.3.4. Modelo de Turbulencia.

El programa ANSYS FLUENT contiene una extensa variedad para la elección del modelo de turbulencia. En el desarrollo de la investigación realizada fue utilizada el modelo "RNG" que proporciona por medio de una función el número de Prandtl¹⁰, además de realizar los cálculos del número de Reynolds en cada iteración.

⁹ Los valores de C se encuentran en un rango de -1 a 1. Un valor positivo indica que la energía irradiada es dispersada y el cero indica dispersión similar en todas direcciones.

¹⁰ — Número adimensional entre la difusividad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica

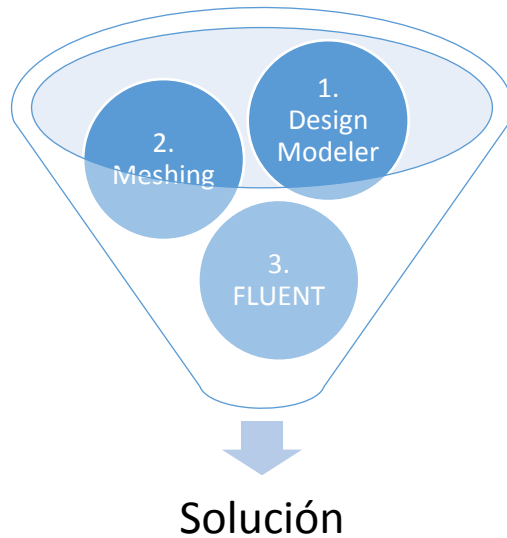


Figura 4.4-1. Proceso para una simulación de termofluidos en ANSYS.

Con el fin de abordar con mayor detalle, a continuación se presentan los subtemas correspondientes a los pasos mencionados.

4.4.1. Elaboración del modelo en ANSYS Design Modeler.

La generación de un modelo tridimensional es el primer paso hacia una simulación mediante CFD. Éste debe mantener las dimensiones originales y las propiedades necesarias para permitir el análisis del flujo de termofluidos.

Con base en las medidas de la Figura 4.1-7 y la Tabla 4.1-1 y utilizando el componente “Design Modeler” se elaboró un modelo en 3D de la cabaña; En algunas ocasiones se puede pasar por alto algunos detalles estéticos que no influyan directamente en los mecanismos de transferencia de calor. Se pueden observar algunos elementos que no fueron incluidos en el modelo en la Figura 4.1-5 y Figura 4.1-6.

En el modelo en 3D realizado, se optó por utilizar el volumen de control correspondiente al aire a diferencia de la composición de la cabaña original con las dimensiones mostradas de en el subcapítulo 4.1, debido a que en las configuraciones de solución de ANSYS es posible colocar el espesor de cada uno de los componentes de la cabaña (techo, muro, puerta, ventanas), considerando sus respectivas propiedades como equivalentes en los subtemas posteriores. En la Figura 4.4-2 se muestra el modelo final en 3D que se utilizó para el análisis.

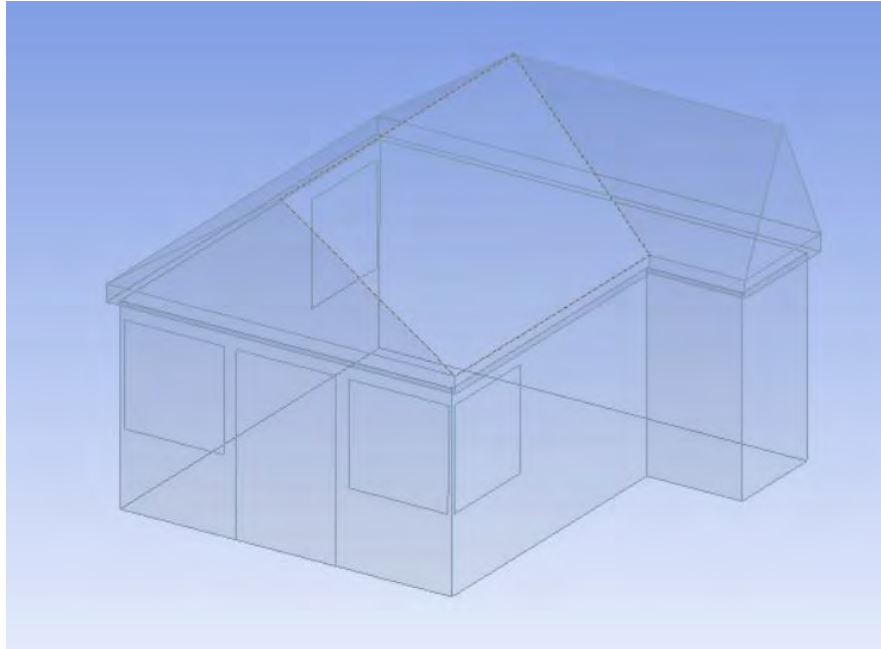


Figura 4.4-2. Modelo en 3D para la simulación.

En éste módulo también se designaron los elementos puerta, ventana, techo, piso y ventilación en superficie y en volumen. Al finalizar lo anteriormente mencionado, en la Figura 4.4-3 se muestran los detalles del modelo, el volumen y el área de superficie final para corroborar su similitud con la cabaña original.

Details View	
[-] Details of Body	
Body	Solid
Volume	68.248 m ³
Surface Area	108.99 m ²
Faces	25
Edges	65
Vertices	47
Fluid/Solid	Fluid
Shared Topology Method	Default
Geometry Type	DesignModeler

Figura 4.4-3. Detalles del modelo.

4.4.2. Discretización del volumen de control de la cabaña.

La discretización es la segunda etapa hacia una simulación por medio de ANSYS, en este paso el volumen de control es dividido en elementos más pequeños denominados celdas y las uniones entre las celdas son denominados nodos. Mediante el módulo de mallado “Meshing” se pueden realizar diferentes geometrías de mallado dependiendo la configuración del modelo realizado. En la Figura 4.4-4 se observan los diferentes tipos de malla.

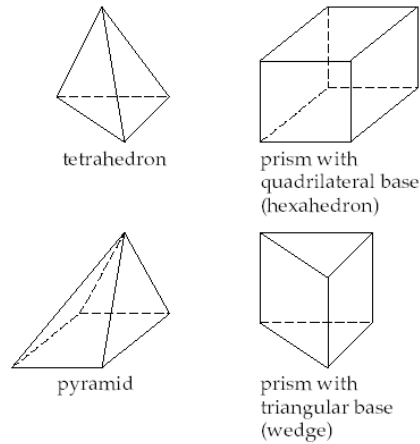


Figura 4.4-4. Diferentes tipos de malla.

En la elaboración de la malla es necesario configurar la cantidad de celdas por medio de la opción "Span Angle Center", en la Figura 4.4-5 se muestra la configuración general utilizada

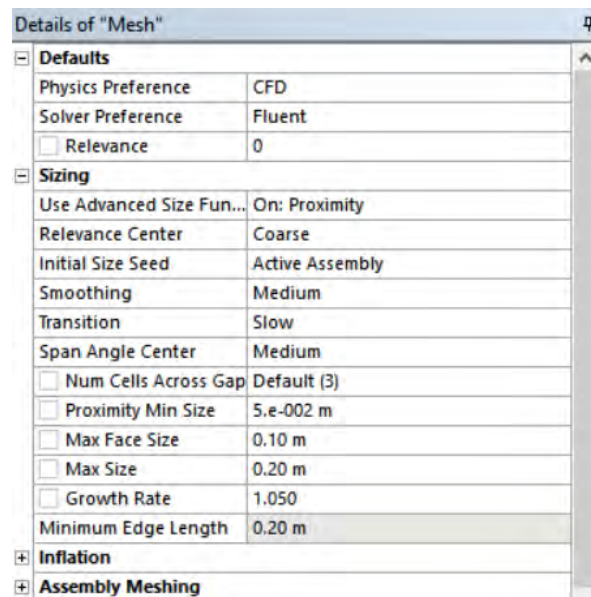


Figura 4.4-5. Detalles básicos de la malla.

Una vez modificadas las características de crecimiento, tamaños máximos y mínimos en los detalles de la malla, por medio de las estadísticas de la Figura 4.4-6 se muestran el número de elementos y nodos.

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	179602
<input type="checkbox"/> Elements	1018998
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	2.27059455573109E-05
<input type="checkbox"/> Max	0.832728683270241
<input type="checkbox"/> Average	0.217383030011374
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0.116059894181639

Figura 4.4-6. Estadísticas.

En el corte transversal de la Figura 4.4-7 se puede observar la malla realizada con la geometría mencionada anteriormente.

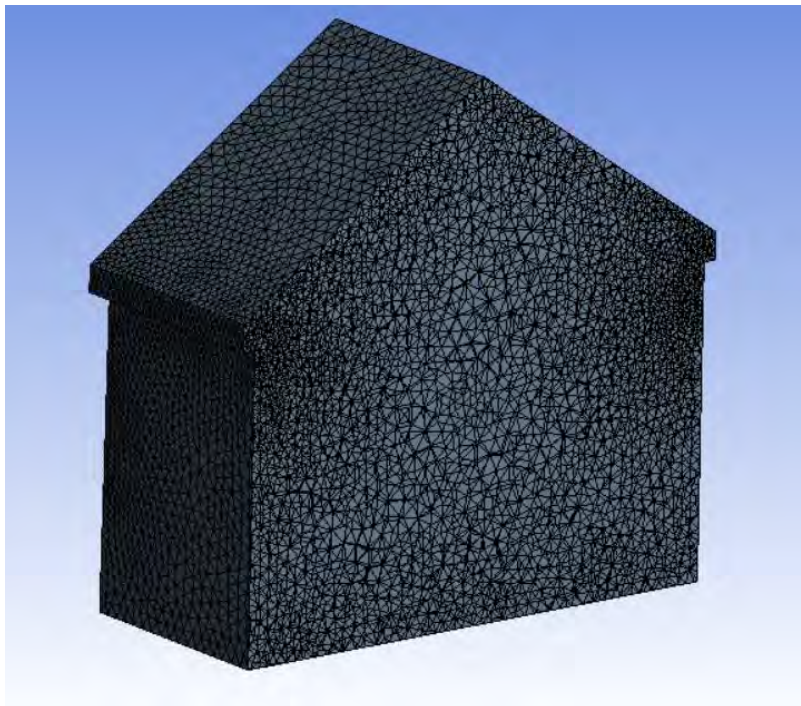


Figura 4.4-7. Discretización del modelo de la cabaña.

Algunos detalles como la densidad de elementos realizados en el cambio de geometrías que ocurre entre la pared y el techo, se debe a que el programa detecta los cambios bruscos en los ángulos que pueden causar un error mayor al momento de los cálculos correspondientes y por esa razón las celdas se encuentran en una proporción mayor a las del centro del modelo.

4.4.3. Solución del modelo por medio de ANSYS FLUENT.

El elemento discretizado de la cabaña, mencionada en el subtema 4.4.2 fue vinculado con ANSYS FLUENT para su solución. Dentro de este componente se requieren configurar las opciones de solución, el cálculo de la solución y la configuración para los resultados como se definen a continuación.

4.4.3.1. Configuración general.

El menú de configuración general de “solution setup” se divide en 3 partes principales: Malla, solucionador y gravedad.

- Malla (Mesh): En la parte superior cuenta las características para la verificación de la malla realizada en el subtema 4.4.2, su posición en referencia al eje, las partes del mallado existentes y si debe de ser refinada o se encuentra en condiciones óptimas para su utilización en Fluent.
- Solucionador (solver): Contienen los métodos de solución disponible para el cómputo del modelo y si será en estado estacionario o transitorio el cálculo.
- Gravedad (Gravity): la activación de la gravedad y su valor en el eje correspondiente.

La Figura 4.4-8 muestra la interfaz del menú de solución y la configuración general utilizada

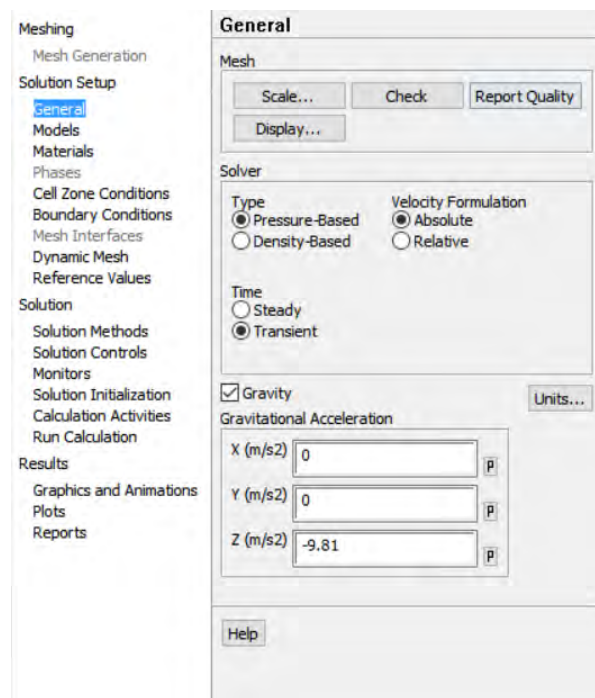


Figura 4.4-8. Menú de solución de ANSYS FLUENT.

4.4.3.2. Modelos.

Los modelos disponibles de ANSYS se encuentran en éste menú, en este caso, se activaron 3 modelos que corresponden a los modelos mencionados en el subtítulo 4.3

- Energy: On.

- Viscous: RNG K-ε. En el menú de viscosidad se activó la opción “Full bouyancy effects¹²”
- Radiation: P1, solar loading.

En el menú de radiación se utilizó el cálculo solar o “solar calculator”, por medio del cual se realizó el cálculo de la radiación solar de los muros. En este menú, se configuró la posición del modelo en grados, la región horaria, la orientación y el la fecha requerida de cálculo. En la Figura 4.4-9 se muestra la configuración utilizada.

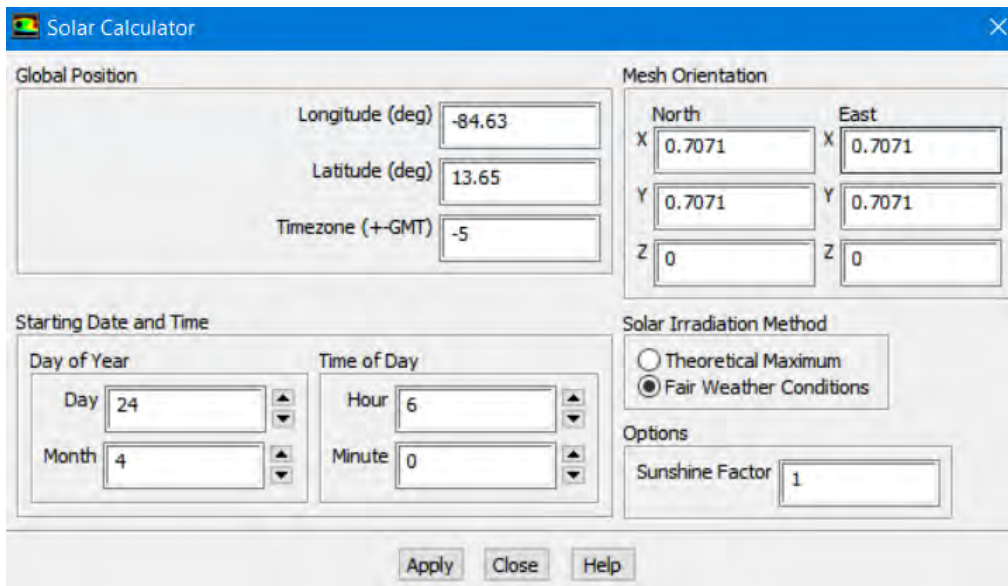


Figura 4.4-9 configuración. “Solar calculator”.

4.4.3.3. Materiales.

En la opción “Materials”, se definieron las propiedades de los materiales utilizados en la cabaña, desde los materiales sólidos: Puerta, piso, techo y muros, hasta los materiales en forma de fluidos, en este caso el aire. Debido a que en el modelo tridimensional los muros y el techo fueron elaborados de una capa a diferencia de las observadas en las Figura 4.1-1 y Figura 4.1-2, se realizó el cálculo de resistencias térmicas totales con el fin de calcular la conductividad térmica equivalente de los materiales. Con base en la ecuación 4.16 se calcularon las resistencias totales (ANEXO 10), en la Tabla 4.4-1 se encuentran los valores equivalentes calculados y utilizados en el menú de Fluent “Materials”.

$$(4.16)$$

¹² Para mayor información de este efecto consulte ANSYS en línea 4.3.5: Effects of Buoyancy on Turbulence in the k-ε Models.

Tabla 4.4-1. Propiedades térmicas de la simulación con valores originales.

Modelo	K equivalente (W/m°C)	Cp Utilizado ¹³ (J/kg°C)
Muro	0.53	1800
Techo	0.43	1200
Piso	1.4	1000

El aire por ser un material incluido en la base de datos de FLUENT, conserva sus propiedades predeterminadas como se muestra en la Figura 4.4-10.

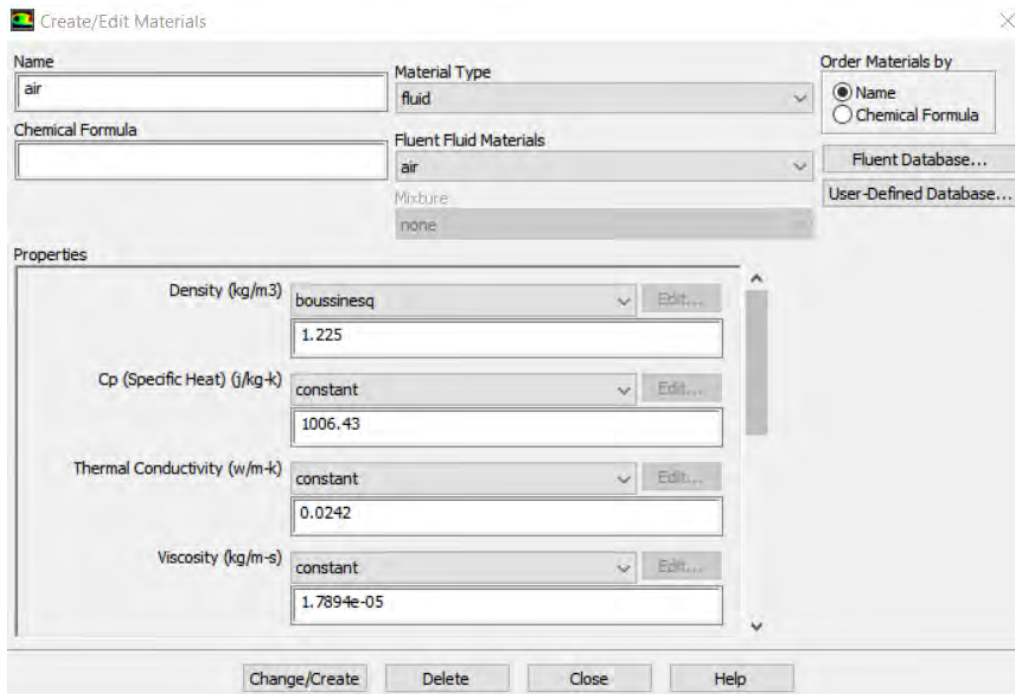


Figura 4.4-10. Propiedades del aire incluidas en la base de datos de FLUENT.

4.4.3.4. Condiciones en el volumen de control.

En el apartado “Cell Zone Condition” se observan los volúmenes de control definidos por el usuario, desde el aire hasta todos los elementos que constituyen la cabaña. Para el análisis realizado no se modificó ningún otro parámetro más que la definición del tipo

¹³ El calor específico utilizado fue el valor promedio de los valores de Cp de los materiales que constituyen el muro.

(Type: Fluid-Solid). La Figura 4.4-11 muestra el menú y la configuración de tipo fluido para el aire.

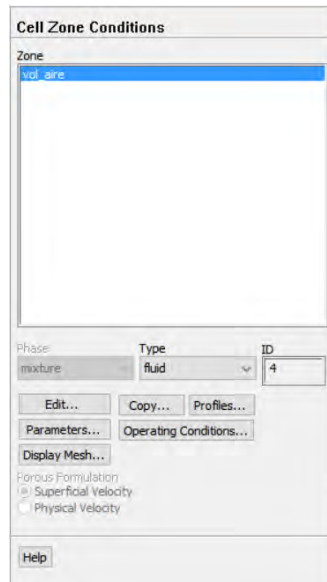


Figura 4.4-11. Menú de configuración Cell Zone Conditions en Fluent.

4.4.3.5. Condiciones de Frontera.

Una vez definidos los materiales con sus respectivas propiedades, ubicándose en “Boundary Conditions” en la opción “Type”, se muestra en la Figura 4.4-12 donde se definieron cada una de las zonas, en este caso el techo y los muros se denominaron “Wall”. Las ventanas en la simulación se tomaron como ventanas abiertas, por lo tanto se consideraron como “pressure inlet” y la ventilación que corresponde a la salida del aire como “pressure outlet”.

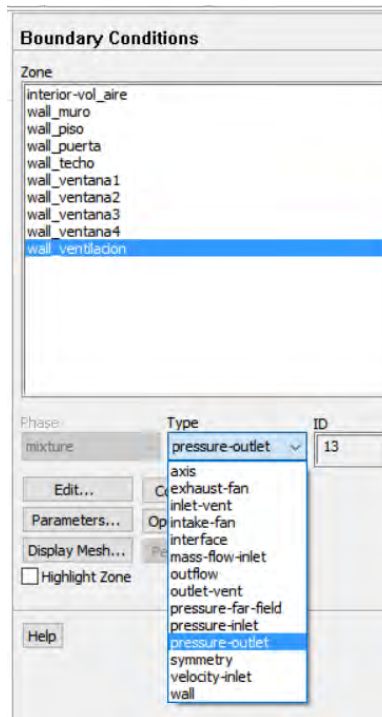


Figura 4.4-12. Menú de condiciones de frontera en Fluent.

Al terminar la sección del tipo se definieron los parámetros siguientes de cada una de las condiciones de frontera correspondientes a los muros, techo, ventanas, piso y ventilación.

- Tipo de material de los elementos sólidos (Techo, muro) que se encuentran en la
- Coeficiente de convección utilizado.
- Temperatura ambiente.
- Emisividad externa.
- Cantidad de radiación incidente,
- Participación en el modelo de radiación activado.
- Las propiedades ópticas de cada frontera, las cuales se pueden encontrar en la
- Tabla 4.1-5.

En la Figura 4.4-13 se puede observar la configuración de la pestaña térmicas de los muros, en este caso se seleccionaron las condiciones térmicas como “Mixed”, debido a que en este elemento existen fuerzas de convección radiación e intercambio de temperatura. En el apartado “Wall Thickness” se colocó el tamaño del espesor del elemento correspondiente mencionado en el subcapítulo 4.1.1. En la pestaña “Radiation” se colocó el valor de la absorción, el tipo de superficie (opaca-semitransparente) y su participación en el modelo solar. Ésta configuración es similar en todas las condiciones de frontera, para los elementos ventana y ventilación, la radiación fue la única configuración modificada, colocándoles una emisividad interna baja debido a su transparencia.

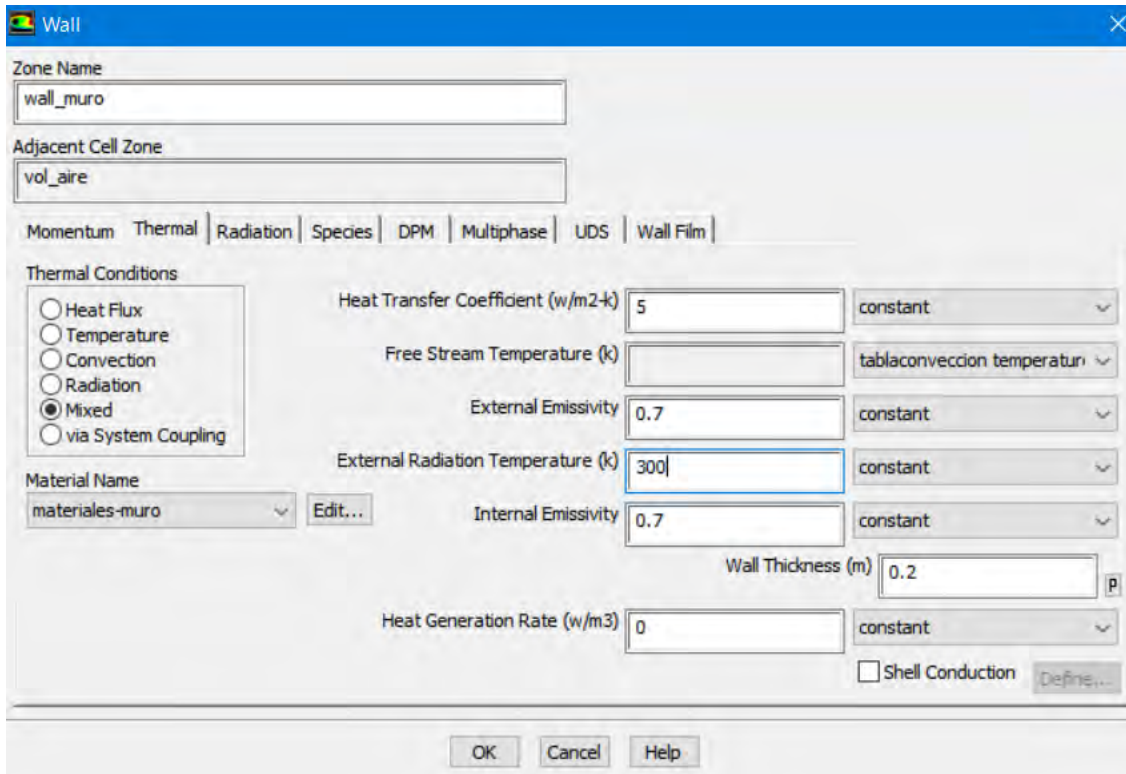


Figura 4.4-13. Parámetros del muro en las condiciones de frontera.

Como parte de la configuración de los parámetros de la Figura 4.4-13 se realizó una tabla de valores de temperatura para la condición “Free Stream Temperature” que corresponde a la temperatura exterior encontradas en el ANEXO 11. La tabla fue dividida en 2 secciones: tiempo en segundos y temperatura en K a lo largo del día analizado. En la Figura 4.4-14 se muestra la tabla elaborada con nombre “tabla-convección”, el número 1741 corresponde a los pasos del tiempo.

time	temperature
0	299.45
60	299.45
120	299.45
180	299.45
240	299.45
300	299.45
360	299.45
420	299.45
480	299.45
540	299.45
600	299.45
660	299.45
720	299.45
780	299.45
840	299.45
900	299.45
960	299.45
1020	299.45

Figura 4.4-14. Tabla de valores de temperatura exterior.

La configuración de “Dynamic Mesh” y “Reference Values” se establecieron como configuración típica de ANSYS FLUENT.

4.4.3.6. Métodos de solución.

En el menú “Solution Methods” se delimitaron los términos de gradiente, presión, momento, energía cinética de turbulencia, razón de disipación de turbulencia y energía asociados con los métodos de solución de los cálculos¹⁴. La configuración utilizada en este análisis fue el siguiente:

- Pressure Velocity coupling: SIMPLE.
- Gradient: Green-Gauss Node Based.
- Pressure: Body Force Weighted.
- Momentun: Second Order Upwind.
- Turbulent Kinectic Energy: First Order Upwind.
- Turbulent Dissipation Rate: Second Order Upwind.
- Energy: Second Order Upwind.
- Transient Formulation: First Order Implicit.

En la Figura 4.4-15 se observa la configuración de los métodos de solución de la cabaña, el uso de algoritmos de segundo orden y de diferentes métodos de solución pueden ser partícipes de a disminución o aumento del tiempo de cálculo.

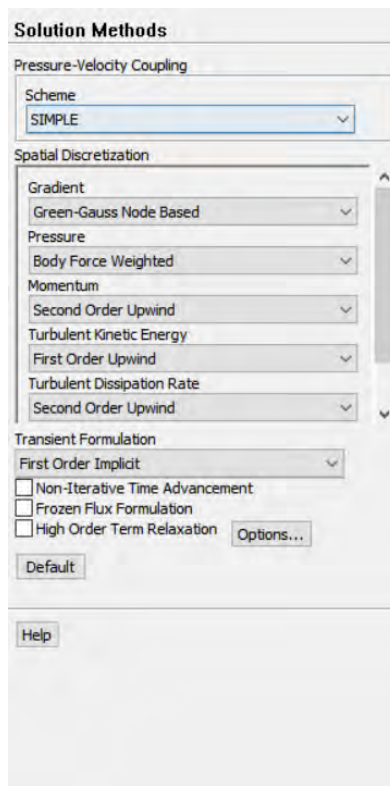


Figura 4.4-15. Menú de métodos de solución.

¹⁴ Los algoritmos y los métodos de solución no serán abordados en el presente capítulo, la información completa se puede encontrar en ANSYS en línea en la sección Chapter 20: Solver Theory

Los parámetros del menú “solution control” posterior al presente subtema fueron conservados en su configuración típica, refiriéndose a los controles de relajación de los modelos activados en la sección 4.4.3.2.

4.4.3.7. Inicio del cálculo.

Antes de realizar el cálculo, en la pestaña “Monitors” se colocó un punto que permitió monitorear y almacenar los datos de temperatura calculada en cada paso del tiempo, ubicado en el centro de la cabaña a 1 metro del suelo. Por consiguiente, en el menú “Run Calculation” se definieron los pasos del tiempo correspondientes a un día completo como se muestra en la Figura 4.4-16.

Como parte final hacia el inicio del cálculo en la opción resultados “Graphics y animations” se colocaron monitores de temperatura y velocidad, con el fin de obtener imágenes del comportamiento de los termofluidos en la cabaña como se puede observar en la Figura 4.4-188

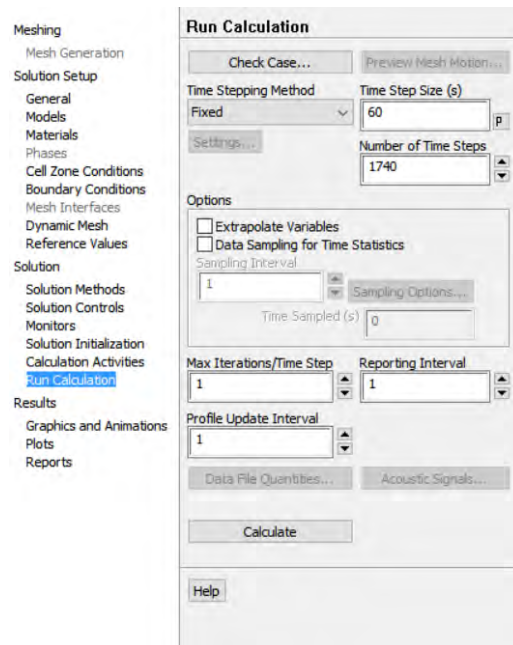


Figura 4.4-16. Paso final para el inicio del cálculo.

Al iniciar el cálculo, se procedió a visualizar el cálculo de los residuales hasta las iteraciones correspondientes al número de pasos del tiempo como se muestra en la Figura 4.4-17.

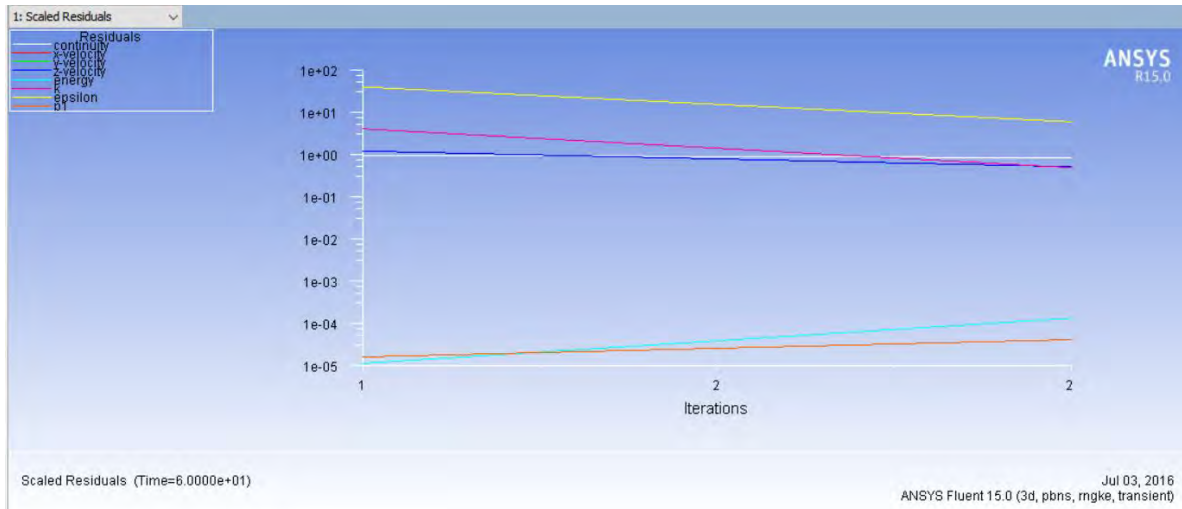


Figura 4.4-17. Escala de residuales del cálculo mediante ANSYS FLUENT.

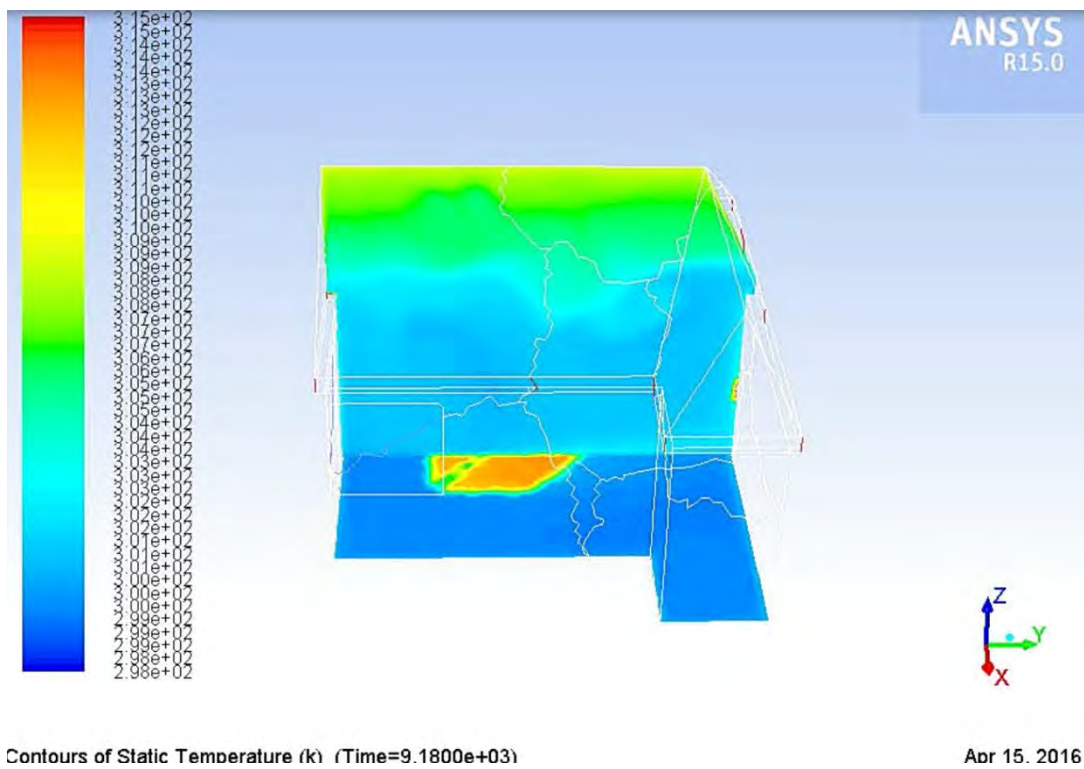


Figura 4.4-188. Corte transversal. Visualización de comportamiento de temperatura en tiempo.

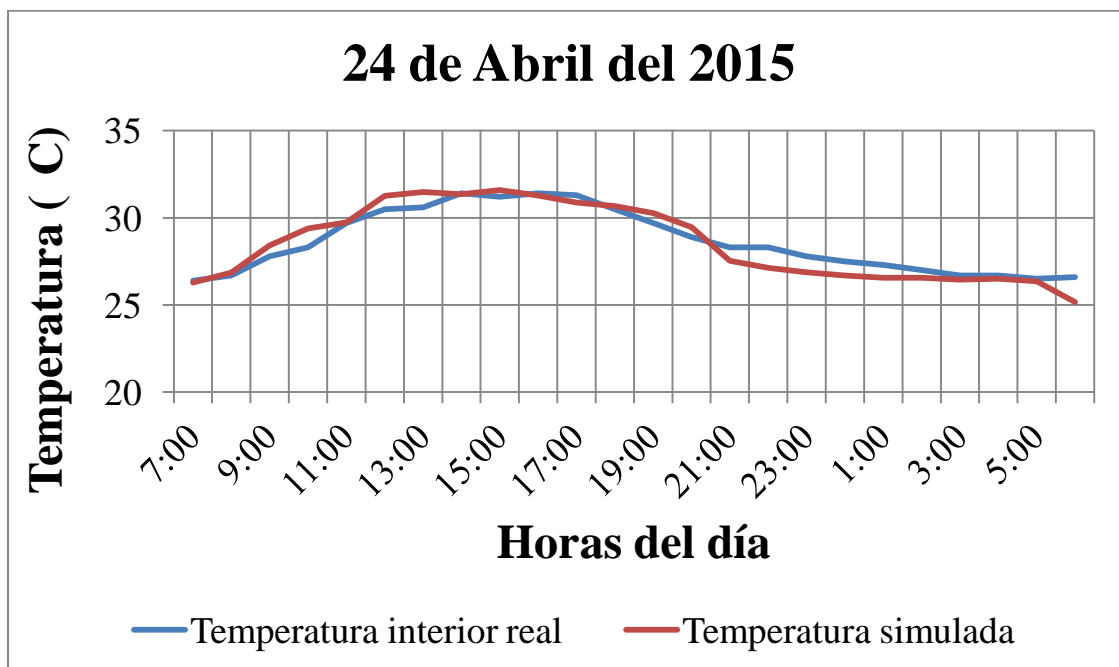
4.5. Resultados de simulación.

El procedimiento descrito en la sección 4.4, fue realizado en 3 simulaciones diferentes que corresponden a ciertas fechas del año: Abril, Septiembre y Noviembre. Una vez obtenido los resultados del comportamiento y comprobado su efectividad, se realizó el mismo modelo de la cabaña con diferente material para el repellado o revoco, utilizando en el segundo caso fibras leñosas y en el tercer caso el compuesto 1:5 (F0.25) con refuerzo de fibra *Lagenaria siceraria* estudiado en el capítulo 2.

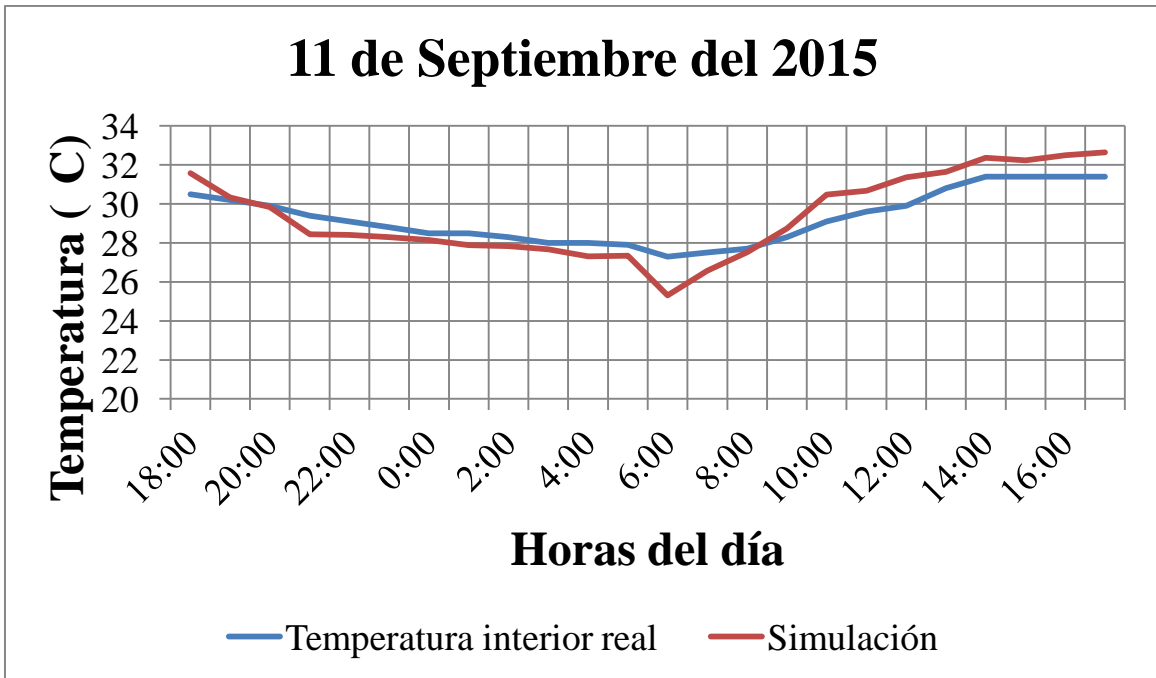
4.5.1. Análisis de la simulación de la cabaña.

Al finalizar los cálculos elaborados por medio del software ANSYS FLUENT, se realizó la comparación de la temperatura interior medida (ANEXO 10), con la temperatura calculada por medio de la simulación como puede observarse en las gráficas: **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

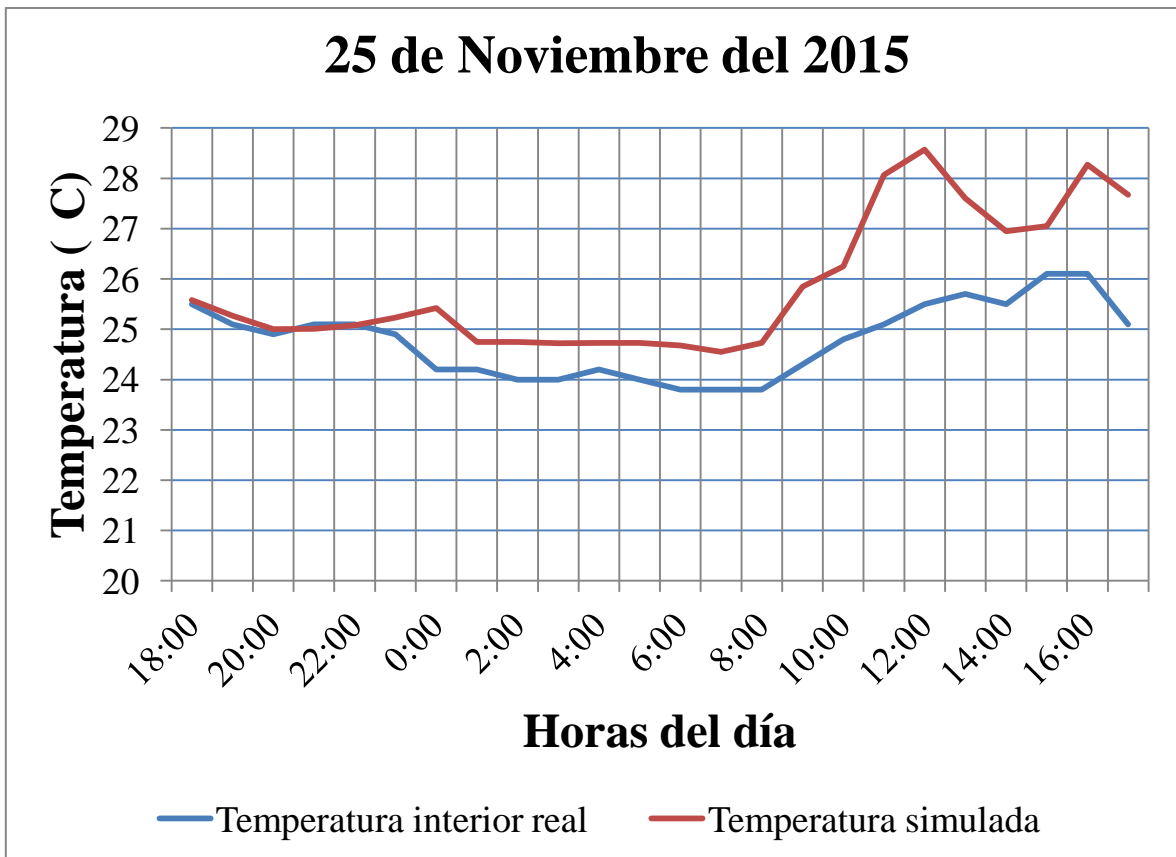
Las variaciones de temperatura mencionada en la introducción, son mayores debido al estado transitorio manejado en la simulación. De la misma manera, en algunas gráficas como son las correspondientes a los meses de Noviembre en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se obtuvo una ligera variación mayor debido a los cambios repentinos de temperatura, nubosidad, disminución y aumento de humedad relativa.



Gráfica 4.5-1. Variación de temperatura del modelo original y el modelo simulado en el mes de Abril.



Gráfica 4.5-2. Variación de temperatura del modelo original y el modelo simulado en el mes de septiembre.



Gráfica 4.5-3. Variación de temperatura del modelo original y el modelo simulado en el mes de Noviembre.

Debido a las consideraciones que no se tomaron en cuenta en el modelo simulado como son: las condiciones de viento, la humedad relativa, las condiciones de sombra, los objetos del interior al momento de la mediciones de temperatura y las fluctuaciones de nubosidad, se incluyen los errores relativos y absolutos de cada fecha del modelo simulado en referencia a la cabaña original. La Tabla 4.5-1 muestra el error promedio de los cálculos realizados.

Tabla 4.5-1. Errores de las temperaturas originales vs las temperaturas de la simulación.

Fecha Simulada	Error absoluto promedio (C)	Error Relativo promedio (%)
24/04/15	0.5325	1.87837263
11/09/15	0.78541667	2.67523899
25/11/15	1.08	4.33

4.5.2. Análisis con materiales de Fibras leñosas.

Con base en el modelo concluido se realizó el experimento del cambio de propiedades térmicas de la capa del repellado. En este caso, la Tabla 4.5-2 muestra los valores utilizados.

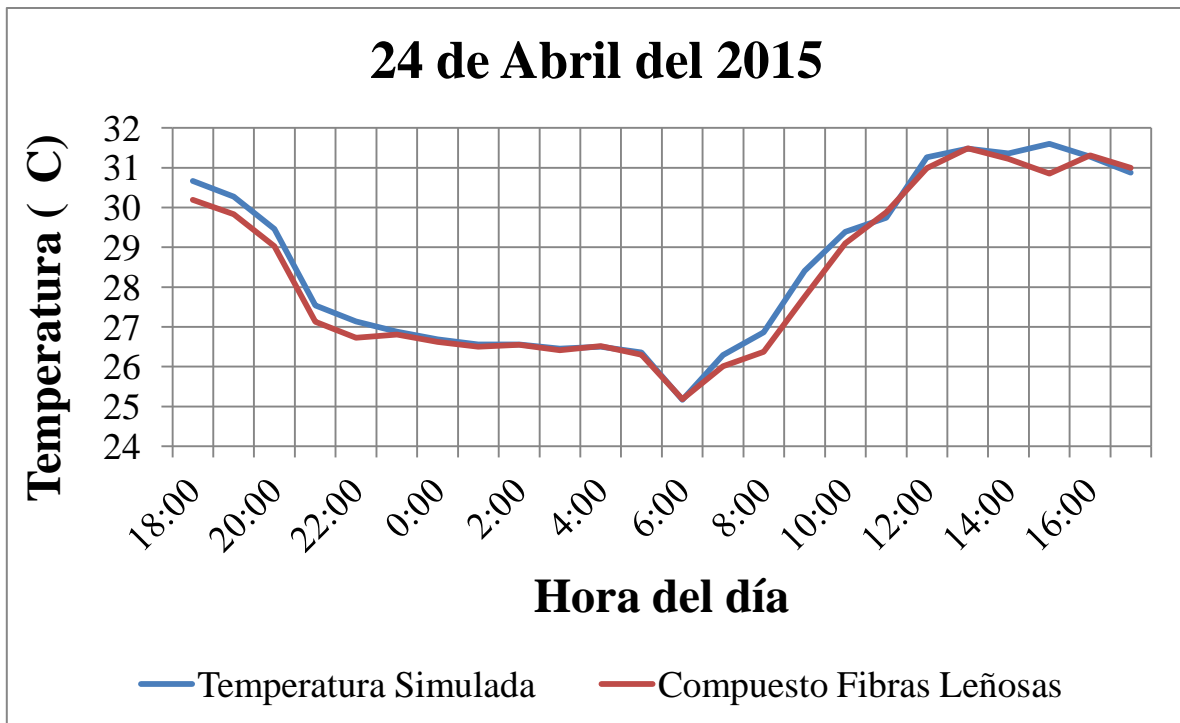
Tabla 4.5-2. Propiedades térmicas de la simulación con muro de fibras leñosas.

Modelo	K equivalente (W/m°C)	Cp Utilizado (J/kg°C)
Muro	0.37	1600
Techo	0.43	1200
Piso	1.4	1000

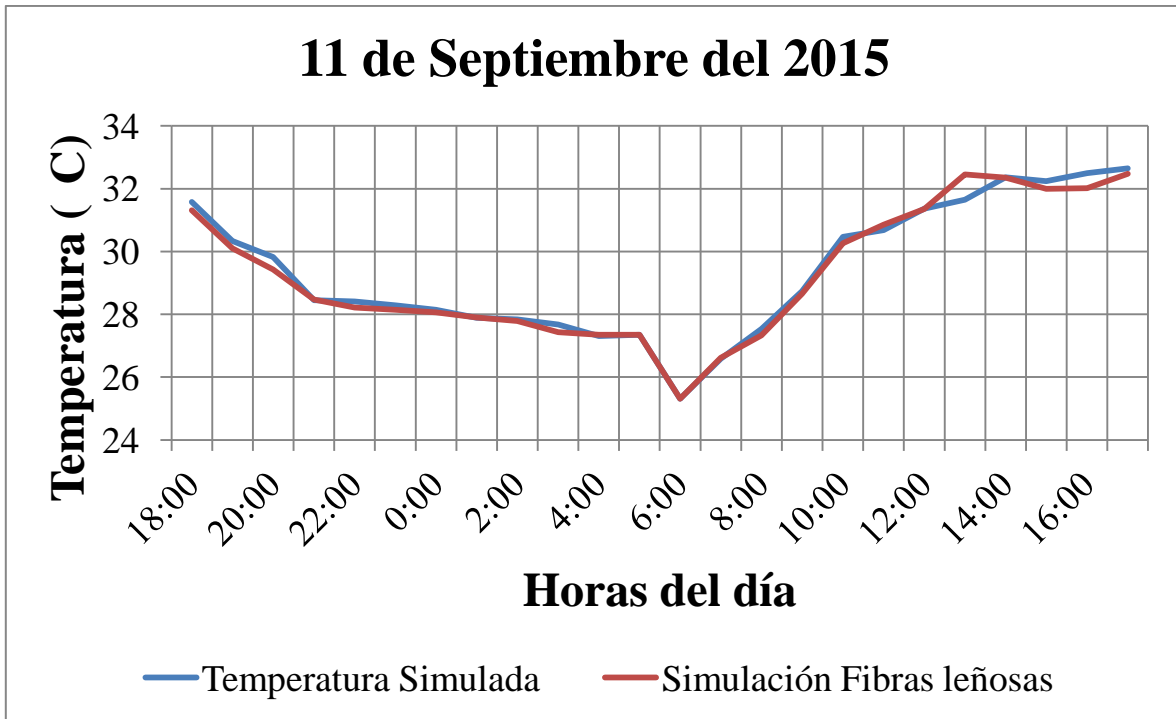
Tabla 4.5-3. Temperaturas promedio de la simulación con diferencia de fibras leñosas

Fecha Simulada	Temperatura promedio simulada original (C)	Temperatura promedio con Fibras leñosas (C)
24/04/15	28.5333	28.30375
11/09/15	29.38125	29.3
25/11/15	25.85	25.76

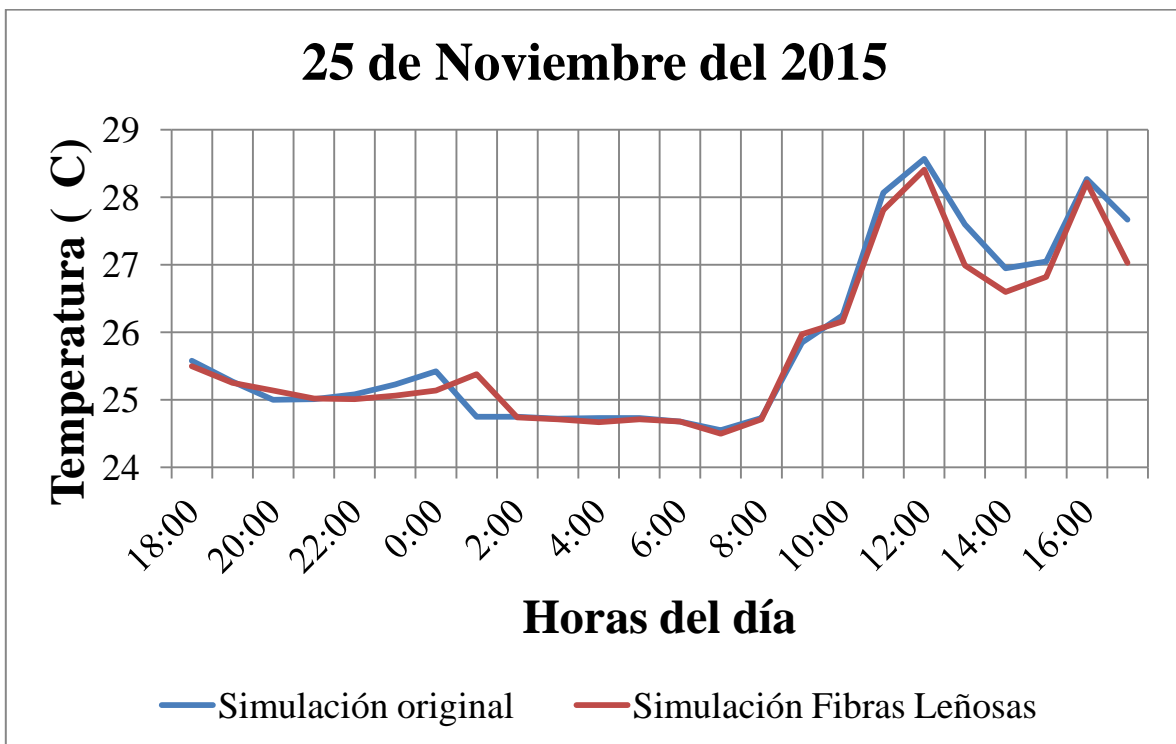
En las gráficas: Gráfica 4.5-4, Gráfica 4.5-5 y Gráfica 4.5-6, se puede observar que en las temperaturas promedio las variaciones son mínimas, en las horas críticas la disminución es mayor que en otros puntos, van desde 0.3 hasta 0.6 grados centígrados.



Gráfica 4.5-4. Variación de temperatura del modelo simulado y el modelo con Fibras leñosas en el mes de Abril.



Gráfica 4.5-5. Variación de temperatura del modelo simulado y el modelo con Fibras leñosas en el mes de Septiembre.



Gráfica 4.5-6. Variación de temperatura del modelo simulado y el modelo con Fibras leñosas en el mes de noviembre.

4.5.3. Análisis de temperaturas con materiales de compuesto *Lagenaria siceraria* 1:5 (F0.25).

De manera similar se elaboró el cambio de conductividades en el muro por el cambio de mortero. La conductividad térmica se puede encontrar en la Tabla 4.5-4.

Tabla 4.5-4. Propiedades térmicas de la simulación con muro de compuesto 1:5(F0.25).

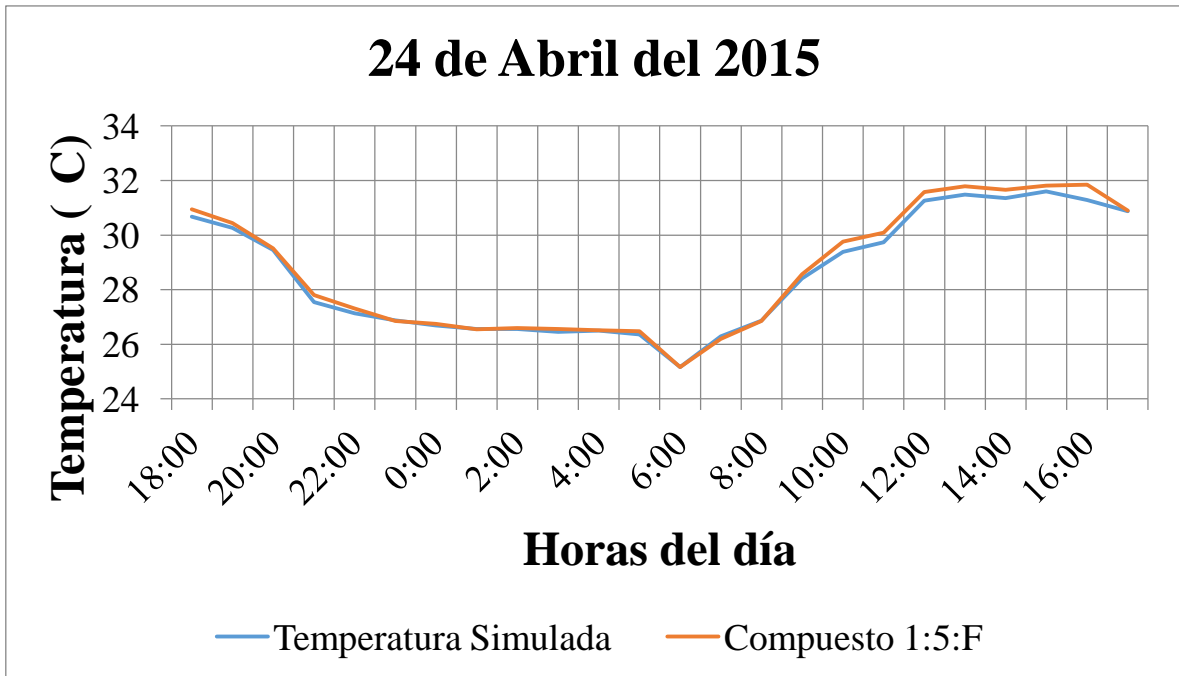
Modelo	K equivalente (W/m°C)	Cp Utilizado (J/kg°C)
Muro	0.57	1800
Techo	0.43	1200
Piso	1.4	1000

En la Tabla 4.5-5, se muestran las diferencias de temperatura de la cabaña con el compuesto 1:5 (F025) y la cabaña con los materiales originales.

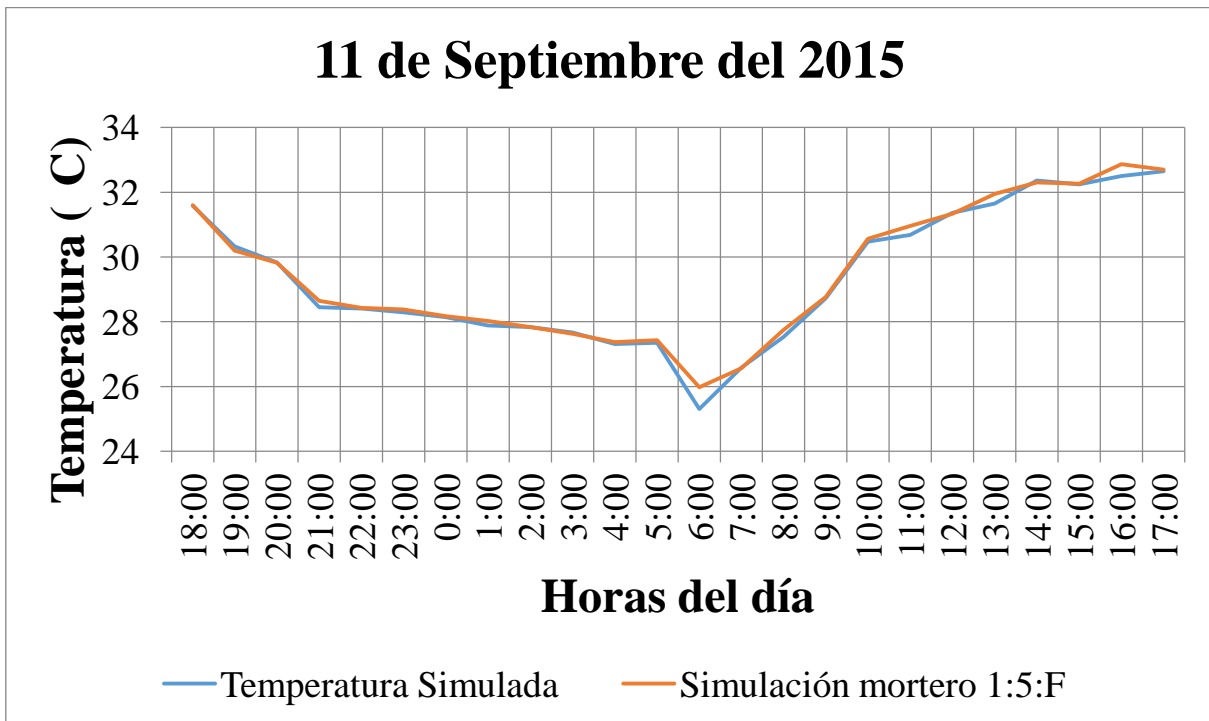
Tabla 4.5-5. Temperaturas promedio de la simulación con diferencia de fibras leñosas.

Fecha Simulada	Temperatura promedio simulada original (C)	Temperatura promedio con mortero 1:5 (F025) (C)
24/04/15	28.5333	28.6883
11/09/15	29.38125	29.48
25/11/15	25.85	25.95

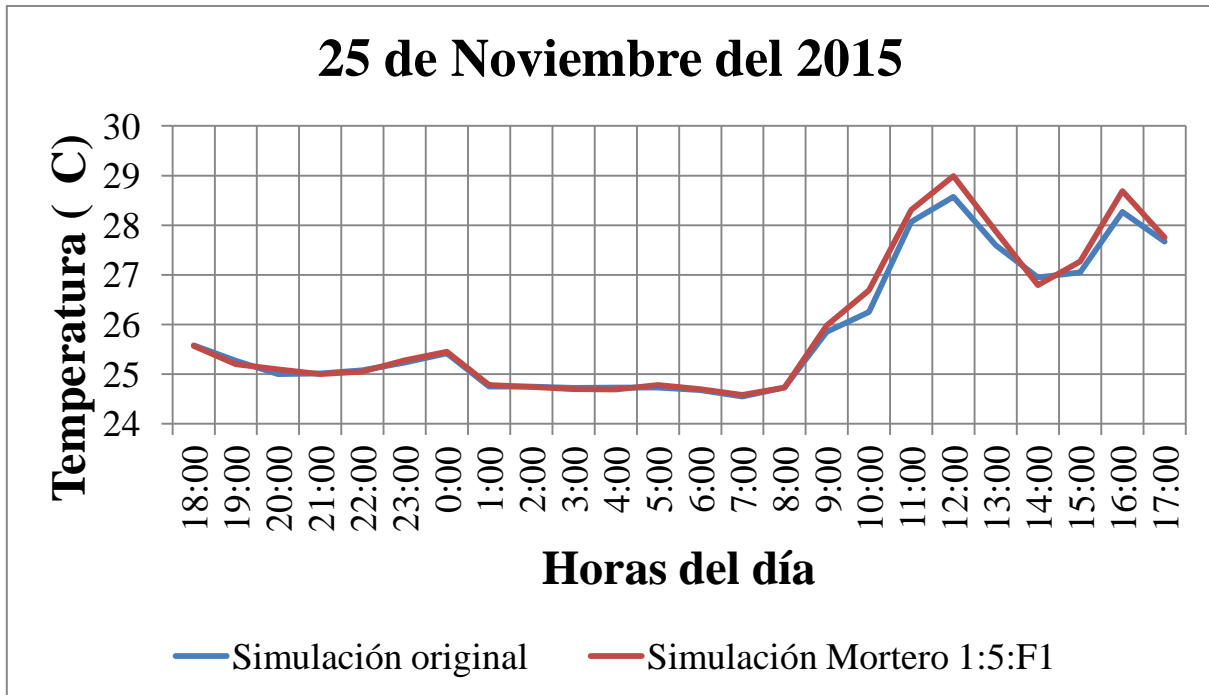
Los valores se pueden visualizar en las gráficas: Gráfica 4.5-7, Gráfica 4.5-8 y Gráfica 4.5-9.



Gráfica 4.5-7.Variación de temperatura del modelo simulado y el modelo con aplanado del Compuesto 1:5 (F0.25) en el mes de Abril.



Gráfica 4.5-8.Variación de temperatura del modelo simulado y el modelo con aplanado del Compuesto 1:5 (F0.25) en el mes de Septiembre.



Gráfica 4.5-9-.Variación de temperatura del modelo simulado y el modelo con aplanado del Compuesto 1:5 F0.25 en el mes de Noviembre.

CONCLUSIONES.

- La normatividad hacia los materiales para ahorro energético en la vivienda tiene los fundamentos para elaborar conjuntos habitacionales energéticamente eficientes, no obstante, en muchas ocasiones esta normativa no es utilizada debido a que no se considera indispensable y su aplicación es considerada únicamente como recomendación.
- Es posible observar en los resultados de la Gráfica 2.3-1 que la conductividad térmica de los compuestos 2 y 4, los cuales contienen una proporción de fibra, lograron obtener una menor conductividad, por tal razón es posible considerar a la fibra *Lagenaria siceraria* como un aliado en la disminución de la ganancia térmica. La Gráfica 2.3-7 reafirma lo anterior debido a que los compuestos con fibra tienen un mayor desempeño en el calor específico.
- Se logra visualizar una ligera discrepancia positiva con respecto a los compuestos sin fibra en las gráficas correspondientes a la sección 2.3.1.2, lo que indica una capacidad mayor de amortiguamiento y de retardo térmico al incluirse la fibra *Lagenaria siceraria*.
- Debido al proceso heurístico del algoritmo de Redes Neuronales, es probable encontrar mediante más ensayos de simulación, modelos de mejor correlación que cumplan con mayor eficacia la relación entre los valores experimentales y los de inferencia.

- En términos generales, es necesario destacar que las conductividades encontradas de cada proporción de mezclas utilizadas en el análisis por medio del algoritmo de Redes Neuronales se encuentra en el rango de conductividades que fue ingresado en su entrenamiento, por lo que en este caso con un total de cuatro compuestos muestra, las conductividades de las proporciones indicadas difieren en cuanto a valores reales.
- En cuanto a la simulación de la cabaña por medio de ANSYS FLUENT se encontró su efectividad en la aproximación al modelo real, el margen de error fue del orden de 1.3 °C en promedio. Se rectificó que el uso de fibras orgánicas en la simulación disminuye la temperatura interior de la edificación.
- El uso del sistema constructivo como equivalente en la simulación por ANSYS FLUENT es uno de los factores que puede ser crucial en la determinación de los valores de temperatura, en este caso particular y debido a que las condiciones son similares, el margen de error descrito en la conclusión anterior no es considerable. Sin embargo, el comportamiento térmico de una vivienda, además de estar influenciada por los materiales utilizados en el sistema constructivo, se tiene que considerar el orden del mismo ya que la transferencia de calor de la capa exterior define la velocidad inicial de transmitancia de energía térmica.
- La temperatura simulada en el punto medido: Cama, contiene variaciones debido a que no se dibujaron los muebles y no se consideraron todas las variables implicadas en el proceso de transferencia de calor.
- En la relación de las temperaturas calculadas mediante ANSYS FLUENT, se puede observar una característica que puede discernir en el estudio de los materiales de ahorro energético, el modelo original de la cabaña no logra la temperatura de confort en el periodo de verano, esto indicaría que únicamente se logra la temperatura de confort en el periodo de invierno.
- En cuanto a la simulación mediante el programa ANSYS FLUENT, las temperaturas exteriores juegan un papel importante, en este caso las mediciones fueron realizadas en tiempo y forma pero aun en el caso de no contar con los datos, es posible utilizar un modelo de aproximación.
- La temperatura de la cabaña simulada con los materiales alternos en las diferentes fechas es superior a los 28.5°C, lo que indica que se encuentra fuera de la zona de confort calculada mediante el criterio de Szokolay, en los meses que van desde abril hasta septiembre.
- El confort térmico está relacionado directamente con el índice de masa corporal, el tipo de ropa y la velocidad del viento. Aspectos que no fueron considerados en este trabajo.

- Debido a que el material utilizado en los muros tienen un espesor de 0.025 m y que la techumbre por tener un área mayor de captación en las horas pico de radiación solar, transmite una cantidad superior de energía térmica hacia el interior de la vivienda en comparación con aquellos.
- La ventilación natural y mecánica es un factor importante para disminuir el discomfort térmico, el viento inducido tiene que tener una temperatura aceptable para ello y una velocidad media que ayude a mejorar la convección del cuerpo.

RECOMENDACIONES.

- Los programas implementados por el gobierno general como son: “Hipoteca Verde” y “Ésta es tu Casa” son programas recientes del 2010 y de gran impacto social. Por tal razón es necesario evaluar su factibilidad en el transcurso de la vida útil de la vivienda.
- El uso de las redes neuronales para modelos de conductividad térmica son aceptables en cierto margen de error, es recomendable comprobar su uso elaborando más pruebas experimentales. Se puede considerar una herramienta eficaz para encontrar conductividades térmicas basadas en proporciones, en tiempos cortos sin realizar el proceso largo que conlleva la fabricación de morteros.
- Es necesario determinar la densidad de la malla realizada por medio de ANSYS y la capacidad de procesamiento existente para el análisis por ANSYS FLUENT.
- En el diseño de una vivienda es necesario tomar en cuenta las investigaciones tanto de materiales como de diseño, para evitar un mayor consumo energético y mejorar el confort térmico. Por esta razón y tomando en cuenta las conclusiones finales se recomiendan optimizar los puntos siguientes para mejorar el confort térmico en la vivienda:
 1. Ubicación geográfica (Determinante en las condiciones climatológicas).
 2. Diseño y orientación de la casa adecuados al entorno.
 3. Aprovechamiento de la ventilación natural.
 4. Elección de materiales de baja conductividad térmica y alto calor específico.
 5. El uso de elementos de sombreado naturales: Árboles alrededor de la vivienda, sin afectar el flujo de ventilación.
 6. El sombreado del suelo afecta directamente a la temperatura del flujo de ventilación natural.

Referencias Bibliográficas.

- INEGI. (2015). *cuentame inegi*. Obtenido de *cuentame inegi*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2016, de INEGI: <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>
- CONAGUA. (2014). *Reporte Anual del clima*. México DF: CONAGUA.
- García, J. y. (1995). *Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño en Arquitectura*. México.: Ed. Trillas.
- Datta, K. (1936). Versuche über die verwendung vboanm bus im betombau. *jahrgang Heft, 17*, 277.
- Truejeque, J. (2009). Propiedades Físicas para uso en la construcción. *Semana Nacional de Energía Solar* (págs. 161-165). Guadalajara, Jalisco: Semana Nacional de Energía Solar.
- Torres, A. (2009). Cálculo de la evapotranspiración . *Cálculo de la evapotranspiración* (págs. 5-10). Guadalajara Jal, México: Semana Nacional de Energía Solar.
- Bansal, N. K. (1994). *Passive Building Design, a Handbook of Natural Climatic Control*. Elsevier Science.
- Alamilla. (2009). Importancia de las áreas verdes en el fraccionamiento Caribe II: Beneficios de la presencia de vegetación. *Seminario de Valoracion Ambiental*. Chetumal Quintana Roo: Universidad de Quintana Roo.
- Castañeda, G. (2009). Comportamiento térmico de 3 sistemas de techo en Tuxtla Gutierrez, Chiapas, México. Guadalajara Jal, México: Semana Nacional de Energía Solar.
- Bojórquez, I. (2003). Resistencia a la compresion de compuestos a base de desperdicios de origen orgánico. *Revista Ingeniería de Construcción*, 87-92.
- Onésippe, C. (2010). Sugar cane bagasse fibres reinforced cement composites: Thermal considerations. *Elsevier*, 4(41), 549-556.
- CONUEE. Recuperado el 25 de Abril de 2001. De CONUE: <http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6933/19/NOM008ENER2001.pdf>.
- SENER. (8 de Noviembre de 1995). NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriale. *Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriale*. Mexico: Diario Oficial de la Federación.
- Barrios G, G. H. (2012). Energy and Buildings. *EISEVIER*, 8.
- SENER. (14 de Diciembre de 2011). NOM-018-ENER-2011. *Norma Oficial Mexicana NOM-018-ENER-2011*. Mexico: Diario Oficial de la Federación.

- AISLANTES MINERALES, S.A DE C.V; AMERICAN CONCRETE INSTITUTE- CENTRO Y SUR DE MÉXICO (ACI). (2013). NMX-AA-164-SCFI-2013 . *EDIFICACIÓN SUSTENTABLE CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS*. México, D.F, México.
- TURÍSTICOS, A. M., & AMBIENTE, C. M. (2014). *economía*. Recuperado el 12 de Febrero de 2016, de Consulta del Catálogo de Normas Mexicanas (NMX): <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-171-scfi-2014.pdf>.
- K'AAN, A. D., INMOBILIARIOS, A. D., & AL, E. (2012). *Secretaría de Ecología y Medio Ambiente*. Recuperado el 12 de Febrero de 2016, de SEMA: http://sema.groo.gob.mx/sistemas/transparencia/utaippe_tansparencia/UTAIPPE_ART.%202015/01%20Normatividad%20Aplicable/09%20Normas%20Federales/Norma%20Mexicana%20NMX-AA-157-SCFI-2012.pdf.
- Aislantes Minerales, S.A. de C.V. (ROLAN); Armacell, Inc; AEAEE. (2009). "*INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AISLAMIENTO TÉRMICO –VALOR “R” PARA LAS ENVOLVENTES DE VIVIENDA POR ZONA TÉRMICA PARA LA REPÚBLICA MEXICANA - ESPECIFICACIONES Y VERIFICACIÓN*". México, DF: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- USBG. (2016). *USBG*. Recuperado el 12 de Febrero de 2016, de USBG: <http://www.usgbc.org/leed>.
- Rodríguez, O. d. (2010). Evaluación de la Sustentabilidad Ambiental en la Construcción y Administración de Edificios en México. *Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental*, 62.
- International Living Future Institute. (2006). *International Living Future Institute*. Recuperado el 15 de Febrero de 2016, de International Living Future Institute: <https://living-future.org/>.
- EarthCheck. (2016). *EarthCheck*. Recuperado el 15 de Febrero de 2016, de EarthCheck: <http://earthcheck.org/>.
- BREEAM. (2008). *BREEAM*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de BREEAM: <http://breeam.es/index.php/certifica/esquemas-de-certificacion>.
- Embajada Británica en México. (2013). Componente Ambiental de la Sustentabilidad. *ESTRATEGIA NACIONAL PARA LA VIVIENDA SUSTENTABLE*. México, D.F, México: Fundación IDEA.
- INFONAVIT. (2010). *INFONAVIT*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de INFONAVIT: <http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/infonavit/trabajadores/saber+para+decidir/cuido+mi+casa/ahorro+y+cuido+el+medio+ambiente>.
- COPARMEX. (2016). *COPARMEX*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de COPARMEX: <http://www.coparmex.org.mx/>.
- CONAVI. (2014). Código de Edificación de Vivienda. En CONAVI, *Código de Edificación de Vivienda* (pág. 496). México: CONAVI.

- INFONAVIT. (1 de Diciembre de 2012). *Portal infonavit*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de Portal infonavit: <http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/605a49e8-ab12-428b-b796f97a99e389ae/Manual+Vida+Integral+Infonavit+Vivienda+Sustentable.pdf?MOD=AJPERES>
- SHCP. (2011). *cmic*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de cmic: http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/2011/shf/taller_duis/Presentaciones/Introducci%C3%B3n.pdf.
- ACI committe 544. (1998). State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete. En *ACI Manual of Concrete Practice* (págs. 544.1R-544.1R-66).
- Young, J. M. (1998). The Science and Technology of Civil Engineering Materials. *Prentice Hall Inc*, 351-371.
- Alvarado, C. A. (2002). *Concretos Base Cemento Portland Reforzados con Fibras Naturales, como Materiales para Construcción en México*. Nuevo leon: Universidad Autónoma de Nuevo Leon.
- Bojórquez, I. (2005). *Desarrollo de un nuevo material a base de Fibras Orgánicas del Sudeste Mexicano en matriz de cemento Pórtland para producir paneles ligeros*. La Habana: CECAT.
- Holman, J. P. (1994). *MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA INGENIEROS*. Mexico, DF|: McGRAW-HILL, 85-6.
- Bojórquez, I., Castillo, S. J., & Flores, F. H. (2010). Criterios para el diseño térmico de techumbres en climas cálido-húmedos, a partir de materiales locales. *Palapa*, 27-38.
- Graniel, J. F. (2007). *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA RADIACION SOLAR, ENTRE MATERIALES POLIFÁSICOS CON FIBRAS ORGÁNICAS Y MATERIALES ASFÁLTICOS Y ELASTOMÉRICOS*. Chetumal Quintana Roo: UQroo.
- Cengel, Y. A. (2003). *Transferencia de Calor*. Mc Graw Hill, 175-180.
- Ledesma, S. (2009). Las Redes Neuronales implementación y consideraciones prácticas. *Fifth Mexican International Conference on Artificial Intelligence*.
- Yarke, E. (2005). *Ventilación natural de edificios*. Buenos Aires, Argentina: nobuko.
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2005). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Barcelona, España: Reverté, S.A.2004.
- Cengel, Y. A. (2006). *Mecánica de Fluidos "fundamentos y aplicaciones"*. México D.F: McGraw-Hill.

Bibliografía

- ACI committee 544. (1998). State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete. En *ACI Manual of Concrete Practice* (págs. 544.1R-544.1R-66).
- AISLANTES MINERALES, S.A DE C.V; AMERICAN CONCRETE INSTITUTE- CENTRO Y SUR DE MÉXICO (ACI). (2013). NMX-AA-164-SCFI-2013 . *EDIFICACIÓN SUSTENTABLE CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS*. México, D.F, México.
- Aislantes Minerales, S.A. de C.V. (ROLAN); Armacell, Inc; AEAEE. (2009). "*INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AISLAMIENTO TÉRMICO –VALOR “R” PARA LAS ENVOLVENTES DE VIVIENDA POR ZONA TÉRMICA PARA LA REPÚBLICA MEXICANA - ESPECIFICACIONES Y VERIFICACIÓN*". México, DF: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- Alamilla. (2009). Importancia de las áreas verdes en el fraccionamiento Caribe II: Beneficios de la presencia de vegetación. *Seminario de Valoración Ambiental*. Chetumal Quintana Roo: Universidad de Quintana Roo.
- Alina B, J. H. (2012). Cementitious composites reinforced with continuous carbon fibres for strenghten of concrete. *ELselvier, 5*, 387-394.
- Alvarado, C. A. (2002). *Concretos Base Cemento Portland Reforzados con Fibras Naturales, como Materiales para Construcción en México*. Nuevo leon: Universidad Autónoma de Nuevo Leon.
- ASHRAE. (1997). *Fundamentals Handbook. Chapter 8. Thermal Confort*.
- Bansal, N. K. (1994). *Passive Building Design, a Handbook of Natural Climatic Control. Elsevier Science*.
- Bojórquez, I. (2003). Resistencia a la compresion de compuestos a based de desperdicios de origen orgánico. *Revista Ingeniería de Construcción*, 87-92.
- Bojórquez, I. (2005). *Desarrollo de un nuevo material a base de Fibras Orgánicas del Sudeste Mexicano en matriz de cemento Pórtland para producir paneles ligeros*. La Habana: CECAT.
- Bojórquez, I., Castillo, S. J., & Flores, F. H. (2010). Criterios para el diseño térmico de techumbres en climas cálido-húmedos, a partir de materiales locales. *Palapa*, 27-38.
- BREEAM. (2008). *BREEAM*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de BREEAM: <http://breeam.es/index.php/certifica/esquemas-de-certificacion>
- Castañeda, G. (2009). Comportamiento térmico de 3 sistemas de techo en Tuxtla Gutierrez, Chiapas, México. *Guadalajara Jal, México: Semana Nacional de Energía Solar*.
- Castañeda, G. (2009). Evaluación experimental del desempeño térmico de un techo alternativo para vivienda. *Semana Nacional de Energía Solar*.

- CCNNPURRE. (Martes de Agosto de 2011). NOM-020-ENER-2011. *Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011- Envolvente de edificios para uso habitacional*. Mexico: Diario Oficial de la Federación.
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico*. Mac Graw Hill.
- Cengel, Y. A. (2003). *Transferencia de Calor*. Mc Graw Hill.
- Cengel, Y. A. (2006). *Mecánica de Fluidos "fundamentos y aplicaciones"*. México D.F: McGraw-Hill.
- CONAGUA. (09 de Diciembre de 2010). CONAGUA. Obtenido de SMN: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL23032.TXT>
- CONAGUA. (2014). *Reporte Anual del clima*. México DF: CONAGUA.
- CONAVI. (2014). Código de Edificación de Vivienda. En CONAVI, *Código de Edificación de Vivienda* (pág. 496). México: CONAVI.
- CONUEE. (25 de Abril de 2001). CONUEE. Obtenido de CONUEE: <http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/6933/19/NOM008ENER2001.pdf>
- COPARMEX. (2016). COPARMEX. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de COPARMEX: <http://www.coparmex.org.mx/>
- Datta, K. (1936). Versuche über die verwendung vboanm bus im betombau. *jahrgang Heft, 17*, 277.
- Dosal, C. (2011). *Eficiencia energética y ambiental en el sector vivienda*. Ciudad de México: Embajada Británica en México.
- EarthCheck. (2016). *EarthCheck*. Recuperado el 15 de Febrero de 2016, de EarthCheck: <http://earthcheck.org/>
- Embajada Británica en México. (2013). Componente Ambiental de la Sustentabilidad. *ESTRATEGIA NACIONAL PARA LA VIVIENDA SUSTENTABLE*. México, D.F, México: Fundación IDEA.
- Fan M, M. K. (2012). Cement bonded composites made from tropical woods. *Elselvier, 2*, 135-140.
- FAO. (2003). Estudios de tendencias y prespectivas del sector forestal en América Latina. Italia, Vialle delle Terme di Caracalla, Roma.
- G. Barrios, G. H. (2012). Energy and Buildings. *EISEVIER, 8*.
- García, E. (1973). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de geografía.
- García, J. y. (1995). *Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño en Arquitectura*. México.: Ed. Trillas.
- Graniel, J. F. (2007). *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA RADIACION SOLAR, ENTRE MATERIALES POLIFÁSICOS CON FIBRAS ORGÁNICAS Y MATERIALES ASFÁLTICOS Y ELASTOMÉRICOS*. Chetumal Quintana Roo: Uqroo.

- Holman, J. P. (1994). *MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA INGENIEROS*. Mexico, DF | : McGRAW-HILL.
- Incropera, F. P. (s.f.). *Fundamentos de transferencia de calor*.
- INEGI. (15 de Noviembre de 2015). *cuentame inegi*. Obtenido de *cuentame inegi*:
<http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/habitantes.aspx?tema=P>
- INFONAVIT. (2010). *INFONAVIT*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de INFONAVIT:
http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/infonavit/trabajadores/saber+para+decidir/cuido_mi_casa/ahorro+y+cuido+el+medio+ambiente
- INFONAVIT. (1 de Diciembre de 2012). *Portal infonavit*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de Portal infonavit: <http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/605a49e8-ab12-428b-b796-f97a99e389ae/Manual+Vida+Integral+Infonavit+Vivienda+Sustentable.pdf?MOD=AJPERES>
- International Living Future Institute. (2006). *International Living Future Institute*. Recuperado el 15 de Febrero de 2016, de International Living Future Institute: <https://living-future.org/>
- Jianqiang Wei, C. M. (2014). Degradation rate of natural fiber in cement composites exposed to various accelerated aging environment conditions. *Elselvier*, 118-132.
- K'AAN, A. D., INMOBILIARIOS, A. D., & AL, E. (2012). *Secretaría de Ecología y Medio Ambiente*. Recuperado el 12 de Febrero de 2016, de SEMA:
http://sema.groo.gob.mx/sistemas/transparencia/utaippe_tansparencia/UTAIPPE_ART.%2015/01%20Normatividad%20Aplicable/09%20Normas%20Federales/Norma%20Mexicana%20NMX-AA-157-SCFI-2012.pdf
- Ledesma, S. (2009). Las Redes Neuronales implementación y consideraciones prácticas. *Fifth Mexican International Conference on Artificial Intelligence*.
- MacVicar R, M. L. (1998). Aging mechanisms in cellulose fiber reinforced cement composites. *Elselvier*, 189-196.
- Medina, F. (2009). Efecto tamaño y ductilidad en hormigones de baja y alta resistencia reforzados con fibras de polipropileno. *Cemento hormigón*, 2(930), 32-42.
- Mesa, A. (2009). La conservación, el aprovechamiento del potencial bioclimático y los programas de eficiencia energética como estrategia hacia la sustentabilidad urbana en países sudamericanos. Guadalajara Jalisco, México: Semana Nacional de Energía Solar.
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2005). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Barcelona, España: Reverté, S.A.2004.
- Onésippe, C. (2010). Sugar cane bagasse fibres reinforced cement composites: Thermal considerations. *Elselvier*, 4(41), 549-556.
- Rodríguez, O. d. (2010). Evaluación de la Sustentabilidad Ambiental en la Construcción y Administración de Edificios en México. *Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental*, 62.

- Rubén Almejo Hernández, J. G. (2010). La urbanización en México 2010-2030: Un esbozo de los crecimientos y oportunidades asociados al crecimiento urbano y regional. *CONAPO*, 26.
- Ruiz, A. G. (2002). *Del tequesquite al Adn*. México D.F: UNAM.
- Secretaría de Energía. (2001). *Norma Oficial Mexicana -008-ENER-2001*.
- Secretaría de Energía. (2009.). *Balance Nacional de Energía*. Secretaría de Energía.
- Secretaría de Energía. (2011). *Norma Oficial Mexicana -018-ENER-2011*.
- SENER. (8 de Noviembre de 1995). NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriale. *Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriale*. Mexico: Diario Oficial de la Federación.
- SENER. (14 de Diciembre de 2011). NOM-018-ENER-2011. *Norma Oficial Mexicana NOM-018-ENER-2011*. Mexico: Diario Oficial de la Federación.
- SENER. (2014). *Balance Nacional de Energía*. Mexico. DF: Secretaría de Energía.
- SHCP. (2011). *cmic*. Recuperado el 16 de Febrero de 2016, de cmic: http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/2011/shf/taller_duis/Presentaciones/Introducci%C3%B3n.pdf
- Teixeira, R. (2012). Extruded cement based composites reinforced with sugar cane bagasse fibres. *Engineering Materials*, 2(517), 450-457.
- Torres, A. (2009). Cálculo de la evapotranspiración . *Cálculo de la evapotranspiración* (págs. 5-10). Guadalajara Jal, México: Semana Nacional de Energía Solar.
- Truejeque, J. (2009). Propiedades Físicas para uso en la construcción. *Semana Nacional de Energía Solar* (págs. 161-165). Guadalajara, Jalisco: Semana Nacional de Energía Solar.
- TURÍSTICOS, A. M., & AMBIENTE, C. M. (2014). *economía*. Recuperado el 12 de Febrero de 2016, de Consulta del Catálogo de Normas Mexicanas (NMX): <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-171-scfi-2014.pdf>
- USBG. (2016). *USBG*. Recuperado el 12 de Febrero de 2016, de USBG: <http://www.usgbc.org/leed>
- Yarke, E. (2005). *Ventilación natural de edificios*. Buenos Aires, Argentina: nobuko.
- Young, J. M. (1998). The Science and Technology of Civil Engineering Materials. *Prentice Hall Inc*, 351-371.

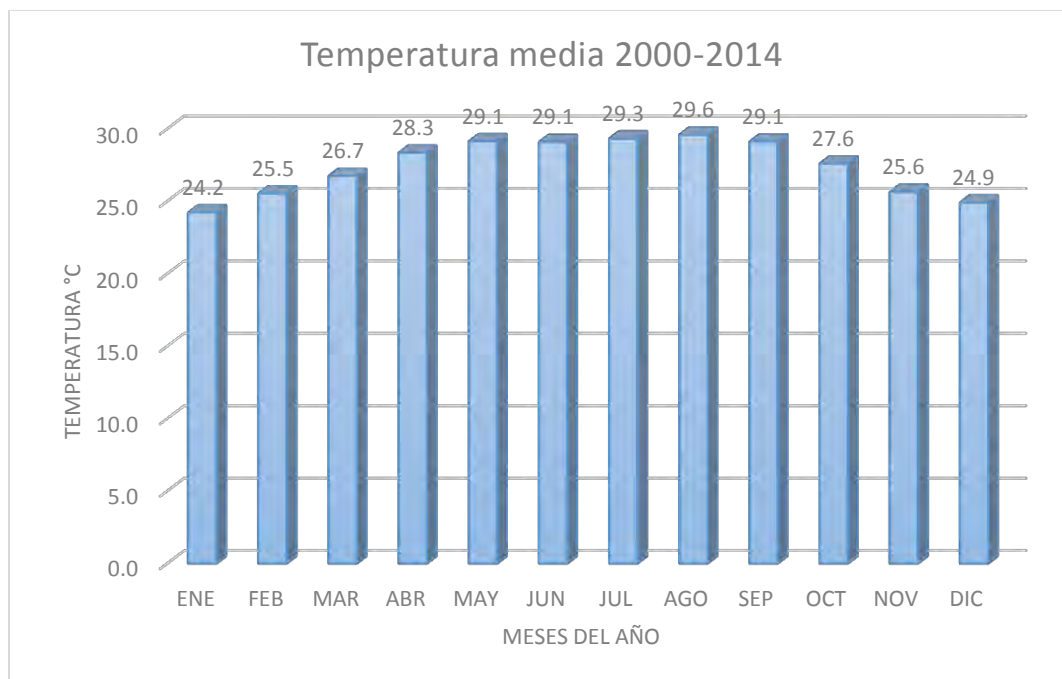
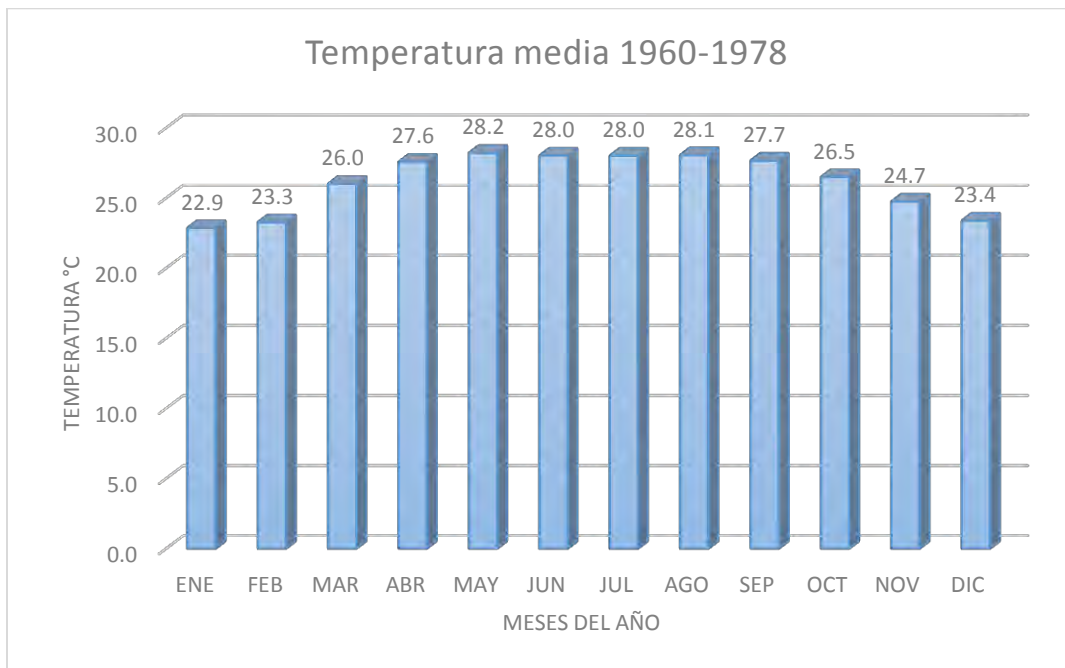
ANEXOS.

ANEXO 1. Tabla de valores de la CONAGUA antes y después del año 2000. Además de gráficas de comportamiento.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1960	22.2	21.9	23.6	27.0	27.8	26.3	26.2	27.1	26.8	26.7	23.6	21.1	25.0
1961	21.9	22.7	24.5	26.2	27.0	26.8	26.5	26.6	26.1	23.6	23.5	22.8	24.8
1962	20.7	23.4	24.1	25.6	25.0	27.0	26.7	26.8	26.5	25.2	21.3	20.0	24.4
1963	21.8	20.5	24.9	26.0	26.2	27.7	26.4	26.7	26.5	24.5	23.5	20.3	24.6
1964	21.4	22.7	27.0	27.0	27.0	26.4	26.7	26.6	26.1	23.5	23.1	22.5	25.0
1965	20.7	23.0	23.7	25.4	26.0	25.5	26.3	26.3	25.8	24.7	23.2	21.9	24.4
1966	20.5	24.5	25.0	28.2	28.7	27.6	28.5	28.3	28.2	27.2	22.7	22.2	26.0
1967	23.1	23.6	25.2	27.3	28.9	28.7	28.4	28.5	28.1	26.6	24.2	24.5	26.4
1969	*	*	*	28.9	*	29.8	*	28.8	*	27.7	*	22.9	27.6
1970	23.3	22.0	26.3	29.6	27.9	28.6	28.4	28.6	28.3	27.6	23.4	24.3	26.5
1971	23.7	24.9	26.3	26.3	29.3	28.5	27.8	28.0	28.4	27.1	25.5	25.1	26.7
1972	24.9	23.4	26.0	28.7	29.3	29.1	27.9	27.9	28.8	28.3	28.3	24.7	27.3
1973	24.4	23.4	27.7	28.4	29.1	29.0	29.3	28.0	28.5	27.9	27.1	22.7	27.1
1974	25.1	24.4	26.5	28.3	29.3	28.8	28.8	28.6	28.1	26.0	25.4	23.8	26.9
1975	24.2	25.3	27.8	28.8	29.0	*	29.5	29.7	27.0	27.0	24.6	22.8	26.9
1976	21.9	22.2	26.4	27.0	28.1	26.9	28.0	28.1	27.5	26.6	24.6	23.7	25.9
1977	22.8	23.6	26.6	26.4	27.9	27.0	27.8	28.2	28.2	26.3	24.9	24.4	26.2
1978	22.1	22.3	24.7	27.2	28.4	28.4	28.1	28.4	27.8	26.3	26.0	25.1	26.2
Mínimo	20.5	20.5	23.6	25.4	25.0	25.5	26.2	26.3	25.8	23.5	21.3	20.0	24.4
Máximo	25.1	25.3	27.8	29.6	29.3	29.8	29.5	29.7	28.8	28.3	28.3	25.1	27.6
Promedio	22.9	23.3	26.0	27.6	28.2	28.0	28.0	28.1	27.7	26.5	24.7	23.4	26.3

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2000	23.7	25.0	27.1	28.2	29.1	28.6	29.4	28.8	28.9	26.9	26.7	24.2	27.2
2001	23.2	25.0	26.7	28.5	28.7	29.2	29.9	28.7	29.0	27.9	25.8	25.5	27.3
2002	24.0	24.3	26.4	28.2	29.0	28.6	29.1	29.9	28.7	27.9	25.7	24.5	27.2
2003	21.8	26.0	27.6	27.7	29.4	29.1	28.9	28.9	28.7	27.7	25.4	23.2	27.0
2004	24.7	25.8	26.9	28.0	28.9	29.9	29.7	30.7	29.5	28.5	26.6	24.9	27.8
2005	24.2	25.6	28.1	28.6	30.0	29.6	30.0	30.1	29.6	27.8	26.0	25.7	27.9
2006	24.9	24.3	27.3	28.4	28.4	28.1	28.3	29.5	29.5	27.6	25.0	24.9	27.2
2007	25.3	25.5	26.4	28.0	28.6	28.6	30.0	29.1	28.6	26.9	25.1	25.3	27.3
2008	24.4	26.1	26.0	27.7	29.1	28.1	28.8	30.0	28.9	26.0	23.8	25.3	27.0
2009	24.7	25.8	26.8	28.9	29.8	28.8	29.8	29.5	29.4	28.6	25.1	25.9	27.8
2010	23.1	24.6	24.9	28.4	29.0	30.8	29.4	30.6	29.9	27.7	25.9	22.5	27.2
2011	24.9	25.8	27	29.6	30.3	29.8	29.8	30.4	29.8	27.1	26.3	25.2	28.0
2012	25.7	26.9	27.9	28.8	29.6	29.6	29.4	29.8	30.1	28	26.1	26.1	28.2
2013	25.2	26	24.6	27.9	28.4	28.3	27.9	28.1	27.5	27.5	26.4	26	27.0
2014	23.5	26.3	27.3	28.2	28.7	29.2	29.5	29.7	28.5	27.8	24.7	24.4	27.3
Mínimo	21.8	24.3	24.6	27.7	28.4	28.1	27.9	28.1	27.5	26.0	23.8	22.5	27.0
Máximo	25.7	26.9	28.1	29.6	30.3	30.8	30.0	30.7	30.1	28.6	26.7	26.1	28.2
Medio	24.2	25.5	26.7	28.3	29.1	29.1	29.3	29.6	29.1	27.6	25.6	24.9	27.4

ANEXO 1.



ANEXO 2. Mediciones para el cálculo de absorción y porosidad.

Medición	Compuesto	Peso Ambiente	Peso Seco	Peso Humedo ww	Absorción	Porosidad
1	1:1:5 F	50.944	50.329	54.0216	0.0122196	-0.19983104
2	1:1:5 F	50.808	50.19	52.98425	0.01231321	-0.28397473
3	1.1.5	50.956	50.43	52.7444	0.0104303	-0.29411765
4	1.1.5	49.719	49.124	52.9678	0.01211221	-0.18314455
5	1:1:5 F	37.347	36.919	38.8733	0.01159295	-0.28041669
6	1:1:5 F	84.648	83.647	89.287	0.01196696	-0.21577926
7	1.1.5	75.291	74.027	81.4336	0.01707485	-0.20577606
8	1.1.5	83.704	82.528	88.6019	0.01424971	-0.2401029
9	1:5;	72.144	71.484	76.552	0.00923284	-0.14972777
10	1:5;	62.142	61.606	66.152	0.00870045	-0.13366584
11	1:5;	50.978	50.454	55.319	0.0103857	-0.12070951
12	1:5;	79.403	78.62	84.367	0.0099593	-0.1577357
13	1:5:025	68.093	67.245	71.622	0.0126106	-0.2402947
14	1:5:025	78.592	77.655	83.127	0.01206619	-0.20661521
15	1:5:025	55.44	54.884	57.906	0.01013046	-0.22546634
16	1:5:025	62.251	61.661	65.959	0.00956845	-0.15911543

ANEXO 3. Datos de los 4 termopares utilizados para medir la temperatura en las placas del conductímetro a 20 V.

Compuesto 1:1:5.

Datos de los 16 canales del TermoPar SR630							
Hora		canal 2	canal 6	canal 7	canal 8	canal 9	canal 10
Fecha y Hora	15/07/2015 08:29:59 a.m.						
15/07/2015 0	abierto	abierto	27.2	30.1	27.2	29.2	24.7
15/07/2015 0	abierto	abierto	28.4	33.8	28.5	32.3	22.8
15/07/2015 0	abierto	abierto	29.3	35.5	29.4	34	24.4
15/07/2015 0	abierto	abierto	29.9	36.6	30	35.1	22.4
15/07/2015 0	abierto	abierto	30.3	37.2	30.4	35.7	24.5
15/07/2015 0	abierto	abierto	30.4	37.7	30.7	36.2	21.9
15/07/2015 1	abierto	abierto	30.6	37.9	30.9	36.4	23.1
15/07/2015 1	abierto	abierto	30.7	38.2	31	36.7	24.1
15/07/2015 1	abierto	abierto	30.9	38.3	31.1	36.7	23
15/07/2015 1	abierto	abierto	30.9	38.4	31.1	36.8	24.9
15/07/2015 1	abierto	abierto	31.1	38.6	31.4	37	22.8
15/07/2015 1	abierto	abierto	31.1	38.5	31.3	37	25.4
15/07/2015 1	abierto	abierto	31.6	38.8	31.7	37.2	26.4
15/07/2015 1	abierto	abierto	32	39.2	32.3	37.7	23.8
15/07/2015 1	abierto	abierto	32	39.4	32.2	37.8	25.3
15/07/2015 1	abierto	abierto	32.3	39.5	32.4	37.9	26.5
15/07/2015 1	abierto	abierto	32.6	39.8	32.8	38.2	27.1
15/07/2015 1	abierto	abierto	32.9	40	33.2	38.6	24.4
15/07/2015 0	abierto	abierto	32.8	40.4	33.1	38.9	24.4
15/07/2015 0	abierto	abierto	32.6	40.5	32.9	39	23.1
15/07/2015 0	abierto	abierto	32.3	40.3	32.6	38.8	24.7
15/07/2015 0	abierto	abierto	32.2	40.1	32.5	38.6	22.9
15/07/2015 0	abierto	abierto	32	40	32.3	38.5	24
15/07/2015 0	abierto	abierto	32	39.8	32.2	38.3	22.8
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.7	39.7	32	38.1	23.9
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.7	39.6	32	38	23
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.5	39.6	31.8	37.9	22.5
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.6	39.4	31.8	37.8	23.1
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.4	39.5	31.7	37.8	22.4
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.5	39.3	31.7	37.7	23.1
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.3	39.3	31.6	37.7	22.2
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.4	39.2	31.6	37.5	23.3
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.3	39.2	31.5	37.6	22.1
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.3	39.1	31.5	37.5	25.1
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.4	39.2	31.7	37.6	22.4
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.4	39.2	31.6	37.6	24.2
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.4	39.2	31.7	37.7	22.7
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.4	39.3	31.6	37.7	23.8
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.4	39.2	31.6	37.6	22.5
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.2	39.2	31.5	37.6	23.8
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.2	39.2	31.5	37.5	22.3
15/07/2015 0	abierto	abierto	31.2	39.1	31.4	37.4	24.2

ANEXO 3.

Compuesto 1:1:5 (F1)

Datos de los 16 canales del TermoPar SR630						
Hora	canal 6	canal 7	canal 8	canal 9	canal 10	canal 11
Fecha y Hora de inicio de las mediciones						
24/06/2015 0	23.4	25.4	23.8	27.4	23.7	23.9
24/06/2015 1	25.8	29.6	26.6	32	22.8	22.3
24/06/2015 1	27.6	32.2	28.7	34.8	23.5	22.5
24/06/2015 1	28.5	34	29.7	36.7	23.7	22.4
24/06/2015 1	29.2	35	30.5	37.7	23.7	21.9
24/06/2015 1	29.5	35.6	30.9	38.4	24	24.9
24/06/2015 1	29.9	36.3	31.3	39.1	23.2	22.3
24/06/2015 1	30	36.4	31.5	39.3	23.7	23.6
24/06/2015 1	30.1	36.7	31.6	39.6	23.8	23.2
24/06/2015 1	30.4	36.9	31.8	39.8	23.4	21.2
24/06/2015 1	30.3	36.9	31.8	39.8	24.3	23.7
24/06/2015 1	30.5	37.1	31.9	39.9	23.5	17.2
24/06/2015 1	30.6	37.1	32	40	24.2	17.8
24/06/2015 0	30.4	37.1	31.9	40	23.9	36.5
24/06/2015 0	30.5	37.2	32	40	23.4	16.4
24/06/2015 0	30.5	37.1	31.9	40	24.2	22.8
24/06/2015 0	30.6	37.2	32	40	23.6	37.3
24/06/2015 0	30.4	37.2	31.8	40	23.6	36.7
24/06/2015 0	30.6	37.2	31.9	40	23.3	35.8
24/06/2015 0	30.3	37	31.7	39.9	23.7	35.1
24/06/2015 0	30.6	37	32.1	39.9	24.5	34.5
24/06/2015 0	30.6	37.5	32.1	40.1	23.7	34.1
24/06/2015 0	30.7	37.3	32.2	40.1	24.1	22.1
24/06/2015 0	30.7	37.4	32.1	40.2	24.1	23.1
24/06/2015 0	30.9	37.5	32.3	40.3	23.9	36.2
24/06/2015 0	30.6	37.4	32.1	40.1	24.1	35.7
24/06/2015 0	30.8	37.5	32.2	40.3	23.8	21.7
24/06/2015 0	30.5	32.9	32.1	40.2	24.5	27.3
24/06/2015 0	30.7	37.4	32.2	40.3	23.5	27.2
24/06/2015 0	30.6	37.2	32	40.1	24.3	38.4
24/06/2015 0	30.8	37.5	32.2	40.3	22.5	21
24/06/2015 0	30.7	37.4	32.2	40.2	23.1	26.9
24/06/2015 0	30.7	37.5	32.2	40.3	22.1	37.3
24/06/2015 0	30.8	37.6	32.4	40.5	23.1	36.7
24/06/2015 0	30.7	37.7	32.3	40.6	23.4	23

ANEXO 3

Compuesto 1:5.

Datos de los 16 canales del TermoPar SR630						
Hora	canal 1	canal 6	canal 7	canal 8	canal 9	canal 10
Fecha y Hora	19/08/2015 09:55:34 a.m.					
19/08/2015 1	abierto	25.8	26.9	26.1	26.7	24.8
19/08/2015 1	abierto	26.6	28.3	26.9	28.2	23.6
19/08/2015 1	abierto	26.8	28.9	27.1	28.8	22.9
19/08/2015 1	abierto	27	29.1	27.2	29	25.5
19/08/2015 1	abierto	27.3	29.5	27.6	29.5	23.1
19/08/2015 1	abierto	27.1	29.5	27.4	29.4	24.5
19/08/2015 1	abierto	27.2	29.7	27.6	29.7	22.8
19/08/2015 1	abierto	27.1	29.5	27.3	29.5	24.3
19/08/2015 1	abierto	27.2	29.6	27.5	29.6	22.9
19/08/2015 1	abierto	26.9	29.5	27.1	29.4	23.5
19/08/2015 1	abierto	27	29.5	27.4	29.5	22.7
19/08/2015 1	abierto	26.9	29.4	27.2	29.4	22.4
19/08/2015 0	abierto	27	29.3	27.2	29.3	23
19/08/2015 0	abierto	26.9	29.4	27.2	29.3	22.3
19/08/2015 0	abierto	26.7	29.1	27.1	29.2	23.2
19/08/2015 0	abierto	26.7	29.3	27.1	29.2	22.1
19/08/2015 0	abierto	26.7	29.1	26.9	29.1	24.5
19/08/2015 0	abierto	26.8	29.3	27	29.2	22.2
19/08/2015 0	abierto	26.6	29.1	26.9	29	24.6
19/08/2015 0	abierto	26.8	29.2	27.1	29.2	22.3
19/08/2015 0	abierto	26.6	29.1	26.9	29.1	24
19/08/2015 0	abierto	26.8	29.2	27.1	29.2	22.4
19/08/2015 0	abierto	26.6	29.2	26.9	29.1	23.7
19/08/2015 0	abierto	26.9	29.2	27.2	29.2	22.9
19/08/2015 0	abierto	26.8	29.3	27.1	29.3	23.3
19/08/2015 0	abierto	26.9	29.3	27.2	29.3	22.1
19/08/2015 0	abierto	26.6	29.2	26.8	29.1	21.2
19/08/2015 0	abierto	26.5	29	26.8	28.9	22.5
19/08/2015 0	abierto	26.4	29	26.7	28.9	21.7
19/08/2015 0	abierto	26.4	28.8	26.7	28.7	22.6

ANEXO 3.

Compuesto 1:5:F025.

Datos de los 16 canales del TermoPar SR630						
Hora	canal 1	canal 6	canal 7	canal 8	canal 9	canal 10
Fecha y Hora	31/08/2015 09:47:14 a.m.					
31/08/2015 1	abierto	25.2	25.4	25.5	25.4	24.8
31/08/2015 1	abierto	26	27.1	26.4	27.1	23.8
31/08/2015 1	abierto	26.6	27.9	27.1	27.9	24
31/08/2015 1	abierto	26.9	28.5	27.3	28.5	24.7
31/08/2015 1	abierto	27.4	29.1	28	29.1	23.5
31/08/2015 1	abierto	27.5	29.2	27.9	29.2	25.2
31/08/2015 1	abierto	27.8	29.6	28.3	29.6	23.5
31/08/2015 1	abierto	27.7	29.6	28.2	29.6	25.8
31/08/2015 1	abierto	28.1	30	28.7	30	23.7
31/08/2015 1	abierto	28	29.8	28.4	29.9	25.9
31/08/2015 1	abierto	28.4	30.1	28.9	30.1	24.7
31/08/2015 1	abierto	28.3	30.2	28.7	30.3	25
31/08/2015 0	abierto	28.5	30.3	29.1	30.4	24
31/08/2015 0	abierto	28.4	30.4	28.8	30.4	25.3
31/08/2015 0	abierto	28.5	30.5	29.1	30.6	23.9
31/08/2015 0	abierto	28.2	30.3	28.7	30.3	25.3
31/08/2015 0	abierto	28.4	30.4	28.9	30.5	23.6
31/08/2015 0	abierto	28.2	30.2	28.7	30.2	24.5
31/08/2015 0	abierto	28.1	30.2	28.7	30.3	24.4
31/08/2015 0	abierto	28.3	30.3	28.8	30.3	23.8
31/08/2015 0	abierto	28.1	30.1	28.5	30.2	25
31/08/2015 0	abierto	28.3	30.3	28.9	30.3	24
31/08/2015 0	abierto	28.1	30.3	28.7	30.3	23.7
31/08/2015 0	abierto	28.1	30.1	28.7	30.2	24
31/08/2015 0	abierto	28.1	30.2	28.6	30.2	24.3
31/08/2015 0	abierto	28.2	30.1	28.7	30.2	23.6
31/08/2015 0	abierto	28	30	28.4	30	24.9
31/08/2015 0	abierto	28.1	30.1	28.7	30.2	23.6
31/08/2015 0	abierto	28	29.9	28.4	30	25.4
31/08/2015 0	abierto	28.1	30.2	28.8	30.2	23.3
31/08/2015 0	abierto	28.1	30	28.5	30	24.8
31/08/2015 0	abierto	28.1	30.2	28.7	30.2	23.7
31/08/2015 0	abierto	28.1	30	28.5	30	25.8
31/08/2015 0	abierto	28.3	30.3	28.9	30.4	23.5

ANEXO 4. Recopilación de datos de conductividad térmica con sus respectivas tensiones y temperaturas.

1:1:5;									
CORRIDA	I (A)	V (V)	Q (W)	L1+L2 (m)	A (m ²)	m1+m2 (kg)	$\Delta t_1+\Delta t_2$	Tp (°C)	Conductividad térmica k (W/m ² °C)
1	0.279	35.51	9.899	0.05082	0.01935521	1.65	13.8	23.2	0.941746571
2	0.236	30.11	7.107	0.05082	0.01935521	1.65	9.875	23.575	0.944775302
3	0.196	25.13	4.925	0.05082	0.01935521	1.65	6.825	22.875	0.947442199
4	0.158	20.23	3.197	0.05082	0.01935521	1.65	4.45	23.525	0.943090663
Promedio									0.944263684

1:1:5 (F)									
CORRIDA	I (A)	V (V)	Q (W)	L1+L2 (m)	A (m ²)	m1+m2 (kg)	$\Delta t_1+\Delta t_2$	Tp (°C)	Conductividad térmica k (W/m ² °C)
1	0.279	35.54	9.915	0.05091	0.01912944	1.63	15.05	21.825	0.876648375
2	0.235	30.04	7.070	0.05091	0.01912944	1.63	10.8	23.6	0.871106426
3	0.196	25.09	4.918	0.05091	0.01912944	1.63	7.5	23.475	0.872501788
4	0.158	20.25	3.200	0.05091	0.01912944	1.63	4.925	23.7	0.864463649
Promedio									0.87118006

1:5;									
CORRIDA	I (A)	V (V)	Q (W)	L1+L2 (m)	A (m ²)	m1+m2 (kg)	$\Delta t_1+\Delta t_2$	Tp (°C)	Conductividad térmica k (W/m ² °C)
1	0.279	35.555	9.920	0.05185	0.01960681	1.85	13.75	23.2	0.953924492
2	0.236	30.08	7.099	0.05185	0.01960681	1.1.9885	9.825	23.575	0.955364473
3	0.196	25.12	4.924	0.05185	0.01960681	1.85	6.8	22.875	0.957367334
4	0.158	20.225	3.196	0.05185	0.01960681	1.85	4.425	22	0.95486979
Promedio									0.955381523

1:5:025;									
CORRIDA	I (A)	V (V)	Q (W)	L1+L2 (m)	A (m ²)	m1+m2 (kg)	$\Delta t_1+\Delta t_2$	Tp (°C)	Conductividad térmica k (W/m ² °C)
1	0.278	35.48	9.86	0.04886	0.019684	1.88	13.15	23.2	0.930986461
2	0.235	30	7.05	0.04886	0.019684	1.88	9.4	22.3	0.930832148
3	0.195	25.10	4.90	0.04886	0.019684	1.88	6.5	22.875	0.935846827
4	0.156	20	3.12	0.04886	0.019684	1.88	4.15	22	0.933075117
Promedio									0.932685138

ANEXO 5. Análisis de incertidumbre por el método de Kline y McClintock de los datos de conductividad térmica del **ANEXO 4.**

1:1:5;						
CORRIDA						
	q	L	A	T	total	Incertidumbre
1	9.0501E-11	0.001824452	1.69111E-14	1.48112E-09	0.042713618	0.04535575
2	1.7674E-10	0.000670658	4.46265E-15	4.05517E-09	0.02589714	0.0274109
3	3.7001E-10	0.000222035	1.02401E-15	1.23179E-08	0.014901269	0.01572789
4	8.7035E-10	6.12625E-05	1.83372E-16	4.4235E-08	0.007829915	0.0083024
					promedio	2.41992341

1:1:5 (F)						
CORRIDA						
	q	L	A	T	total	incertidumbre
1	7.8175E-11	0.00214801	1.93201E-14	1.07548E-09	0.046346643	0.052868
2	1.5181E-10	0.000788758	5.05884E-15	2.89193E-09	0.028084893	0.03224048
3	3.1479E-10	0.000264577	1.1803E-15	8.64909E-09	0.016266088	0.01864304
4	7.3001E-10	7.42278E-05	2.15443E-16	3.02633E-08	0.008617357	0.00996844
					promedio	2.84299914

1:5;						
CORRIDA						
	q	L	A	T	total	incertidumbre
1	9.2474E-11	0.0018386	1.84791E-14	1.49723E-09	0.042878917	0.04495001
2	1.8112E-10	0.000671787	4.83181E-15	4.11012E-09	0.025918946	0.0271299
3	3.781E-10	0.000223188	1.11336E-15	1.24232E-08	0.0149399	0.01560519
4	8.9289E-10	6.13408E-05	1.98602E-16	4.49663E-08	0.007834961	0.00820527
					promedio	2.39725933

1:5:025;						
CORRIDA						
	q	L	A	T	total	incertidumbre
1	8.9078E-11	0.00167878	1.50754E-14	1.66396E-09	0.040972943	0.04401025
2	1.7433E-10	0.000613096	3.93491E-15	4.55475E-09	0.024760862	0.02660078
3	3.6458E-10	0.000203807	9.09375E-16	1.38497E-08	0.01427658	0.01525525
4	8.9438E-10	5.28852E-05	1.50212E-16	5.30578E-08	0.00727593	0.0077978
					promedio	2.34160192

ANEXO 6. Mediciones con la cámara termográfica Marca Fluke Modelo TiR para el análisis de retardo y amortiguamiento térmico.

		1:1:5;		
	Compuesto 3			
		Temp int	Temp Ext	Temp media
Fecha	Hora	promedio (°C)	promedio(°C)	(°C)
4/23/2015	19:00	29.2	28.9	29.7416667
4/23/2015	20:00	28.4	28	29.7416667
4/23/2015	21:00	27.2	26.8	29.7416667
4/23/2015	22:00	27.2	27	29.7416667
4/23/2015	23:00	27.1	26.8	29.7416667
4/24/2015	0:00	26.8	26.5	29.7416667
4/24/2015	1:00	27.4	27.1	29.7416667
4/24/2015	2:00	26.8	26.5	29.7416667
4/24/2015	3:00	26.8	26.6	29.7416667
4/24/2015	4:00	26.1	25.8	29.7416667
4/24/2015	5:00	26.4	26.1	29.7416667
4/24/2015	6:00	26.4	26	29.7416667
4/24/2015	7:00	26.2	26	29.7416667
4/24/2015	8:00	27.8	27.6	29.7416667
4/24/2015	9:00	29.6	29.5	29.7416667
4/24/2015	10:00	33	33.4	29.7416667
4/24/2015	11:00	35.2	35.7	29.7416667
4/24/2015	12:00	35.5	36	29.7416667
4/24/2015	13:00	34.6	35.4	29.7416667
4/24/2015	14:00	36.1	36.1	29.7416667
4/24/2015	15:00	35.3	35.3	29.7416667
4/24/2015	16:00	33.8	33.3	29.7416667
4/24/2015	17:00	31.7	31.8	29.7416667
4/24/2015	18:00	30.45	30.35	29.7416667
Promedio		29.79375	29.6895833	29.7416667
Media		29.7416667		
Alta		36.1	36.1	
a	b	retardo termico	Amortiguamiento termico	
6.35833333	6.35833333	1	1	

ANEXO 6.

		1:1:5:F		
		Compuesto 6		
		Temp int promedio		
Fecha	Hora	Temp int promedio (°C)	Temp Ext promedio(°C)	Temp media (°C)
4/23/2015	19:00	29	28.9	29.6916667
4/23/2015	20:00	27.9	28.2	29.6916667
4/23/2015	21:00	27.5	27.1	29.6916667
4/23/2015	22:00	26.9	27.1	29.6916667
4/23/2015	23:00	26.9	27.1	29.6916667
4/24/2015	0:00	26.5	26.7	29.6916667
4/24/2015	1:00	27.1	27.1	29.6916667
4/24/2015	2:00	26.9	26.7	29.6916667
4/24/2015	3:00	26	26.7	29.6916667
4/24/2015	4:00	26.1	26.1	29.6916667
4/24/2015	5:00	26.3	26.2	29.6916667
4/24/2015	6:00	26.2	26.2	29.6916667
4/24/2015	7:00	26.1	26	29.6916667
4/24/2015	8:00	27.7	27.7	29.6916667
4/24/2015	9:00	29.4	29.4	29.6916667
4/24/2015	10:00	31.8	32.3	29.6916667
4/24/2015	11:00	34	34.5	29.6916667
4/24/2015	12:00	35.2	35.8	29.6916667
4/24/2015	13:00	34.1	34.6	29.6916667
4/24/2015	14:00	36.3	36.6	29.6916667
4/24/2015	15:00	35.3	36.3	29.6916667
4/24/2015	16:00	34.4	34.6	29.6916667
4/24/2015	17:00	32.2	32.3	29.6916667
4/24/2015	18:00	30.6	30.6	29.6916667
Promedio		29.6	29.7833333	
Media		29.6916667		
Altas		36.3	36.6	
a	b	Amortiguamiento termico	retardo termico	
6.90833333	6.60833333	0.95657419	1	

ANEXO 6.

		1:5;			
Fecha	Hora	Temp int promedio (°C)	Temp Ext promedio(°C)	Temp media (°C)	temperatura ambiente
4/23/2015	21:00	25	24.8	25.4416667	24.9
4/23/2015	22:00	25.6	25.3	25.4416667	25
4/23/2015	23:00	24.4	24.1	25.4416667	25.5
4/23/2015	0:00	24.1	23.8	25.4416667	24.4
4/23/2015	1:00	24	23.7	25.4416667	24.4
4/24/2015	2:00	23.6	23.6	25.4416667	24.3
4/24/2015	3:00	23.7	23.5	25.4416667	24.3
4/24/2015	4:00	23.5	23.4	25.4416667	24.4
4/24/2015	5:00	23.4	23.2	25.4416667	24.2
4/24/2015	6:00	23	23.1	25.4416667	24.1
4/24/2015	7:00	23.6	23.7	25.4416667	23.9
4/24/2015	8:00	25.4	25.5	25.4416667	24.2
4/24/2015	9:00	27.5	27.6	25.4416667	24.5
4/24/2015	10:00	28.7	28.9	25.4416667	26.7
4/24/2015	11:00	29.5	29.3	25.4416667	28.3
4/24/2015	12:00	27	26.9	25.4416667	28.1
4/24/2015	13:00	26.7	26.7	25.4416667	26
4/24/2015	14:00	28.1	28	25.4416667	26.2
4/24/2015	15:00	26.4	26.2	25.4416667	27.9
4/24/2015	16:00	26	25.9	25.4416667	27.5
4/24/2015	17:00	26.1	26	25.4416667	25.5
	18:00	25.8	25.6		24.9
	19:00	25.5	25.6		24.9
	20:00	25.2	25		25
Promedio		25.4916667	25.3916667		
Media		25.4416667			
Alta		29.5	29.3		
a	b	retardo termico	Amortiguamiento termico		
4.05833333	3.85833333	1	0.95071869		

ANEXO 6.

Fecha	Hora	Temp int	Temp Ext	Temp media
		promedio (°C)	promedio(°C)	(°C)
4/23/2015	21:00	24.7	24.7	25.4770833
4/23/2015	22:00	25.4	25.4	25.4770833
4/23/2015	23:00	24.2	24	25.4770833
4/23/2015	0:00	23.9	23.8	25.4770833
4/23/2015	1:00	23.7	23.7	25.4770833
4/24/2015	2:00	23.5	23.5	25.4770833
4/24/2015	3:00	23.6	23.5	25.4770833
4/24/2015	4:00	23.5	23.3	25.4770833
4/24/2015	5:00	23.3	23.2	25.4770833
4/24/2015	6:00	23	23	25.4770833
4/24/2015	7:00	23.5	23.4	25.4770833
4/24/2015	8:00	25.3	25.3	25.4770833
4/24/2015	9:00	27.8	28.3	25.4770833
4/24/2015	10:00	30.3	30	25.4770833
4/24/2015	11:00	29.8	29.5	25.4770833
4/24/2015	12:00	26.4	26.6	25.4770833
4/24/2015	13:00	26.8	26.8	25.4770833
4/24/2015	14:00	28.1	28.1	25.4770833
4/24/2015	15:00	26.7	26.4	25.4770833
4/24/2015	16:00	26.1	26	25.4770833
4/24/2015	17:00	26.2	26.1	25.4770833
	18:00	25.8	25.9	
	19:00	25.4	25.5	
	20:00	25	24.9	
Promedio		25.5	25.4541667	
Media		25.4770833		
Alta		30.3	30	
		retardo	Amortiguami	
a	b	termico	ento termico	
4.82291667	4.52291667	1	0.93779698	

ANEXO 6.

		1:5:F		
Fecha	Hora	Temp int promedio (°C)	Temp Ext promedio(°C)	Temp media (°C)
4/23/2015	21:00	24.5	24.7	25.4333333
4/23/2015	22:00	25.3	25.2	25.4333333
4/23/2015	23:00	24.1	24	25.4333333
4/23/2015	0:00	23.8	23.7	25.4333333
4/23/2015	1:00	23.7	23.6	25.4333333
4/24/2015	2:00	23.5	23.6	25.4333333
4/24/2015	3:00	23.6	23.4	25.4333333
4/24/2015	4:00	23.4	23.1	25.4333333
4/24/2015	5:00	23.2	23.1	25.4333333
4/24/2015	6:00	22.9	23.1	25.4333333
4/24/2015	7:00	23.5	23.6	25.4333333
4/24/2015	8:00	25.4	25.6	25.4333333
4/24/2015	9:00	27.7	28.8	25.4333333
4/24/2015	10:00	29.2	29.4	25.4333333
4/24/2015	11:00	29.6	29.4	25.4333333
4/24/2015	12:00	26.4	26.7	25.4333333
4/24/2015	13:00	26.7	26.9	25.4333333
4/24/2015	14:00	28.1	28.4	25.4333333
4/24/2015	15:00	26.4	26.3	25.4333333
4/24/2015	16:00	25.9	26	25.4333333
4/24/2015	17:00	26.2	26.1	25.4333333
4/24/2015	18:00	25.8	25.9	25.4333333
4/24/2015	19:00	25.5	25.6	25.4333333
4/24/2015	20:00	25	25.2	25.4333333
Promedio		25.3916667	25.475	
Media		25.4333333		
Alta		29.6	29.4	
a	b	retardo termico	Amortiguamiento termico	
4.16666667	3.96666667	1	0.952	

ANEXO 6.

		1:5:F		
		Temp int promedio	Temp Ext promedio	Temp media
Fecha	Hora	(°C)	(°C)	(°C)
4/23/2015	21:00	24.5	24.9	25.44375
4/23/2015	22:00	25.2	25.5	25.44375
4/23/2015	23:00	24	24	25.44375
4/23/2015	0:00	23.8	23.9	25.44375
4/23/2015	1:00	23.6	23.8	25.44375
4/24/2015	2:00	23.5	23.5	25.44375
4/24/2015	3:00	23.8	23.6	25.44375
4/24/2015	4:00	23.4	23.3	25.44375
4/24/2015	5:00	23.3	23.3	25.44375
4/24/2015	6:00	23	23	25.44375
4/24/2015	7:00	23.5	23.6	25.44375
4/24/2015	8:00	25.1	25.2	25.44375
4/24/2015	9:00	27.6	27.7	25.44375
4/24/2015	10:00	28.9	29	25.44375
4/24/2015	11:00	29.8	29.6	25.44375
4/24/2015	12:00	26.4	26.8	25.44375
4/24/2015	13:00	26.5	26.9	25.44375
4/24/2015	14:00	28.1	28.3	25.44375
4/24/2015	15:00	26.5	26.6	25.44375
4/24/2015	16:00	26.2	26.4	25.44375
4/24/2015	17:00	26.2	26.3	25.44375
	18:00	25.9	26	
	19:00	25.4	25.6	
	20:00	25	25.3	
Promedio		25.3833333	25.5041667	
Media		25.44375		
Alta		29.8	29.6	
		retardo termico	Amortiguamiento termico	
a	b			
4.35625	4.15625	1	0.95408895	

ANEXO 7. Mediciones finales de calor específico 1:1:5, 1:1:5 (F1), 1:5, 1:5: (F025). Con fecha y densidad aparente medida.

ENSAYOS DE CALOR ESPECIFICO (ASTM 351 92)													
FECHA: 30 DE JUNIO DE 2015													
MUESTRAS: 1.1.5. REF													
MUESTRA 1													
ENSAYO	mpi (g)	Tpi (°C)	Tpf (°C)	mai (g)	Tai (°C)	Taf (°C)	DT agua	DT p		Cp (cal/g °C)	Cp (KJ/kg K)	Densidad (g/cm³)	
6/29/2015	1	820	100	33.1	2650	23.6	33.1	9.5	66.9	0.4589121	4.19	1.923	1.70548
6/30/2015	2	820	100	33.2	2650	23.7	33.2	9.5	66.8	0.45959909	4.19	1.926	1.71692
7/1/2015	3	820	100	34.7	2650	25.1	34.7	9.6	65.3	0.47510552	4.19	1.991	1.7427
7/2/2015	4	820	100	34	2650	24.4	34	9.6	66	0.47006652	4.19	1.970	1.71692
										0.45925556		1.926	
										PROMEDIO		1.952	1.721
MUESTRA 2													
ENSAYO	mpi (g)	Tpi (°C)	Tpf (°C)	mai (g)	Tai (°C)	Taf (°C)	DT agua	DT p		Cp (cal/g °C)	Cp (KJ/kg K)	Densidad (g/cm³)	
5/29/2015	1	850	100	34.5	2650	24.8	34.5	9.7	65.5	0.46169735	4.19	1.935	1.72871
6/30/2015	2	840	100	33.5	2650	23.9	33.500	9.6	66.5	0.45542427	4.19	1.908	1.80472
7/1/2015	3	850	100	35.2	2650	25.5	35.2	9.7	64.8	0.46668482	4.19	1.955	1.64864
7/2/2015	4	850	100	34.9	2650	25.1	34.9	9.8	65.1	0.46932321	4.19	1.966	1.69715
										0.46169735		1.945	1.720
										PROMEDIO		1.941	
										PROMEDIO AMBOS		1.947	

MUESTRAS: 1.1.5 F1													
MUESTRA 1													
ENSAYO	mpi (g)	Tpi (°C)	Tpf (°C)	mai (g)	Tai (°C)	Taf (°C)	DT agua	DT p		Cp (cal/g °C)	Cp (KJ/kg K)	Densidad (g/cm³)	
6/29/2015	1	910	100	34.9	2650	24.7	34.9	10.2	65.1	0.45627184	4.19	1.912	1.6959
6/30/2015	2	910	100	35.4	2650	25.2	35.400	10.2	64.6	0.45980335	4.19	1.927	1.71115
7/1/2015	3	900	100	35.9	2650	25.6	35.9	10.3	64.1	0.47313226	4.19	1.982	1.73833
7/3/2015	4	910	100	33.9	2650	23	33.9	10.9	66.1	0.48020814	4.19	2.012	1.73
										0.45980335		1.955	1.719
										PROMEDIO		1.958	
MUESTRA 2													
ENSAYO	mpi (g)	Tpi (°C)	Tpf (°C)	mai (g)	Tai (°C)	Taf (°C)	DT agua	DT p		Cp (cal/g °C)	Cp (KJ/kg K)	Densidad (g/cm³)	
5/21/2015	1	910	100	36.6	2650	26	36.6	10.6	63.4	0.48687905	4.19	2.040	1.65758
6/30/2015	1	910	100	34.1	2650	23.1	34.100	11	65.9	0.48608448	4.19	2.037	1.6893
7/1/2015	1	910	100	35.7	2650	25.1	35.7	10.6	64.3	0.48006426	4.19	2.011	1.6704
7/3/2015	4	910	100	33.8	2650	23	33.8	10.8	66.2	0.47508383	4.19	1.991	1.69
										0.48608448		2.024	1.677
										PROMEDIO		2.020	
										PROMEDIO AMBOS		1.989	

MUESTRA REFERENCIA: 1:5													
MUESTRA 1													
ENSAYO	mpi (g)	Tpi (°C)	Tpf (°C)	mai (g)	Tai (°C)	Taf (°C)	DT agua	DT p		Cp (cal/g °C)	Cp (KJ/kg K)	Densidad (g/cm³)	
8/11/2015	1	970	100	35.3	2650	24.7	35.3	10.6	64.7	0.44758521	4.19	1.875	1.87701
8/12/2015	2	950	100	36.3	2650	26	36.300	10.3	63.7	0.4510452	4.19	1.890	1.86826
8/13/2015	3	950	100	33.4	2650	22.9	33.4	10.5	66.6	0.43978189	4.19	1.843	1.87001
8/14/2015	4	950	100	36.5	2650	26.3	36.5	10.2	63.5	0.44807294	4.19	1.911	1.84105
										0.44758521		1.883	1.864
										PROMEDIO		1.869	
MUESTRA 2													
ENSAYO	mpi (g)	Tpi (°C)	Tpf (°C)	mai (g)	Tai (°C)	Taf (°C)	DT agua	DT p		Cp (cal/g °C)	Cp (KJ/kg K)	Densidad (g/cm³)	
8/10/2015	1	940	100	34	2650	23.5	34	10.5	66	0.44850097	4.19	1.879	1.93208
8/11/2015	2	970	100	35.6	2650	25.2	35.600	10.4	64.4	0.44118589	4.19	1.849	2.03579
8/13/2015	3	910	100	35.2	2650	25.3	35.2	9.9	64.8	0.44490232	4.19	1.864	1.83482
8/14/2015	4	920	100	35.2	2650	25.1	35.2	10.1	64.8	0.44895666	4.19	1.881	1.89182
										0.44490232		1.872	1.924
										PROMEDIO		1.868	
										PROMEDIO AMBOS		1.869	

ANEXO 7.

MUESTRAS: 1:5:0.25														
MUESTRA 1														
ENSAYO	mpi (g)	Tpi (°C)	Tpf (°C)	mai (g)	Tai (°C)	Taf (°C)	DT agua	DT p			Cp (cal/g °C)	Cp (KJ/kg K)	Densidad (g/cm³)	
8/10/2015	1	960	100	35.5	2650	24.9	35.5	10.6	64.5		0.45364987	4.19	1.901	1.91003
8/12/2015	2	950	100	35.8	2650	25.3	35.800	10.5	64.2		0.45622233	4.19	1.912	1.97886
8/13/2015	3	930	100	34.1	2650	23.5	34.1	10.6	65.9		0.45833537	4.19	1.920	1.90547
8/14/2015	4	950	100	35.2	2650	24.6	35.2	10.6	64.8		0.45630279	4.19	1.911	1.96005
											0.45622233		1.911	1.939
													PROMEDIO	1.911
MUESTRA 2														
ENSAYO	mpi (g)	Tpi (°C)	Tpf (°C)	mai (g)	Tai (°C)	Taf (°C)	DT agua	DT p			Cp (cal/g °C)	Cp (KJ/kg K)	Densidad (g/cm³)	
8/11/2015	1	980	100	35.2	2650	24.2	35.2	11	64.8		0.4590262	4.19	1.923	1.90344
8/12/2015	2	940	100	38.1	2650	28.1	38.100	10	61.9		0.45543602	4.19	1.908	1.83471
8/13/2015	3	940	100	36.3	2650	25.9	36.3	10.4	63.7		0.46026921	4.19	1.929	1.79876
8/14/2015	4	940	100	36.8	2650	26.6	36.8	10.2	63.2		0.45498923	4.19	1.906	1.82283
											0.4590262		1.916	1.840
													PROMEDIO	1.917
													PROMEDIO AMBOS	1.914

ANEXO 8. Algoritmo utilizado en MATLAB para el cálculo de conductividad térmica.

```
inputs = entradas;
targets = objetivos;

% Create a Fitting Network
hiddenLayerSize = 10;
net = fitnet(hiddenLayerSize);

% Choose Input and Output Pre/Post-Processing Functions
% For a list of all processing functions type: help nnprocess
net.layers{1}.transferFcn = 'tansig';
net.layers{2}.transferFcn = 'tansig';

% Setup Division of Data for Training, Validation, Testing
% For a list of all data division functions type: help nndivide
net.divideFcn = 'dividerand'; % Divide data randomly
net.divideMode = 'sample'; % Divide up every sample
net.divideParam.trainRatio = 70/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 15/100;

% For help on training function 'trainlm' type: help trainlm
% For a list of all training functions type: help nntrain
net.trainFcn = 'trainlm'; % Levenberg-Marquardt

% Choose a Performance Function
% For a list of all performance functions type: help nnperformance
net.performFcn = 'tansig'; % Mean squared error

% Choose Plot Functions
% For a list of all plot functions type: help nnplot
net.plotFcns = {'plotperform', 'plottrainstate', 'ploterrhist', ...
    'plotregression', 'plotfit'};

% Train the Network
[net, tr] = train(net, inputs, targets);

% Test the Network
outputs = net(inputs);
errors = gsubtract(targets, outputs);
performance = perform(net, targets, outputs)

% Recalculate Training, Validation and Test Performance
trainTargets = targets .* tr.trainMask{1};
valTargets = targets .* tr.valMask{1};
testTargets = targets .* tr.testMask{1};
trainPerformance = perform(net, trainTargets, outputs)
valPerformance = perform(net, valTargets, outputs)
testPerformance = perform(net, testTargets, outputs)
```

ANEXO 9. La matriz de entrada utilizada se componen de la siguiente manera: cemento, cal, polvo de piedra, polvo *Lagenaria siceraria*, agua, corriente eléctrica, tensión eléctrica y potencia eléctrica suministrada respectivamente.

entradas =

Columns 1 through 10

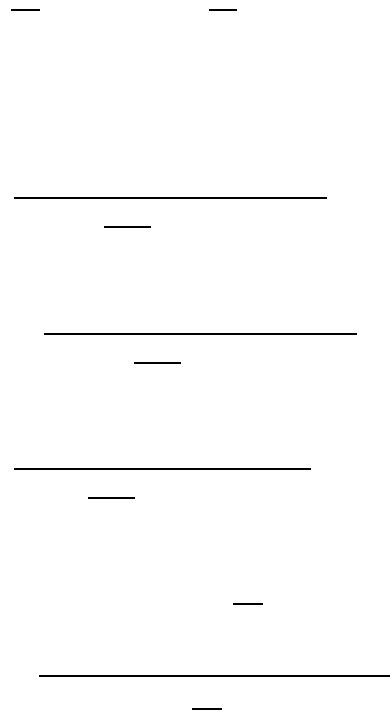
10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	9.0910	9.0910	9.0910	9.0910	11.1100	11.1100
10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	9.0910	9.0910	9.0910	9.0910	0	0
50.0000	50.0000	50.0000	50.0000	45.4550	45.4550	45.4550	45.4550	55.5600	55.5600
0	0	0	0	9.0910	9.0910	9.0910	9.0910	0	0
30.0000	30.0000	30.0000	30.0000	27.2730	27.2730	27.2730	27.2730	33.3300	33.3300
0.2790	0.2360	0.1960	0.1580	0.2790	0.2350	0.1960	0.1580	0.2790	0.2360
35.5100	30.1100	25.1300	20.2300	35.5400	30.0400	25.0900	20.2500	35.5550	30.0800
9.8990	7.1070	4.9250	3.1970	9.9150	7.0700	4.9180	3.2000	9.9200	7.0990

Columns 11 through 16

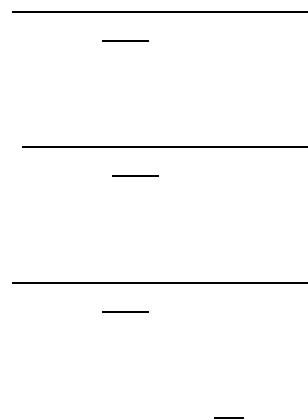
11.1100	11.1100	10.8110	10.8110	10.8110	10.8110
0	0	0	0	0	0
55.5600	55.5600	54.0500	54.0500	54.0500	54.0500
0	0	2.7030	2.7030	2.7030	2.7030
33.3300	33.3300	32.4300	32.4300	32.4300	32.4300
0.1960	0.1580	0.2780	0.2350	0.1950	0.1560
25.1200	20.2250	35.4800	30.0000	25.1000	20.0000
4.9240	3.1960	9.8600	7.0500	4.9000	3.1200

ANEXO 10. Cálculo de resistencia y conductividad térmica equivalente de la cabaña original.

Techo.



Muro.



ANEXO 11. Mediciones de confort térmico realizados por Bojórquez en la cabaña analizada, en el punto de la cama.

Abril 2015.

MEDICIONES DE CONFORT TÉRMICO							
UBICACIÓN	CABAÑA MORALES POZO (CAMA)						
EQUIPO	Higrotermómetro Digital con Rango de Temp de -20°C ~+60°C y Humedad de 10% ~95%						
FECHA	HORA	TEMP EXT	TEMP INT	ZC Mín	ZC Máx	Dif Temp Ext-Int	HR INT
4/24/2015	18:00	31	30.6	23.75	28.75	0.40	72.6
	19:00	30.2	30.1	23.75	28.75	0.10	74.6
	20:00	28.3	29	23.75	28.75	-0.70	78
	21:00	27.5	28.1	23.75	28.75	-0.60	79.5
	22:00	27.1	27.6	23.75	28.75	-0.50	82.8
	23:00	26.9	27.5	23.75	28.75	-0.60	84.9
	0:00	26.7	27.3	23.75	28.75	-0.60	87.1
4/25/2015	1:00	26.7	27.2	23.75	28.75	-0.50	86.9
	2:00	26.6	27.2	23.75	28.75	-0.60	87.4
	3:00	26.7	27	23.75	28.75	-0.30	88.2
	4:00	26.5	27	23.75	28.75	-0.50	88.2
	5:00	26.4	26.7	23.75	28.75	-0.30	89.8
	6:00	26.3	26.7	23.75	28.75	-0.40	89.8
	7:00	26.2	26.6	23.75	28.75	-0.40	88.8
	8:00	27.4	27.5	23.75	28.75	-0.10	88.9
	9:00	28.7	28.3	23.75	28.75	0.40	80.8
	10:00	29.9	29.4	23.75	28.75	0.50	73.5
	11:00	31.3	30.6	23.75	28.75	0.70	64.1
	12:00	32	31.4	23.75	28.75	0.60	64.3
	13:00	32.2	31.5	23.75	28.75	0.70	65.3
14:00	32.1	31.7	23.75	28.75	0.40	64.9	
15:00	32.2	31.6	23.75	28.75	0.60	63.5	
16:00	31.4	31.3	23.75	28.75	0.10	64.7	
17:00	31.3	31.2	23.75	28.75	0.10	62.3	

ANEXO 11.

Septiembre 2015.

MEDICIONES DE CONFORT TÉRMICO							
UBICACIÓN	CABAÑA MORALES POZO (CAMA)						
EQUIPO	Higrotermómetro Digital con Rango de Temp de -20°C ~+60°C y Humedad de 10% ~95%						
FECHA	HORA	TEMP EXT	TEMP INT	ZC Mín	ZC Máx	Dif Temp Ext-Int	HR INT
9/11/2015	18:00	31.3	30.6	23.75	28.75	0.70	72.6
	19:00	30.6	30.1	23.75	28.75	0.50	74.6
	20:00	29.5	29.5	23.75	28.75	0.00	79.2
	21:00	29.3	29.4	23.75	28.75	-0.10	78.1
	22:00	28.9	29.3	23.75	28.75	-0.40	81.3
	23:00	28.8	29.2	23.75	28.75	-0.40	80.7
9/12/2015	0:00	28.4	28.8	23.75	28.75	-0.40	82.5
	1:00	28.3	28.6	23.75	28.75	-0.30	83.8
	2:00	28.1	28.3	23.75	28.75	-0.20	83.6
	3:00	27.8	28.1	23.75	28.75	-0.30	82.9
	4:00	27.9	28	23.75	28.75	-0.10	83.7
	5:00	26.9	27.5	23.75	28.75	-0.60	84.2
	6:00	27	27.5	23.75	28.75	-0.50	84.5
	7:00	27.1	27.5	23.75	28.75	-0.40	85.9
	8:00	27.9	27.6	23.75	28.75	0.30	84.9
	9:00	29.8	28.9	23.75	28.75	0.90	79.1
	10:00	30.5	29.3	23.75	28.75	1.20	78.9
	11:00	31.7	30.3	23.75	28.75	1.40	74.3
	12:00	32.4	31.3	23.75	28.75	1.10	65.5
	13:00	32.5	31.7	23.75	28.75	0.80	67.1
14:00	32.5	31.7	23.75	28.75	0.80	69.2	
15:00	32.9	32	23.75	28.75	0.90	68.8	
16:00	32.4	31.5	23.75	28.75	0.90	67.1	
17:00	31.8	31.7	23.75	28.75	0.10	71.6	

ANEXO 11.

Noviembre 2015.

MEDICIONES DE CONFORT TÉRMICO									
UBICACIÓN	CABAÑA MORALES POZO (CAMA)								
EQUIPO	Higrotermómetro Digital con Rango de Temp de -20°C ~+60°C y Humedad de 10% ~95%								
FECHA	HORA	TEMP EXT	TEMP INT	ZC Mín	ZC Máx	Dif Temp Ext-Int	HR INT		
9/11/2015	18:00	25.1	24.9	23.75	28.75	0.20	72.6		
	19:00	25	24.9	23.75	28.75	0.10	74.6		
	20:00	24.8	25	23.75	28.75	-0.20	79.2		
	21:00	24.9	24.7	23.75	28.75	0.20	78.1		
	22:00	25	24.3	23.75	28.75	0.70	81.3		
	23:00	25.5	24.9	23.75	28.75	0.60	80.7		
9/12/2015	0:00	24.4	24.1	23.75	28.75	0.30	82.5		
	1:00	24.4	24.1	23.75	28.75	0.30	83.8		
	2:00	24.3	24	23.75	28.75	0.30	83.6		
	3:00	24.3	24	23.75	28.75	0.30	82.9		
	4:00	24.4	23.9	23.75	28.75	0.50	83.7		
	5:00	24.2	23.9	23.75	28.75	0.30	84.2		
	6:00	24.1	23.8	23.75	28.75	0.30	84.5		
	7:00	23.9	23.6	23.75	28.75	0.30	85.9		
	8:00	24.2	23.7	23.75	28.75	0.50	84.9		
	9:00	25.4	24.45	23.75	28.75	0.95	79.1		
	10:00	26.7	25.2	23.75	28.75	1.50	78.9		
	11:00	28.3	26.2	23.75	28.75	2.10	74.3		
	12:00	28.1	26.4	23.75	28.75	1.70	65.5		
	13:00	26	25.4	23.75	28.75	0.60	67.1		
14:00	26.2	25.7	23.75	28.75	0.50	69.2			
15:00	27.9	26.9	23.75	28.75	1.00	68.8			
16:00	27.5	26.7	23.75	28.75	0.80	67.1			
17:00	25.5	25.4	23.75	28.75	0.10	71.6			

