

**EVALUACIÓN DE PROTOTIPOS DE VIVIENDA
SUSTENTABLE Y DE BAJO COSTO**

TESIS

Para obtener el grado académico de:
Maestro en Ciencia y Tecnología
en la Especialidad de Ingeniería
Ambiental

PRESENTA

I.Q.A. FLAVIO ROBERTO CEJA SOTO



QUERETARO, QRO. SEPTIEMBRE 2012.

Presidente Dr. Alejandro Manzano Ramírez

Secretario Dr. Marcos Algara Sille

Vocal Dr. Yunny Meas Vong

Vocal Dra. Julieta Torres Gonzáles

Vocal Dr. José de Jesús Pérez Bueno



Este trabajo fue realizado en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), bajo la dirección del Dr. José de Jesús Pérez Bueno.

Dedicado en memoria de mi padre Flavio Ceja Barrera

*Thanks for all you've done i've missed you for so long, I
can't believe you're gone.*

*You still live in me, i feel you in the wind, you guide me
constantly. I never knew what it was to be alone, because you
were always there for me, you were always waiting, but now i
come home and i miss your face so, smiling down on.*

*I close my eyes to see and it's your song that sets me free.
I carry things that remind me of you in loving memory and
even though you're gone, you still mean the world to me and
you always will be with me....*

(Alter Bridge, In loving memory)

AGRADECIMIENTOS

- Dr. Alejandro Manzano Ramírez
- Dr. Yunny Meas Vong
- M. en C. Pablo Esaú Hidalgo Pimentel
- Técnico Agustín Galindo Sifuentes
- Técnico Rivelino Flores Farias
- Dra. María Luisa Mendoza López
- Dr. José Luis Reyes Araiza
- Ing. Manuel Miranda Martínez
- Ing. Mario Alberto Retana Tapia
- Integrantes de la Red Urbana de Vivienda Sustentable
- Integrantes de la Red Rural de Vivienda Sustentable
- Desarrollo Ecoturístico, Plan de Guinea
- Hacienda la Carolina
- Unión del Bambú, Puebla
- Grupo de Trabajo
- Familia y Amigos

RESUMEN

El estudio presentado está basado en la evaluación de viviendas sustentables y de bajo costo. Los resultados están centrados en prototipos de viviendas y viviendas construidas en las diferentes regiones del estado de Querétaro. En Querétaro se cuenta con cuatro zonas climatológicas, se tienen registros y evaluaciones de edificaciones de tres de las cuatro zonas. La tesis está dividida en tres partes clave, las cuales son: evaluación de parámetros internos y externos en edificaciones habitacionales, simulación térmica de materiales y diseño de construcción utilizados en la vivienda y finalmente en una guía base de evaluación de indicadores de sustentabilidad en vivienda. La medición de parámetros internos se realizó con la ayuda de termohigrómetros y cámara termográfica. Las simulaciones presentadas se llevaron a cabo con el software Comsol Multiphysics V. 3.5. La metodología de evaluación de sustentabilidad está basada en una lista de indicadores que contempla dos etapas clave, la construcción y la habitación de la vivienda. Se evaluaron seis construcciones, contando una vivienda de materiales convencionales y cinco más construidas a base de materiales alternos o vernáculos.

ABSTRACT

The thesis presented is based on the study of sustainable and inexpensive houses. The results are focused on prototypes of houses and homes built in the different regions of the state of Querétaro. There are four climatic zones through out the state. The work present records and evaluations about houses and prototypes of three of the four zones. The thesis is divided into three key parts, which are: evaluation of internal and external parameters in residential buildings, thermal simulation and design of materials used in housing construction and finally a base guide evaluation of sustainability indicators in housing. The internal parameter measurement was done with the help of thermohygrometers and thermography camera. The simulations presented were conducted with software Comsol Multiphysics V. 3.5. The sustainability assessment methodology is based on a list of indicators that includes two key stages, construction and housing room. The work present an evaluation of six buildings, one of conventional housing materials and five of alternative or vernacular materials.

ÍNDICE

	Página
Introducción	5
i. Hipótesis	10
ii. Objetivos	11
a Objetivo General	
b Objetivos específicos	
iii. Justificación	12
PARTE I	
CAPÍTULO 1	
Antecedentes	
1.1 Confort Higrotérmico	16
1.2 Importancia del estudio de simulaciones térmicas	16
1.3 Metodologías de evaluación del nivel o grado de sustentabilidad de viviendas	17
CAPÍTULO 2	
Marco teórico	
2.1 La construcción a través de la historia	21
2.2 ¿Qué es la sustentabilidad?	23
2.3 Indicadores de sustentabilidad	24
2.4 Términos ligados a la vivienda sustentable	24
2.5 Materiales Verdes	25
CAPÍTULO 3	
Experimental	
3.1 Pruebas mecánicas de botellas de PET	30
3.2 Construcción de block a base de botellas de PET	30
3.3 Pruebas de resistencia en blocks contruidos a base de PET	31
3.4 Medición de conductividad térmica en blocks de PET	31
3.5 Evaluación del comportamiento de materiales con la ayuda de la medición	31
de parámetros internos y externos.	
3.5.1 Parámetros Internos	
3.5.2 Parámetros Externos	
3.5.2.1Contraste de temperatura en muros	

3.5.2.2	Humedad absoluta en superficie	
3.6	Simulación del comportamiento de prototipos de vivienda	32
CAPÍTULO 4		
Descripción de Construcciones Evaluadas		
4.1	Prototipo de botellas de PET	34
4.2	Prototipo de adobe reforzado	35
4.3	Prototipo de piedra	36
4.4	Prototipo de piedra y tejamaní	37
4.5	Prototipo de Paja y carrizo	37
4.6	Vivienda convencional	38
CAPÍTULO 5		
Caracterización mecánica y térmica de botellas y blocks de PET		
5.1	Compresión de botellas de PET	40
5.2	Resistencia de los blocks de PET-cemento	42
5.3	Conductividad térmica en blocks de PET-cemento	43
PARTE II. Resultados y Discusiones		
CAPÍTULO 6		
Medición de Parámetros Internos y Externos		
6.1	Prototipo de PET	
6.1.1	Temperatura	47
6.1.2	Humedad Relativa	50
6.1.3	Imágenes termográficas y humedad absoluta superficial	51
6.2	Prototipo de adobe	
6.2.1	Temperatura	53
6.2.2	Humedad Relativa	54
6.2.3	Imágenes termográficas	55
6.3	Vivienda de Piedra, dos plantas	
6.3.1	Temperatura	56
6.3.2	Humedad Relativa	57
6.3.3	Imágenes termográficas	57
6.4	Prototipo de Piedra con Tapanco	
6.4.1	Temperatura	58
6.4.2	Humedad Relativa	59
6.4.3	Imágenes termográficas	60

6.5	Prototipo de Paja y Carrizo	
6.5.1	Temperatura	61
6.5.2	Humedad Relativa	62
6.5.3	Imágenes termográficas	63
6.6	Vivienda construida con materiales convencionales	
6.6.1	Temperatura	64
6.6.2	Humedad Relativa	65
6.6.3	Imágenes termográficas	65
CAPÍTULO 7		
Simulaciones térmicas		
7.1	Prototipo de PET	68
7.2	Prototipo de Adobe	69
7.3	Prototipo de Piedra	71
7.4	Prototipo de Carrizo	71
7.5	Vivienda Convencional	72
CAPÍTULO 8		
	Metodología de Evaluación de Sustentabilidad	75
PARTE III		
	Conclusiones	80
	Perspectivas	86
	REFERENCIAS	87
ANEXOS		
	Anexo 1 Condiciones climatológicas de Querétaro	98
	Anexo 2 Check list basado en indicadores de sustentabilidad, metodología LEED	103
	Anexo 3 Guía rápida de evaluación de viviendas sustentables, PCES.	107
	Anexo 4 Muestra de reporte generado por simulaciones COMSOL	109
	TRABAJOS PRESENTADOS	122

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Distintos tipos de viviendas construidos a través de la historia humana.

Figura 2. Prototipo de PET en sus diferentes vistas. a) Vista frontal y lado izquierdo b) Vista trasera y lado derecho, c) vista del techo.

Figura 3. Fotografías del prototipo de adobe. a) Vista frontal, b) Vista lateral.

Figura 4. Vivienda construida a base de piedras de la Peña de Bernal

Figura 5. Prototipo de piedra laja. a) Vista frontal, b) Vista trasera, c) Vista superior del techo.

Figura 6. Construcción de carrizo y paja. a) Vista frontal, b) Vista interna del techo.

Figura 7. Vivienda convencional. a) Vista de fachada, b) Vista interna.

Figura 8. Forma general de compactación y aparición de falla típicas: a) Botella en forma horizontal antes de la prueba de compresión, b) Botella en forma horizontal después de la prueba de compresión, c) Botella en forma vertical antes de la prueba de compresión, d) Botella en forma vertical después de la prueba de compresión.

Figura 9. a) Prueba a manera horizontal antes de la compresión b) Prueba a manera horizontal después de la compresión c) Prueba a manera vertical antes de la compresión d) Prueba a manera horizontal después de la compresión.

Figura 10. Gráfica de temperatura del prototipo de PET en un periodo de 3.2 días. a) Temperatura externa, b) Temperatura interna.

Figura 11. Gráfica anual de temperatura del prototipo de PET.

Figura 12. Gráfica del comportamiento gaussiano del prototipo de PET en un ciclo anual.

Figura 13. Gráfica anual de humedad del prototipo de PET

Figura 14. Termografías del prototipo de PET en sus diferentes vistas. a) Vista frente y lado izquierdo, b) Vista trasera y lado derecho, c) Techo verde.

Figura 15. Gráfica semestral del comportamiento de la temperatura en el prototipo de adobe

Figura 16. Gráfica semestral del comportamiento de la Humedad Relativa en el prototipo de adobe.

Figura 17. Imágenes termográficas del prototipo de adobe. a) Parte derecha de la construcción, b) Frente la construcción.

Figura 18. Gráfica trimestral del comportamiento de la temperatura en la vivienda de piedra.

Figura 19. Gráfica trimestral del comportamiento de la humedad relativa en la vivienda de piedra.

Figura 20. Comportamiento térmico de la construcción de piedra laja y medio externo.

Figura 21. Comportamiento de la humedad relativa en construcción de piedra laja y medio externo.

Figura 22. Imágenes termográficas de la construcción de piedra laja en la Sierra Gorda de Querétaro. a) Vista frontal- aérea, b) Cobertizo de tejamaní.

Figura 23. Gráfica de temperatura de la construcción de Paja-Carrizo.

Figura 24. Gráfica de humedad relativa de la construcción de Paja-Carrizo.

Figura 25. Termografías del prototipo de Paja-Carrizo. a) Techo de Paja, b) Muros de Carrizo.

Figura 26. Gráfica de Temperatura de la vivienda convencional.

Figura 27. Gráfica de % de Humedad Relativa de la vivienda convencional.

Figura 28. Simulación térmica del prototipo de PET, tomando datos externos de temperatura de los análisis observados en campo. a) Mallado b) Comportamiento exterior c) Comportamiento interior.

Figura 29. Simulación térmica del prototipo de PET considerando la radiación máxima en el estado (6.5W/m^2) y temperatura de 35°C . a) Mallado, b) Simulación exterior, c) Simulación interior.

Figura 30. Mallado y comportamiento interior y exterior del prototipo de adobe con una radiación de 3.2 W/m^2 y una temperatura externa de 0°C . a) Mallado utilizado, b) Comportamiento externo del prototipo c) Comportamiento interno del prototipo.

Figura 31. Comportamiento interior y exterior del prototipo de adobe con una radiación de 6.2 W/m^2 y una temperatura externa de 35°C . a) Comportamiento externo del prototipo, b) Comportamiento interno del prototipo.

Figura 32. Simulación de la construcción de piedra de Sierra Gorda, utilizando una radiación de 4.2 W/m^2 y temperatura ambiente de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. a) Mallado b) Comportamiento exterior c) Comportamiento interior.

Figura 33. Simulación de la vivienda convencional, utilizando una radiación de 3.2 W/m^2 y temperatura ambiente de 0°C . a) Mallado, b) Comportamiento exterior, c) Comportamiento interior.

Figura 34. Simulación de la vivienda convencional, utilizando una radiación de 5.4 W/m^2 y temperatura ambiente de 35°C . a) Comportamiento exterior, b) Comportamiento interior.

Figura 35. Gráfica tipo pastel de distribución porcentual de indicadores de sustentabilidad en viviendas.

Figura 36. Radiación promedio anual en el estado de Querétaro de Arteaga.

Figura 37. Radiación solar global sobre una superficie horizontal comparada con las realizadas por la NASA, en la ciudad de Querétaro.

Figura 38. Comparación de temperatura medida por la estación Davis Vantage Pro y la proporcionada por la NAS, en la ciudad de Querétaro.

Figura 39. Humedad Relativa medida por la NAS y por la estación Davis Vantage Pro, en la ciudad de Querétaro de Arteaga.

Figura 40. Lineamientos de evaluación en materia de impacto ambiental

Figura 41. Lineamientos de evaluación en materia de energía.

Figura 42. Lineamientos de evaluación en materia de agua.

Figura 43. Lineamientos de evaluación en materia de residuos sólidos.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Carga máxima soportada por una botella sometida a compresión.

Tabla 2. Medición de conductividad térmica

Tabla 3. Parámetros de comportamiento gaussiano de cada gráfico de temperatura. Donde P-Tmax representa la temperatura máxima, P-Tmin la temperatura mínima, ambas del interior del prototipo. Las temperaturas de referencia están dadas por P-Tmax temperatura máxima y la temperatura mínima de P-Tmin.

Tabla 4. Resumen de radiación, temperatura y humedad relativa en la ciudad de Querétaro de Arteaga durante el periodo de julio 2006 a junio 2007.

Tabla 5. “Check list” empleado por la metodología LEED para evaluación de construcciones sustentables.

ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

A	Intensidad de corriente
CONAVI	Comisión Nacional de la Vivienda
HR	Humedad Relativa
IMES	El Instituto Mexicano del Edificio Sustentable
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MEES	Método de Evaluación de Edificaciones Sustentables
M	Metros
PCES	Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables
PET	Polietilentereftalato
RIIVSBC	Red de Investigación e Innovación de Vivienda Sustentable de Bajo Costo
T _c	Temperatura inferior
T _h	Temperatura superior
USGBC	Unite States Green Building Council

V Voltaje

W Potencia

WCED World Commission on Environment and Development

INTRODUCCIÓN

La vivienda es una de las necesidades primarias del ser humano y, en la actualidad, local y mundialmente es una apremiante necesidad directamente asociada al crecimiento de la población. También, es un problema con alto impacto ecológico, tanto por la ocupación de espacios para desarrollos habitacionales como por el uso de grandes cantidades de materiales para construcción, así como el impacto directo e indirecto por su extracción, procesamiento y transporte de dichos materiales.

La construcción de vivienda digna en la actualidad es a la vez una necesidad humana que no es satisfecha con el ritmo de crecimiento de la población y, por otro lado, afecta al ecosistema por la instalación de nuevos desarrollos urbanos. Estos traen consigo otros problemas inherentes como, por ejemplo, la necesidad del abasto de alimentación, agua y energía, con la consiguiente contaminación de aire, agua y suelo. Cada vez más será una obligación individual y colectiva el hecho de que cada vivienda adopte consideraciones ecológicas, no solo un lujo reservado para quienes pueden y quieren pagarlo. Es innegable que actualmente se atienden los problemas generados por el crecimiento de la población con carácter correctivo y no preventivo. Se tiene un gran rezago en el abasto de vivienda digna y aquella que se crea no es congruente con el cuidado del medio ambiente necesario para la sustentabilidad a futuro.

La industria de la construcción es uno de los motores de la economía del país. Construir en México, es una actividad diaria necesaria para el individuo y para la economía. La diferencia con la que el proyecto quiere aportar es que se construya con responsabilidad ambiental, que la vivienda sea digna, se reduzcan los costos y que sea sustentable.

En la actualidad hay un progresivo aumento de interés en la sociedad por que las nuevas construcciones, e idealmente las pre-existentes, incrementen la sustentabilidad del ramo a futuro en la creciente búsqueda de satisfacer la necesidad de vivienda. Desde grandes edificaciones, sobretodo en países desarrollados, hasta casas de interés social buscan en mayor o menor medida incorporar prácticas y materiales considerados sustentables. Materiales como bambú, botellas de PET (Polietilentereftalato), adobe, cenizas volantes, madera de reciclaje y roca del sitio de construcción. Se busca identificar y mejorar prácticas que cuantifiquen el grado de sustentabilidad que tiene una construcción. Finalmente, y con base en la información

obtenida en los prototipos se hará una simulación COMSOL del aislamiento térmico en un prototipo de vivienda sustentable.

Diversos grupos sociales se han consolidado con la finalidad de proponer proyectos de viviendas sustentables, desde grupos pequeños hasta grandes empresas que involucran algún carácter sustentable en sus construcciones.

La RIIVSBC surge en Querétaro en 2010 buscando integrar los diferentes enfoques y labores que se desarrollan en la región en torno a la vivienda, con particular enfoque en la Vivienda Sustentable de Bajo Costo. El presente proyecto, asociado a esta temática y trabajos, busca proporcionar elementos cuantificables que puedan permitir evaluar los diferentes prototipos denominados “sustentables”. Esto brindará herramientas que permitan objetivamente discernir entre una o varias alternativas y que sean más acordes con la finalidad a la que se desea destinar. Partiendo del hecho que se busca, la sustentabilidad y el bajo costo, las múltiples opciones de construcción presentarán ventajas y desventajas pero algunas serán más viables para determinado caso específico, equilibrando: costo, los requerimientos de los habitantes y las características del lugar, así como el grado de sustentabilidad.

Se evaluarán algunos parámetros (principalmente higrotérmicos) en prototipos que integran algunos aspectos sustentables. Estos constan tanto de obras ya existentes como aquella que la Red erigirá en 2011. En ésta, se aplicará una evaluación que cuantificará su grado de sustentabilidad de acuerdo tanto a la metodología LEED como a una que se diseñará exprofeso para construcción sustentable de bajo costo.

Las simulaciones realizadas permitirán, mediante calibración con el comportamiento experimental medido in situ, extrapolar a condiciones térmicas extremas de altas y bajas temperaturas tal y como ocurren en algunos lugares del país, COMSOL es un software muy utilizado para el estudio de fenómenos acoplados, tal y como sucede en nuestra investigación.

La incorporación del término “sustentable” en construcción de vivienda industrializada es actualmente muy atractiva. Sin embargo, este es arbitrariamente empleado y no hay una estimación del grado real de sustentabilidad. El proyecto busca proveer de parámetros medibles tanto en el aislamiento térmico de una vivienda, el conocimiento de su posible comportamiento ante climas extremos mediante simulación, así como una medida confiable

cuantitativa de su grado de sustentabilidad y los rubros en los que pudiese tener más oportunidades de mejora.

En otros países se tienen indicadores de sustentabilidad, en Estados Unidos, por ejemplo, se usa la metodología utilizada por LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) desarrollado por EE.UU. Green Building Council (USGBC) , la cual involucra la evaluación de cinco categorías de diseño verde, que son: sitios sostenible, la eficiencia del agua, la energía y la atmósfera, materiales y recursos del medio ambiente y de interior de calidad. De acuerdo al puntaje obtenido en el sistema de calificación LEED se ofrece cuatro niveles de certificación para la construcción y son: Certificado, Plata, Oro y Platino.

LEED surge en 1994 con la intención de proporcionar un conjunto de estándares para la construcción verde, LEED ha crecido hasta abarcar más de 6.000 proyectos en 28 países que cubren mil millones de pies cuadrados de área de desarrollo. El sello de LEED es que es un proceso abierto y transparente donde los criterios técnicos propuestos por los comités de LEED son públicamente revisado para su aprobación por los más de 8.500 organizaciones miembros que actualmente componen el USGBC.

HIPÓTESIS

Es posible asociar el confort interno de una casa habitación a la regulación térmica y humedad relativa provista tanto por el diseño de edificación como por los materiales de construcción.

Es posible cuantificar el grado de sustentabilidad de una construcción aplicando un cuestionario referente a los aspectos de índole sustentable apropiado a casa habitación.

Es posible extrapolar el desempeño térmico de una casa habitación a condiciones climáticas extremas mediante simulación de sus características tanto de diseño de construcción como materiales usados en su levantamiento y acondicionamiento.

Objetivo General

Determinar el desempeño térmico de prototipos de vivienda sustentable y de bajo costo, la afectación de parámetros por modificaciones hechas en la vivienda, el establecimiento de la evaluación cuantitativa del grado de sustentabilidad y la simulación del aislamiento térmico.

Objetivos Particulares

- I. Realizar el monitoreo térmico y diversos análisis en prototipos de construcción con diferentes elementos de índole sustentable.
- II. Integrar una metodología para la evaluar cuantitativamente del grado de sustentabilidad de una construcción y aplicarlo al prototipo de vivienda rural que construirá la RIIVSBC.
- III. Elaborar una simulación de variaciones térmicas en el prototipo que construirá la RIIVSBC en Querétaro que permita extrapolar su comportamiento ante condiciones extremas de cambios térmicos.

JUSTIFICACIÓN

La vivienda será permanentemente una de las principales necesidades que el ser humano debe cubrir para su supervivencia. Actualmente, cada día se incrementa más el rezago al no poder cubrir tal necesidad de forma adecuada al ritmo del crecimiento de la población. Esto, guarda estrecha relación con el fenómeno social de la pobreza. La RIIVSBC surge en Querétaro en 2010 buscando integrar los diferentes enfoques y labores que se desarrollan en la región en torno a la vivienda, con particular enfoque en la Vivienda Sustentable de Bajo Costo. El presente proyecto, asociado a esta temática y trabajos, busca proporcionar elementos cuantificables que puedan permitir evaluar los diferentes prototipos denominados “sustentables”. Esto brindará herramientas que permitan objetivamente discernir entre una o varias alternativas y que sean más acordes con la finalidad a la que se desea destinar. Partiendo del hecho que se busca la sustentabilidad y el bajo costo, las múltiples opciones de construcción presentarán ventajas y desventajas pero algunas serán más viables para determinado caso específico, equilibrando: costo, los requerimientos de los habitantes y las características del lugar, así como el grado de sustentabilidad.

Se evaluarán algunos parámetros (principalmente térmicos) en prototipos que integran algunos aspectos sustentables con la motivación de conocer directamente los desempeños de las estructuras físicas. Estas constarán tanto de obras ya existentes como aquella que la Red erigió en 2011.

Se aplicará una evaluación que cuantifique su grado de sustentabilidad de acuerdo tanto a la metodología LEED como a una que se diseñará exprofeso para construcción sustentable de bajo costo, esto con la finalidad de tener criterios para la evaluación de casas habitación de forma cuantitativa, ya que en México no los hay.

La justificación de realizar la simulación es porque permitirá la extrapolación de condiciones térmicas extremas de altas y bajas temperaturas tal y como ocurren en algunos lugares del país. Los estudios térmicos de inmuebles permitirán ajustar los valores de los parámetros térmicos usados en la simulación de la transferencia de calor por COMSOL Multiphysics para que sean más apegados a los desempeños de las estructuras físicas.

La incorporación del término “sustentable” en construcción de vivienda industrializada es actualmente muy atractiva. Sin embargo, este es arbitrariamente empleado y no hay una estimación del grado real de sustentabilidad. El proyecto busca proveer de parámetros medibles tanto en el aislamiento térmico de una vivienda, el conocimiento de su posible comportamiento ante climas extremos mediante simulación, así como una medida confiable cuantitativa de su grado de sustentabilidad y los rubros en los que pudiese tener más oportunidades de mejora.

Parte I

Capítulo 1 - 5

Capítulo 1

ANTECEDENTES

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Confort Higrotérmico

Hoy en día se apuesta por la construcción en serie de viviendas, con el uso de materiales prefabricados y económicos. Diversos desarrollos habitacionales optan por esta idea, sin tomar en cuenta los inconvenientes de este tipo de construcciones, ya que los materiales de construcción se utilizan indistintamente en las diferentes regiones del país, ocasionando contrastes y temperaturas extremas en el interior de la vivienda. Este tipo de análisis dentro y fuera de la vivienda se hacen con la finalidad de observar aislamiento térmico producido por los materiales de construcción [1,2,3,4].

Cuando se habla de confort térmico se tiene que tomar en cuenta un segundo factor, la humedad relativa (HR), ya que la HR puede influir en el comportamiento térmico interior, una generalidad que se sigue es: a temperaturas altas se tienen humedades relativas bajas y viceversa, esto se da en climas no extremos. Una serie de estudios se han hecho para ligar estos dos factores, con los materiales de construcción y el ambiente externo. [5,6,7].

1.2 Importancia del estudio de simulaciones térmicas

Una buena opción antes de edificar una construcción, es hacer una simulación térmica de los materiales empleados o accesibles en el sitio para saber o darse una idea del posible confort térmico. Y saber de esta forma, la viabilidad de la construcción con los materiales propuestos, en el sitio con condiciones ambientales conocidas. Se han hecho este tipo de simulaciones térmicas, prediciendo temperaturas internas en una vivienda, conociendo el comportamiento externo [8,9,10].

Se propone hacer énfasis en el estudio térmico al realizar la caracterización diferencial y volumétrica de la conductividad térmica. Esto es, propone hacer un escaneo directo de la obra en sus varias etapas de construcción a través de un dispositivo de gran sensibilidad (ViuScan)

que se transferirá a un programa de modelado geométrico (CAD) donde se ensamblara, pasando posteriormente a un programa de simulación multi-paramétrica (Comsol).

COMSOL ofrece un modelado muy completo de sistemas, geometrías, estructuras, acoplando diferentes fenómenos físicos lo que permite una mejor presentación de sistemas reales. Consta de cuatro etapas: a) despliegue de la geometría, b) elección del mado de elemento finito, c) elección de parámetros físicos del sistema, d) solución de ecuaciones. El resultado es usualmente la presentación de la evolución de los sistemas en los fenómenos de interés, con los parámetros y materiales elegidos. De esta forma, se llega a presentar imágenes con gradientes de las variables de interés en las diferentes regiones de la geometría con la posibilidad de la edición de video que presenta la evolución temporal del sistema en el o los fenómenos estudiados.

COMSOL es utilizado para modelado de sistemas, energías alternas, biotecnología, micromecánica, nanotecnología, optoelectrónica, entre otras áreas [11]. Algunas ventajas del modelado por COMSOL son: A) es un software que modela fenómenos simultáneos a través de las ecuaciones diferenciales que los rigen, trabajando en un ambiente bidimensionales que facilitan el manejo simplificado del sistema de estudio y que posteriormente puede extrairse para convertirlos en representaciones tridimensionales. B) Es compatible con otros software, como el CAD y MATLAB. C) La subdivisión en módulos y los varios ejemplos de problemas permiten abordar primero de manera simplificada el sistema de estudio y desarrollarlo en uno de los módulos y si así se desea, llevarlo a un mayor refinamiento acoplándolo con alguno de los otros módulos [12].

1.3 Metodologías de evaluación del nivel o grado de sustentabilidad de viviendas

La parte de sustentabilidad se evaluará con la metodología LEED, la cual surge en 1994 y su primera publicación oficial se da en 1998. Es un sistema de clasificación desarrollado por el U. S. Green Building Council (USGBC) para definir y medir lo que debe calificarse como un "edificio verde". LEED busca ser líder en energía y diseño ambiental. LEED tiene cuatro diferentes niveles de calificación, y van desde una puntuación límite de certificación hasta una puntuación muy elevada denotada como nivel platino.

La puntuación requerida para alcanzar un nivel Certificado es de 26 a 32 puntos, para un nivel Plata se necesitan de 33 a 38 puntos, para el nivel oro es requerida la puntuación de 39 a 51 puntos y para el máximo nivel es de 52 a 69 puntos, alcanzando el nivel Platino. [13]

A la puntuación anteriormente mencionada se llega mediante una lista de revisión la cual incluye variantes y especificaciones de los cinco criterios a evaluar. Dentro del criterio de materiales de construcción El primer punto a evaluar habla de material de reciclado, LEED da puntuación dependiendo del peso en porcentaje que contenga la construcción. El segundo punto habla de materiales de la región, LEED da determinada puntuación si los materiales de construcción se fabrican (el montaje final) en la región a menos de 500 millas del sitio del proyecto. Materiales rápidamente renovables es el tercer seguimiento de evaluación, y menciona que LEED da cierta puntuación dependiendo del porcentaje total, en base al costo, de todos los materiales de construcción utilizados, si son derivados de plantas que se cosechan en un ciclo de diez años o menos. Los últimos dos criterios son materiales de baja emisión y certificado de la madera como material, los cuales deben cumplir de igual manera requisitos necesarios para obtener una puntuación. Esto solo por mencionar la parte de materiales de construcción, los otros cuatro criterios tienen de igual manera diversos puntos de evaluación [14].

En México se cuenta con otras metodologías de evaluación de sustentabilidad, las cuales son muy poco flexibles y ambiguas, les falta mucha información y su metodología de puntuación es subjetiva y poco fundamentada. Por ejemplo, el Programa de Certificación para Edificios Sustentables (PCES) se basa en la evaluación de los siguientes rubros: energía, calidad de vida y responsabilidad social, agua, residuos sólidos e impacto ambiental. Después muestran un desglose de cada rubro. Para poder hacer la cuantificación de sustentabilidad de cada apartado, se tiene que cumplir con la legislación vigente en materia correspondiente a cada rubro, de cumplir se procede a la evaluación propuesta. Esta metodología muestra tres niveles de certificación: cumplimiento, eficiencia, excelencia. Los intervalos de puntuación: 21 a 50 puntos, 51 a 80 puntos y 81 a 100 puntos respectivamente [15].

El instituto Mexicano del Edificio Sustentable (IMES) desarrollo el Método de Evaluación de Edificaciones Sustentables (MEES®), esta cuenta con diez categorías. MEES es un

reconocimiento a las mejores prácticas de construcción empleando un sistema de certificación sustentable el principal objetivo del IMES es ofrecer una metodología medible, creíble y adecuada acorde al sistema económico existente [16].

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 La construcción a través de la historia

Desde tiempos remotos nuestros antepasados tuvieron la necesidad de refugiarse en cuevas, para protegerse del interperismo ambiental y los peligros que en ese tiempo asechaban. Es bien sabido que la construcción es la solución a la necesidad de resguardo del hombre, que ha sabido proveerse desde el *homo erectus* hace aproximadamente medio millón de años [17].

El uso de fibras naturales en los materiales de construcción apareció en muchas culturas, siendo en la época precolombina ya empleadas por culturas mesoamericanas. El uso de fibras naturales aparece en las construcciones egipcias, precolombinas y asiáticas. El uso de mortero y estuco en construcción también se remonta a la antigüedad y su estudio es un tema actual [18]. El continente Africano se ha caracterizado por casas de paja, esto debido a que es lo que tienen los aborígenes a su disposición, y les funciona de tal manera que a la fecha se utilizan de manera satisfactoria [19]. En la zona amazónica predominan las viviendas de bambú y a cierta altura del piso, esto con la intención de protegerse de los desbordes de agua de los ríos aledaños al sitio de construcción. Cabe destacar que el bambú es característico de zonas tropicales, como lo es la región amazónica [20]. En la edad antigua se acostumbraba el uso de piedra en la construcción, desde pequeñas casas hasta grandes edificaciones, como los castillos ingleses. De tiempos más recientes tenemos la construcción con adobe, el cual se utiliza en la actualidad pero data del siglo VI antes de Cristo cuando este se empezó a utilizar. Este tipo material es considerado antisísmico [21].

La **Figura 1** nos muestra distintos tipos de diseño de viviendas construidos con diferentes materiales. Acorde a la zona es el uso vernáculo que se ha venido dando a los materiales de construcción. Desde los inicios de la humanidad donde nuestros antepasados de resguardaban en cuevas. Las casas típicas de bambú de la zona amazónica son otro ejemplo de construcción vernácula. Del norte de América podemos mencionar los tipis indios. Construcciones de piedra de diferente diseño en diferentes partes del mundo. De tiempos antiguos y a la fecha podemos mencionar el uso de adobe. La madera es otro material con excelentes propiedades

térmicas, su uso se ha proyectado como uno de los principales materiales de construcción a lo largo de la humanidad.



Figura 1. Distintos tipos de viviendas construidos a través de la historia huma.

2.2 ¿Qué es la sustentabilidad?

El termino sustentabilidad es muy amplio y se presta como tema de debate, cada persona o investigador puede tener un punto de vista diferente y aceptable. No hay una definición específica como tal de lo que es la sustentabilidad, este término está basado en diferentes marcos de valores. La sustentabilidad debe entenderse acorde al entorno sociocultural y ambiental [22].

Pearce y Turner hablan de sustentabilidad “débil” y sustentabilidad “dura”, se denomina sustentabilidad débil cuando se trata de sustentabilidad ambiental o sustentabilidad económica cuando se manejan por separado, y sustentabilidad dura cuando se manejan los términos anteriormente mencionados en conjunto [23].

Algunas definiciones de sustentabilidad se manejan a continuación:

1. Lynam and Herdt: “...la capacidad de un sistema para mantener la producción en un nivel aproximadamente igual o superior a su promedio histórico, con la aproximación determinada por el nivel histórico de variabilidad” [24].

2. Pearce and Turner “...maximizar los beneficios netos del desarrollo económico, sin perjuicio de mantener los servicios y la calidad de los recursos naturales a través del tiempo” [25].

3. Fresco and Kroonenberg “...La sustentabilidad de los ecosistemas naturales puede definirse como el equilibrio dinámico entre las entradas y salidas naturales, modificado por los acontecimientos externos, tales como cambio climático y los desastres naturales” [26].

Las definiciones anteriores son tan solo algunas de la amplia gama que tiene el termino sustentabilidad, entendido el concepto de sustentabilidad podemos hablar ahora del desarrollo sustentable, lo podemos entender con dos definiciones básicas pero no únicas. La primera definición propuesta por la WCED desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades y aspiraciones [27]. También podemos entender desarrollo sustentable como el desarrollo que mejora la calidad de la vida humana, mientras no sobrepasemos la capacidad de carga del ecosistema según la IUNC [28].

Según Mayaigotia “la vivienda sustentable es aquella que, en busca del equilibrio económico, social y ambiental, ofrece construcciones de alto rendimiento, reduce los impactos negativos en el medio ambiente y mejora la salud humana con un enfoque integral que incluye el diseño, la construcción, el uso y mantenimiento, e incluso el reúso y la demolición” [29].

2.3 Indicadores de sustentabilidad

Se entiende por indicador un instrumento que sirve para connotar alguna dimensión o magnitud, hay indicadores de todo tipo, como lo son los indicadores biofísicos, sociales, económicos y políticos. Las escalas a las que se manejan tales indicadores son: global, nacional, regional, urbana y comunitaria [30]. Según Quiroga “ Un indicador es más que una estadística, es una variable que en función del valor que asume en determinado momento, despliega significados que no son aparentes inmediatamente, y que los usuarios decodificarán más allá de lo que muestran directamente, porque existe un constructor cultural y de significado social que se asocia al mismo” [31].

Entendiendo el significado de un indicador podemos hablar ahora de indicadores ambientales los cuales pueden ser cualitativos o cuantitativos. Se pueden hacer ajustes a metodologías para evaluación de sustentabilidad acorde al tema tratado, como agricultura, ganadería, manejo de recursos naturales etc. En este caso hablaremos de indicadores de sustentabilidad en viviendas los cuales involucran por mencionar un ejemplo los materiales de construcción, los cuales varían de zona a zona. Debido a esto no se cuenta con indicadores específicos y tiene que ser adaptables a la región o construcción evaluada. Un indicador apropiado para un sistema puede ser inapropiado para otro, por esta razón los indicadores no son de uso universal[32]. En este trabajo se proponen una serie de indicadores de sustentabilidad para vivienda, con un enfoque particularizado a vivienda del tipo casa habitación.

2.4 Términos ligados a la vivienda sustentable

En la actualidad, mucho es lo que se ha realizado alrededor del tema de “Casa Ecológica” y sus múltiples sinónimos. Hay un gran número de conceptos de uso ya cotidiano, tales como: Energías renovables [33-36], Earthships [37], casa autónoma, casa solar pasiva [38], casa de

energía cero [39], casa verde o arquitectura verde o casa ecológica [40-49], construcción sustentable [50-56], tejados de sistemas verdes [57-65], arquitectura del paisaje y xeroscaping, bioclimática [66], etc. La casa solar pasiva [38] tiene como propósito mantener el confort térmico interno a través del ciclo solar diario y anual mientras que reduce las necesidades de aire acondicionado (calentamiento y enfriamiento). El diseño de ésta es tan solo parte de la casa verde y no incluye sistemas activos como ventilación mecánica o fotovoltaica, además del análisis del ciclo de vida. Una casa ecológica [40-49] agrupa una vasta gama de prácticas y técnicas para reducir los impactos de construcción en el medio ambiente y el ser humano. Frecuentemente enfatiza el uso de energías renovables, por ejemplo, uso de la energía solar a través de técnicas fotovoltaicas, solares pasivas o activas.

Una casa ecológica efectiva, más allá de ser una colección de tecnologías amigables con el medio ambiente, requiere de cuidadosa y sistemática atención a los impactos del ciclo de vida de los recursos, incluyendo en esto de forma remarcada el recurso de agua [67], su consumo y emisión de contaminantes. Varias son las desventajas en emprender este tipo de construcción. En primer término, al no hacerse en gran número, su costo puede llegar a ser considerable. Se debe tomar en cuenta el clima y la ubicación. Las técnicas solares pasivas, sistemas de escusado alternativo y drenaje, diseños de materiales térmicos, manejo del agua, ventanas eficientes, y un conjunto de otras tácticas de diseño requieren cierto grado de construcción no estándar, lo cual agrega costos, experimentación continua y mantenimiento, y también entra en juego la psicología del entorno que se habita.

2.5 Materiales Verdes

Hay varios pasos cruciales en diseñar una construcción sustentable: Materiales de construcción “verdes” de fuentes locales, reducción de peso, optimización de sistemas, diseño de vivienda, metodología de construcción, acabados, decoración interior y muebles, suministro de energía (posiblemente generación in situ con energías renovables), agua (insumo, consumo y disposición), residuos (disposición o reutilización).

Los materiales de construcción verdes [68-73] comprenden sobre todo aquellos, susceptibles de ser empleado con tal propósito, que se encuentran disponibles o pueden ser producidos en cantidad suficiente en la localidad. Una parte importante de ellos podrían caer en la

clasificación de materiales de reciclaje, los cuales incluyen a los previamente usados para construcción o de diversos otros usos. Un tema importante tanto para materiales de construcción naturales o convencionales como para aquellos “ecológicos” o “verdes” es su grado de emisión una vez empleados en la construcción. Un ejemplo de ello fue el caso de asbestos y el uso de materiales con arsénico o formaldehído.

Desde la antigüedad se han empleado algunos materiales de los que ahora se denominan “verdes”. El uso de adobe [74-76] y estuco [77,78], es un claro ejemplo de ello. El adobe es un elemento de construcción ampliamente utilizado tanto en la antigüedad como aún hoy en día [79,80]. Para situaciones en estado de no-equilibrio – como en nuestra atmósfera siempre cambiante – la capacidad equipara al aislamiento. Pero el aislamiento no sigue a la capacidad. Lo que esto significa es que el adobe es una muy buena masa térmica, pero un pobre aislante. El adobe no es un buen aislante, comprendido este como que no entre ni salga calor, en cambio conservará por más tiempo el calor o el frío; lo cual puede aprovecharse pero también puede ser en ocasiones contraproducente.

El adobe tiene propiedades de autorregulación en cuestión de humedad. La alta humedad del entorno, no afecta al adobe, incluso este alcanza su máxima resistencia a una humedad relativa de 60 %. Además, posee una gran capacidad de modular la humedad en el interior de una vivienda, con su habilidad de absorber humedad y devolverla conforme la atmósfera del interior de la casa se seca. Sin embargo, para el caso de lluvia y una alta humedad, se han usado muchas compuestas que van desde cal, mezclas fermentadas de abono y cactus, o agregar látex [81]. Pero en este último caso, hay que tener precaución, ya que de ser este altamente a prueba de agua que no permita transpiración, causará finalmente que grandes pedazos se desprendan. Para su uso se debe ajustar apropiadamente la razón utilizada de látex/lodo.

La construcción con pacas de paja es un método de construcción que utiliza estos bloques (normalmente de trigo, arroz, centeno y paja de avena) como elementos estructurales y/o aislamiento de edificios. Este método de construcción es comúnmente utilizado en proyectos de “Construcción Natural” o “Construcción Verde”. Las ventajas de la construcción con pacas de paja sobre los sistemas de construcción convencionales, incluye entre otros: El carácter renovable de la paja, el costo, fácil disponibilidad, y capacidad de aislamiento [82-85]. Como

desventajas se puede mencionar: La dificultad en el diseño a prueba de vientos fuertes, la susceptibilidad a la pudrición, el potencial peligro de inflamabilidad y altos requerimientos de espacio para la propia paja.

Alternativamente, la construcción con pacas puede tener un marco estructural de otros materiales, generalmente de madera o de triplay, con las pacas simplemente actuando como sustrato para aislamiento y aplanado con yeso, (técnica de "relleno" o "no - carga"), lo cual es más frecuentemente requerido en climas de regiones del norte o del este de Estados Unidos. PETEn las regiones del norte, el potencial de carga de la nieve puede superar la resistencia de los muros de pacas. En climas húmedos, el imperativo de aplicar un acabado permeable a vapor impide el uso de estucos a base de cemento, comúnmente usados en las paredes de carga con pacas de paja. Además, la inclusión de un esqueleto de madera o metal permite la construcción de un techo antes de la colocación de las pacas, que puede proteger la pared de pacas durante la construcción, cuando es más vulnerable al daño por agua, exceptuando en los climas áridos. Una combinación de técnicas de enmarcado y de carga también puede ser empleado, conocido como construcción con pacas de paja “híbrida” [86].

La construcción con rocas es una técnica antigua, que se ha cambiado por el uso de materiales convencionales, o se utiliza aun en la construcción de haciendas o construcciones rústicas. La roca como tal, tiene buenas propiedades aislantes y excelentes propiedades mecánicas, y si a esto se aumenta la construcción de viviendas con rocas del sitio, se pueden tener edificaciones con aspectos sustentables. [92]

Hoy en día una opción convencional de construcción son las botellas de Polietilentereftalato (PET) el cual es ampliamente usado en la industria, sobre todo en la comercialización de bebidas carbonatadas y productos embotellados con agua natural, jugos, etc. Y es un residuo generado en grandes volúmenes. Se ha dado diversos usos a este residuo como construcción de regaderas de pasto ecológicas, también estas botellas han sido utilizadas como maceteros y en la construcción de viviendas se empieza a utilizar este residuo en diferentes formas. El uso de PET en la construcción ha sido más usado en forma de fibras de PET [87,88,89] que utilizando la botella completa. En el año del 2010 se generaron 5.350 billones de libras de botellas y taros de PET [90].

La botella de PET utilizada en la construcción debe ser rellena de algún material con buenas propiedades, las propiedades mecánicas de la botella se ven afectadas por el tamaño de las partículas de llenado, así como sus características. Las cenizas volantes productos de desecho en termoeléctricas cumplen con los requisitos de material de llenado, además que son económicas y su uso reduce impactos negativos al medio ambiente. Este tipo de residuos se han utilizado en la construcción pero con un enfoque diferente, siendo estas agregadas directamente al mortero en relaciones diferentes [91].

Capítulo 3

ETAPA

EXPERIMENTAL

PÍTULO 3

ETAPA EXPERIMENTAL

3.1 Pruebas mecánicas de botellas de PET

La prueba se realizó usando una Máquina universal Galdabini tipo 2, 50 toneladas. Las pruebas fueron realizadas con botellas de diferente material de relleno: a) Botellas de PET vacías, b) Botellas de PET rellenas de arena del sitio, c) Botellas de PET rellenas de arena del sitio y saturada con agua, d) Botellas de PET rellenas de tezontle y arena, e) Botellas de PET rellenas de grava y arena, f) Botellas de PET rellenas de cenizas volantes.

Las pruebas se realizaron con las botellas cerradas y se fue aplicando paulatinamente presión sobre las botellas, a la velocidad de 2.5 mm/min, tomando como registro final el valor donde la botella se revienta.

Las pruebas se realizaron tanto de manera horizontal como vertical. Cabe destacar que las pruebas verticales tuvieron dos deformaciones importantes, en la primer deformación se sumía el cuello de botella, y en la segunda se reventaba el embase.

3.2 Construcción de block a base de botellas de PET

- a) Se utilizaron botellas de PET de 600 mL. Se empleó malla de alambre galvanizado con la finalidad de cumplir tentativamente con dos objetivos: 1) actuar como un material confinante para las botellas de plástico, y 2) fungir como refuerzo del mortero y contribuir a mejorar las propiedades mecánicas del conjunto.
- b) Se fabricó un mortero cemento-cal-arena en proporción volumétrica 1 : 0.5 : 4, con alta fluidez con la finalidad de vaciar fácilmente el mortero y cubrir correctamente los espacios entre las botellas y el molde para evitar al máximo la presencia de huecos.
- c) De acuerdo a la forma y dimensiones que presentan este tipo de botellas, se consideró acomodarlas de una manera tal que se limitara un desacomodo de las mismas al ser embebidas por el mortero. Se procedió a colocar el mortero dentro del molde, en el que previamente se habían alojado las botellas con la malla y se dejó curar por 15 días.
- d) Se procedió al desmolde de la pieza.

3.3 Pruebas de resistencia en blocks

La prueba realizada en los blocks es la misma que para la prueba de las botellas de PET, la única diferencia es que se aplica al block construido de la forma anteriormente mencionada. Se realizaron pruebas a manera horizontal y vertical del block. Para realizar la prueba de resistencia a la compresión de los blocks se tuvo la precaución de colocar material que nivelara ambas caras de la pieza a ensayar. Cabe destacar que para estas pruebas se omitió el uso de la tela de gallinero, debido a que esto dificulta el proceso de autoconstrucción.

3.4 Medición de conductividad térmica en blocks

Para realizar esta prueba se hicieron probetas o blocks de un tamaño específico, las dimensiones son: 30 cm de largo x 30 cm ancho, y un espesor 8.5 cm. La medición se lleva a cabo por el método de Placa Caliente. El aparato utilizado consiste en una fuente caliente constituida por una placa calefactora que comprende la parte central. En los extremos se tienen dos placas frías, estas placas se encuentran en un cajón aislado del medio exterior. El aparato fue construido en base a la norma **ASTM C 177-85** [93] de igual manera la medición se llevó a cabo acorde a la norma mencionada.

3.5 Evaluación del comportamiento de materiales con la ayuda de la medición de parámetros internos y externos.

3.5.1) Internos:

La medición de temperatura y humedad se llevó a cabo con sensores de la marca “Thermotracker”, un sensor interno instalado al interior del prototipo y un sensor de referencia situado en la zona aledaña del prototipo. La única restricción que se tuvo fue que no les diera directamente la radiación solar a ninguno de los sensores, ya que esto altera los resultados. Se tomaron registros de un ciclo anual y se interpretaron posteriormente los resultados con la ayuda del software Thermotracker Pro.

3.5.2) Externos:

3.5.2.1) Con la ayuda de la cámara termográfica PCE-TC 3, se tomaron imágenes termográficas, las cuales muestran contrastes de temperatura y el comportamiento de los materiales utilizados. Las termografías nos muestran las

temperaturas máximas alcanzadas exteriormente en muros. Estas se tomaron en las horas pico de concentración de calor, esto es entre 12:00 pm y 3:00 pm.

3.5.2.1) Humedad absoluta en superficie, el estudio se llevó a cabo con la ayuda del medidor de humedad absoluta, de la marca PCE, modelo WP21 MA RCA PCE Group. Se tomaron mediciones en los muros externos el prototipo, partes altas, bajas centrales y laterales, con una distancia de 50 cm entre cada medición.

3.6 Simulación del comportamiento de los prototipos de vivienda

La simulación se hace con la ayuda del software COMSOL Multiphysics versión 3.5 utilizando el módulo de transferencia de calor. Los pasos a seguir se mencionan a continuación:

- a. Se Importar la estructura deseada con extensión compatible con el software o bien dibujar la estructura que se quiere simular.
- b. Se especifican las condiciones de cada subdominio, del prototipo a evaluar, en este caso de: las paredes, las ventanas, las puertas, el techo y el cimiento. En la Tabla 1 (a). Se muestran tales condiciones.
- c. Se fijan las condiciones frontera y las condiciones iniciales del total de la estructura, seccionando las partes de la casa si es necesario para fijar condiciones diferentes. Las especificaciones se muestran en la Tabla 1 (b).
- d. Se fija la temperatura ambiente de la zona y la radiación promedio.
- e. Se resuelve el sistema simulado.

Para llevar a cabo las simulaciones fue necesario completar información que no tenía la base de datos del programa.

Capítulo 4

DESCRIPCIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES EVALUADAS

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES EVALUADAS

4.1 Prototipo de PET

El prototipo fue construido en CIDETEQ S.C. las coordenadas del sitio son: [+20°29'26.78'', -100°13'19.98'']. Está construido a base de botellas de PET. Los cimientos fueron contruidos de manera convencional. Se utilizaron botellas de PET rellenas de tierra del sitio a forma de ladrillos, estas botellas tuvieron un acomodo horizontal en la construcción, se aplicó mortero y cemento para apilar las mismas. Después se enjarraron de forma tradicional y se les dio un acabado con marmolina.

En la parte superior se colocaron laminas galvanizadas con la finalidad de acondicionar un techo verde sobre la misma, después de las capa de lamina se utilizaron los materiales de residuo de la construcción, como cartón de los bultos de material, botellas de PET vacías y abiertas, y bolsas de plástico, y finalmente se colocó en la parte superior tierra del sitio, esta tierra provenía de los cimientos escarbados.

Los muros tienen un grosor de 33 cm, las dimensiones de la construcción son de 3m de ancho x 3m de largo. Dando una altura interna de 2.45 m y una altura externa de 3.15 m. En su parte frontal derecha cuenta con una ventana 83 cm de alto x 93 cm de largo. Del lado frontal izquierdo tiene una puerta de 2.14 m de alto x 60.5 cm de ancho. Cuenta el prototipo con tres hileras de tragaluces situados a una altura de 1.95 m, estos tragaluces están situados en la parte izquierda, trasera y derecha de la construcción. La característica de los tragaluces es que son botellas de vidrio, producto de reciclaje, tienen un espesor de 7 cm.

En el caso del PET su reciclaje involucra la mezcla con materiales puros, ya que las cadenas poliméricas de este se fraccionan en el proceso de reciclaje siendo necesaria la mezcla con PET puro. El hecho de mezclar PET y fundirlo de nuevo, involucra un gasto energético que conlleva a un gasto económico, para evitar esta problemática se decidió usar la botella de PET entera [94]. En la **Figura 2** podemos observar el prototipo de PET en sus diferentes vistas.

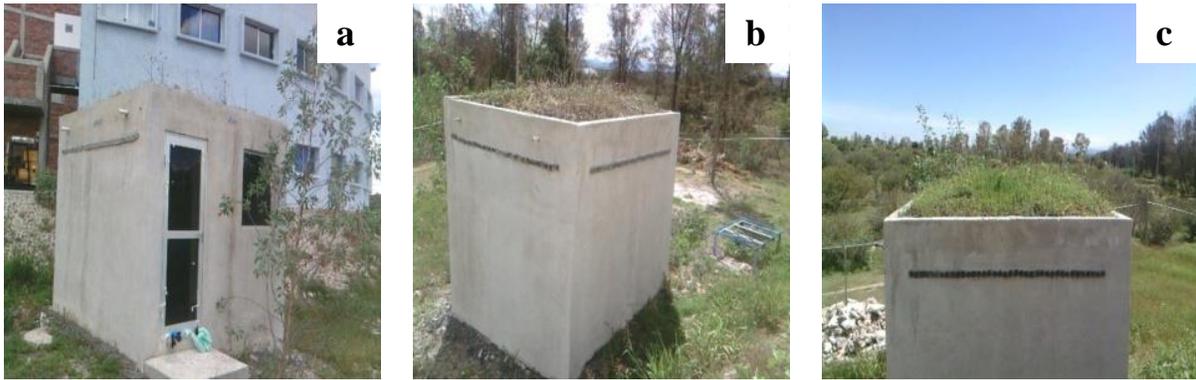


Figura 2. Prototipo de PET en sus diferentes vistas. (a) Vista frontal y lado izquierdo, (b) Vista trasera y lado derecho, (c) vista del techo.

4.2 Prototipo de Adobe

La construcción de adobe se realizó en CINVESTAV Qro. las coordenadas del lugar son las siguientes: $[+20^{\circ}43' 36.98'', -100^{\circ}20'11.36'']$. El adobe utilizado tiene características diferentes ya que fue reforzado con resinas poliméricas. La conductividad térmica de este material es alrededor de $0.6 \text{ W/m } ^{\circ}\text{C}$ y los blocks utilizados tienen una resistencia de 47.54 kg/cm^2 . Las dimensiones de la vivienda son las siguientes: Altura 3.13 metros, frente de la construcción 3.30 metros y largo 3.75 metros.

Los blocks utilizados tienen una dimensión de 35.5 de largo, 23.5 de ancho y 10 cm de alto. Tiene una ventana frontal ubicada del lado izquierdo de 52 cm x 115 cm. También hay otra ventana en la parte lateral derecha de la construcción que mide 95 cm x 142 cm. La puerta es de metal en la parte inferior y vidrio en la parte superior y mide 93 cm de ancho x 2.13m de alto. La construcción cuenta con una cúpula de ladrillo en la parte central. La parte superior fue construida con base de adobe al igual que el resto de la edificación. La **Figura 3** nos muestra como luce el prototipo de adobe, se tomaron fotografías de la vista frontal y vista lateral derecha.



Figura 3. Fotografías del prototipo de adobe a) Vista frontal, b) Vista lateral

4.3 Vivienda de Piedra

La vivienda está ubicada en las siguientes coordenadas $+20^{\circ}35'20.26''$, $-100^{\circ}24'56.15''$, es una vivienda construida a base de piedra, la piedra fue extraída del monolito que lleva por nombre “Peña de Bernal”. Es una vivienda de dos plantas, la altura de techo es de 2.40 metros. El ancho de los muros es de 40 cm en todos los muros. Cabe destacar que la piedra es también utilizada al interior de la casa, no sólo en la fachada. Las puertas y ventanas son de madera. El techo fue construido a base de cemento. La **Figura 4.** Nos muestra el tipo de piedra utilizado en la construcción y podemos apreciar en la misma imagen la fachada de la vivienda.



Figura 4. Fachada de la vivienda construida a base de piedras de la Peña de Bernal.

4.4 Prototipo de piedra

Esta construcción está ubicada en la comunidad de la barranca, en el municipio de Pinal de Amoles donde predominan temperaturas bajas y humedades altas. Las coordenadas del sitio son $+21^{\circ} 8' 42.01''$, $-99^{\circ} 38' 52.81''$ La construcción es de piedra endémica y en ancho de sus muros son de 55 cm. La altura del techo es de 1.87 m. El frente de la casa mide 4 m y el largo es de 5.4 m. Cuenta la construcción con un tapanco, utilizado como bodega. La altura del tapanco al techo es de 1.5 metros dando una altura total de 2.37 m. El techo está construido por dos capas, la primer capa tiene un material llamado tableta y la segunda capa es lámina galvanizada. El uso de lamina galvanizada en esta construcción se dio por que las personas del lugar tiene prohibido el uso de productos maderables. La **Figura 5** nos muestra las diferentes vistas del prototipo de piedra.



Figura 5. Prototipo de piedra laja. a) Vista frontal, b) Vista trasera, c) Vista superior del techo.

4.5 Prototipo de Carrizo y Paja

Esta construcción se encuentra en la Sierra Gorda de Querétaro, a la entrada del municipio de Jalpan, las coordenadas del sitio son las siguientes: $+21^{\circ} 11' 51.18''$, $-99^{\circ} 29' 54.65''$. Cabe destacar que es un lugar donde predomina el clima selvático, con altas temperaturas y humedades elevadas a la vez. La construcción fue hecha con varas de carrizo de un grosor entre 3.5 y 4.5 cm de diámetro. Las dimensiones de la casa son de 3m de ancho por 3.5 m de largo. Tiene una altura de 1.80 m al tapanco y del tapanco al techo son 1.20 metros, dando un total de 3 metros de alto. Las fotografías de la vivienda se muestran en la **Figura 6**, donde

podemos ver en la **Figura 6 a)** la vista frontal de la vivienda mientras que en el apartado **Figura b)** observamos el techo de paja, vista interna.

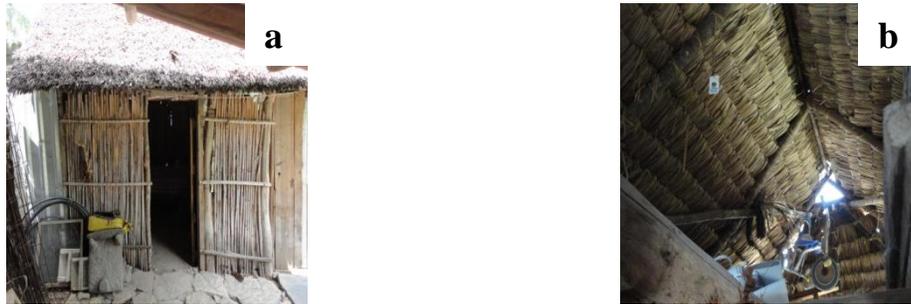


Figura 6. Construcción de carrizo y paja. a) Vista frontal, b) Vista interna del techo.

4.6 Vivienda Convencional

La vivienda está ubicada en la zona centro de Querétaro, a unas cuadas de la vivienda de piedra. Sus coordenadas son $+20^{\circ}35'20.23''$, $-100^{\circ}24'56.19''$. Se evaluó una vivienda construida a base de materiales convencionales, como lo son el tabique rojo y el cemento. Esta vivienda tiene una altura de 3 m y es de una sola planta. Cuenta con 120 m^2 de construcción. Las fotografías de la casa se muestran en la **Figura 7**.



Figura 7. Vivienda convencional. a) Vista de fachada, b) Vista interna

Capítulo 5

CARACTERIZACIÓN

MECÁNICA Y

TÉRMICA DE

BOTELLAS Y

BLOCKS DE PET

CAPÍTULO 5

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y TÉRMICA DE BOTELLAS Y BLOCKS DE PET

5.1 Compresión de botellas de PET

Los resultados de las compresiones realizadas con diferentes materiales de llenado de la botella PET se muestran en la **Tabla I**.

Tabla I. Carga máxima soportada por una botella sometida a compresión.

Material de relleno	Compresión máxima (kg)	
	Posición vertical	Posición Horizontal
Con aire	25*	45
	65	
Arena seca	200*	6405
	1220	
Arena mojada	170*	8910
	900	
Arena-Grava	240*	5820
	990	
Arena-Tezontle	230*	4410
	1420	
Ceniza Volante	150*	10220
	1150	

* Deformación del cuello de botella

La **Figura 8** nos muestra de manera general la forma de compresión de las botellas de PET. Podemos apreciar su forma de compactación tanto horizontal como vertical, y el tipo de fallas que la compresión provoca en estas.



Figura 8. Forma general de compactación y aparición de falla típicas: a) Botella en forma horizontal antes de la prueba de compresión, b) Botella en forma horizontal después de la prueba de compresión, c) Botella en forma vertical antes de la prueba de compresión, d) Botella en forma vertical después de la prueba de compresión

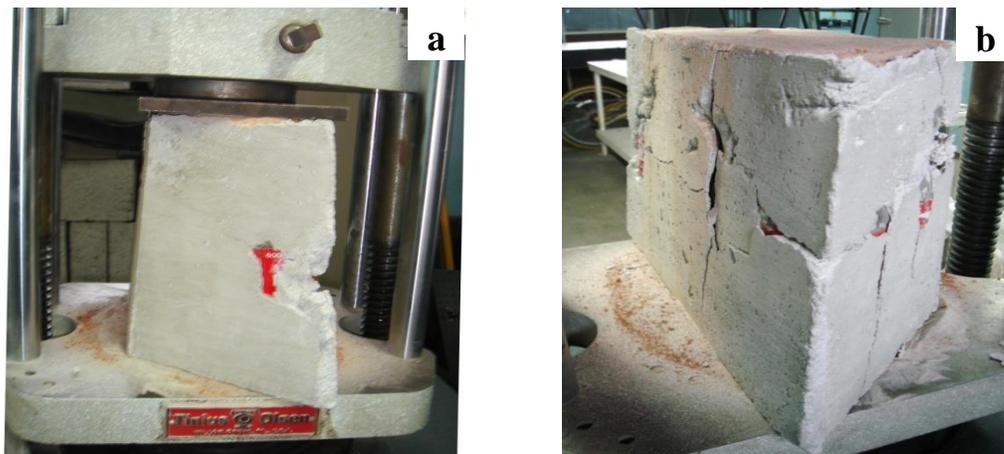
Podemos apreciar en la **Tabla 1** que las botellas muestran una mayor resistencia a la compresión en forma horizontal, independientemente del material de relleno que se utilice. Podemos apreciar en la **Figura 8d** que el punto endeble de las botellas en acomodo vertical es el cuello de botella, es la parte más frágil y maleable, esto se debe a que esta parte de la botella es más delgada que el resto. La fuerza aplicada se distribuye bajo el mismo punto de resistencia (a manera vertical) mientras que en el acomodo horizontal de la compactación, se distribuye de mejor manera la fuerza de compresión. Durante las pruebas se observó en las mediciones hechas en forma vertical un dato interesante, mostraba una primera cifra de deformación, la cual se debe al hundimiento del cuello de botella. La segunda cifra mostrada en la tabla nos indica los kilogramos que aguantó la botella justo antes de ser reventada. El

mejor resultado mostrado en las pruebas verticales es la combinación arena-grava. Las pruebas horizontales indican que el mejor material de relleno son las cenizas volantes. Esto lo atribuimos a la forma molecular de dicho residuo, ya que sus moléculas son esferas perfectas, las cuales presentan un acomodo perfecto en la botella de PET.

5.2 Resistencia de los blocks de PET- Cemento

La compresión en blocks arrojó resultados interesantes. En la superficie total de prueba la resistencia alcanzada fue de aproximadamente una tonelada y media, cuando el esfuerzo es aplicado con las botellas en posición vertical, y aproximadamente tres toneladas con ellas en posición horizontal. Hay limitantes en el uso de blocks a base de botellas PET y concreto, en los puntos de unión de las botellas el block demuestra baja resistencia. Esto origina la aparición de fallas, a bajas cargas, ya que siempre hay sitios débiles con poco concreto que fracturan las piezas.

La **Figura 9** nos muestra las pruebas de compresión realizadas en los antes y después de la compresión



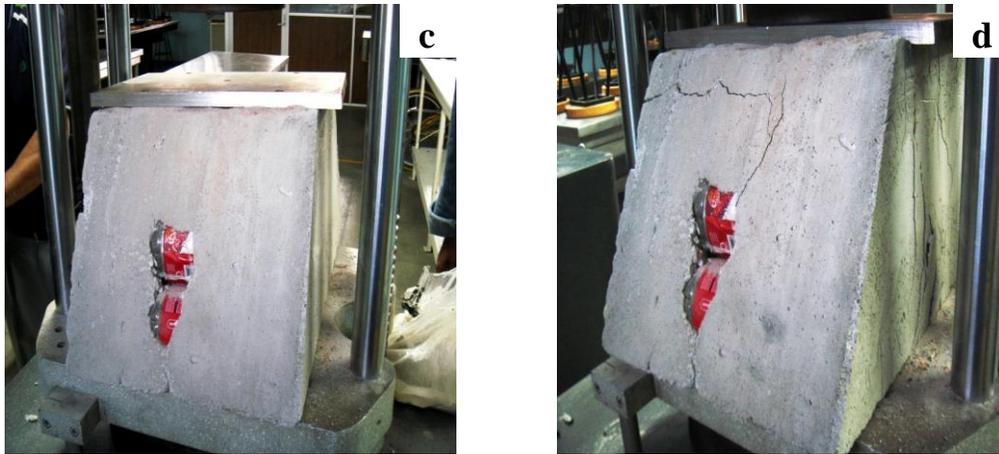


Figura 9 a) Prueba a manera horizontal antes de la compresión b) Prueba a manera horizontal después de la compresión c) Prueba a manera vertical antes de la compresión d) Prueba a manera horizontal después de la compresión.

En la **Figura 9** podemos apreciar que son de mayor número y de mayor intensidad las fracturas ocasionadas en el block expuesto a compresión vertical que las que presenta el block expuesto a manera horizontal. Lo anterior lo podemos ligar con las pruebas de compresión hechas en botellas, las cuales presentaban mayor resistencia cuando estaban expuestas de manera horizontal que de forma vertical. Lo mismo sucede con el acomodo de los blocks ya que cuando estos son colocados de manera horizontal las botellas dentro están de manera horizontal, de igual forma sucede con la verticalidad de los muros y las botellas dentro del mismo.

5.3 Conductividad térmica en blocks de PET-cemento

Medición de conductividad térmica en muros, la prueba se hizo siguiendo la metodología de placa caliente. Se llevaron a cabo dos pruebas y se obtuvieron resultados similares de conductividad térmica, los resultados se muestran en la **Tabla 2**. Se varía la cantidad de voltaje suministrado para cada prueba. La conductividad térmica promedio es de $0.3209 \text{ W/}^\circ\text{C}\cdot\text{m}$. Por tanto los muros a base de PET se consideran buenos aislantes térmicos.

Los datos necesarios para el cálculo de conductividad térmica son: diferencia de la temperatura entre ambas caras, potencia eléctrica suministrada, área de medición y el espesor de la muestra.

Se utiliza la siguiente expresión:

$$k = (e * \frac{1}{2} P) / (\Delta t * A) \quad \text{Eq. (1)}$$

donde, K = conductividad térmica del material (watt / °C *m), e = espesor de la probeta (m), P = potencia eléctrica suministrada (watts), Δt= diferencia de temperatura entre cara fría y cara caliente (°C), A= área del material, perpendicular al flujo de calor (m²).

$$\text{Aquí} \quad P = V * A \quad \text{Eq. (2)}$$

donde, V= Voltaje aplicado (volts).

Tabla 2. Medición de conductividad térmica

Muestras		Condiciones de la Prueba					Mediciones			
Prueba	Block	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Deltha X (m)	Área (m ²)	Potencia (W)	T _h (°C)	T _c (°C)	Deltha T (°C)	Conduc. Térmica (W/m°C)
1	1	8.3	0.34	0.00086	0.000169	2.822	32.570	10.320	22.25	0.32270727
	2	8.3	0.34	0.00086	0.000169	2.822	33.010	11.980	21.03	0.34142828
2	1	15.2	0.3	0.00086	0.000169	4.56	53.210	15.400	37.81	0.306859742
	2	15.2	0.3	0.00086	0.000169	4.56	51.977	14.890	37.087	0.312841882
Conductividad Térmica Promedio										0.3209

La conductividad promedio de los blocks construidos a base de PET es del orden de 0.3 W/m °C, esta cifra nos indica que tenemos un buen complejo aislante. Si esta cifra la comparamos con la conductividad térmica del adobe reforzado que está entre 0.5-0.7 W/m °C (este es considerado un buen aislante térmico), tenemos que es aun mejor aislante el complejo de PET-concreto [95].

PARTE II

Resultados y

Discusiones

Capítulo 6 - 8

Capítulo 6

MEDICIÓN DE PARÁMETROS INTERNOS Y EXTERNOS

6.1 Prototipo de PET

6.1.1 Temperatura

Se tomaron mediciones de temperatura y humedad, a lo largo de un ciclo anual (diciembre 2010-diciembre2011). Estos datos fueron registrados por los sensores cada 20 minutos, y se tomaron las mediciones de temperatura y humedad extremas diarias. Se tienen 72 mediciones de temperatura y humedad diarias. La **Figura 10** nos muestran los resultados de temperatura del medio externo e interno del prototipo de PET, a lo largo de un periodo de 3.2 días. En la **Figura 10 a)** podemos apreciar la forma en cómo se presentan los resultados de temperatura en el exterior de la construcción. Mientras que la **Figura 10 b)** observamos el comportamiento interno del prototipo. Este tipo de gráficos no están analizados con puntos máximos y mínimos diarios, por esta razón las gráficas presentan mucho ruido. Es importante destacar que para tener un buen análisis de las gráficas y datos presentados se realizó una extenuante labor de análisis de datos.

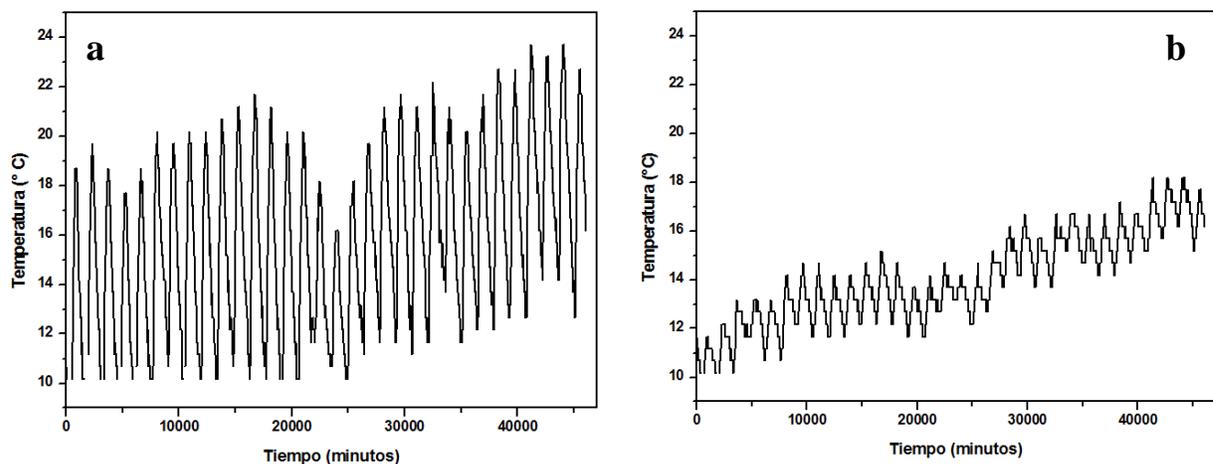


Figura 10. Gráfica de temperatura del prototipo de PET en un periodo de 3.2 días. A) Temperatura externa, b) Temperatura interna.

Las **Figura 11** nos muestra las gráfica de temperatura, la línea más oscura representa los datos interiores y la línea tenue las temperaturas registradas en la zona. Con la misma dinámica podemos observar la **Figura 2** la cual nos muestra los resultados en referentes a humedad.

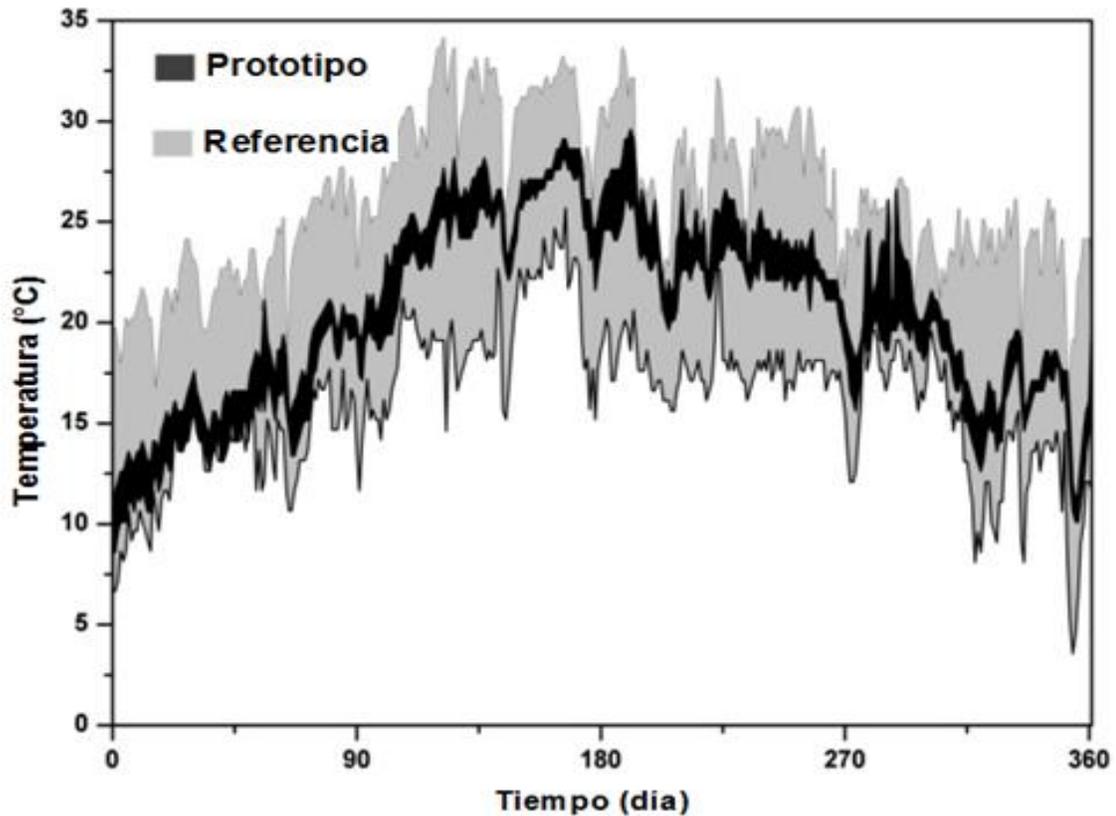


Figura 11. Gráfica anual de temperatura del prototipo de PET

El aislamiento promedio diario de temperatura del medio externo y del interior del prototipo es de 8.08 °C. En lo que refiere condiciones térmicas elevadas se tiene un aislamiento de 4.64 °C y a condiciones bajas se tiene un aislamiento promedio de 3.44 °C.

Es importante destacar el peculiar comportamiento que muestra el ambiente interno del prototipo de PET. En la **Figura 12** se muestra el comportamiento Gaussiano que presenta el prototipo de PET en un ciclo anual. La ecuación es:

$$y = y_0 + \frac{A}{w \sqrt{\frac{\pi}{2}}} e^{-2 \sqrt{\frac{x-x_c}{w}}} \quad \text{Eq. (1)}$$

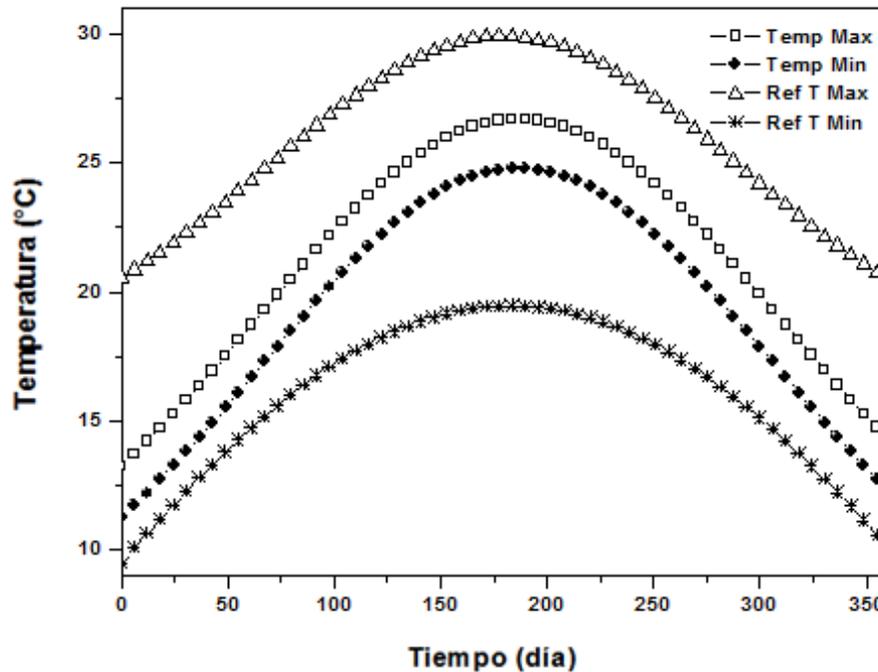


Figura 12. Gráfica del comportamiento gaussiano del prototipo de PET en un ciclo anual

Los parámetros de comportamiento gaussiano de cada gráfico se muestran en la Tabla 3. Las áreas para la temperatura máxima del prototipo P-Tmax (1) y la temperatura mínima de P-Tmin (2) fueron 7,743.8 y 7,028.1, respectivamente. Mientras tanto, el comportamiento de la temperatura de referencia máxima P-Tmax (3) y la temperatura mínima de P-Tmin (4) fueron 9,367.1 y 5,799.4, respectivamente. La comparación puede realizarse restando estas áreas como: (Zona 1 – Zona 2) = 715,7, y (Area 3 – Area 4) = 3,567.7. Entonces, la relación (1-2) / (3-4) = 0,2. Esto implica que la atenuación entre las fluctuaciones del prototipo de PET y el medio externo es alrededor de un quinto.

Tabla 3. Parámetros de comportamiento gaussiano de cada gráfico de temperatura. Donde P-Tmax representa la temperatura máxima, P-Tmin la temperatura mínima, ambas del interior del prototipo. Las temperaturas de referencia están dadas por P-Tmax temperatura máxima y la temperatura mínima de P-Tmin.

	1	2	3	4
	P-T _{max}	P-T _{min}	R-T _{min}	R-T _{min}
y ₀	7.03	5.43	17.17	-25.02
x _c	186.74	186.69	179.59	183.22
w	246.14	241.34	220.64	515.07
A	6076.7	5862.9	3528.1	28714.3
Area	7743.8	7028.1	9367.1	5799.4
Centro (días)	182.8	183.0	180.3	181.6
Altura (°C)	26.7	24.8	29.9	19.4

6.1.2 Humedad Relativa

Referente a humedad relativa se presentan una diferencia de 9.27 % de humedad a condiciones elevadas de humedad y una diferencia de 14.97 % de humedad en ambientes de menor humedad, dando un aislamiento promedio de 24.24 % de humedad.

Cabe destacar que en periodos de otoño-invierno se mantuvo la ventilación del prototipo abierta, y en primavera-verano la ventilación fue cerrada, esto con la finalidad de alcanzar resultados extremos en el ambiente interno. Si la ventilación hubiese sido de forma inversa, esperaríamos un comportamiento interno aun más estable. La **Figura 12** nos muestra en comportamiento del prototipo de PET en cuestión de humedad relativa.

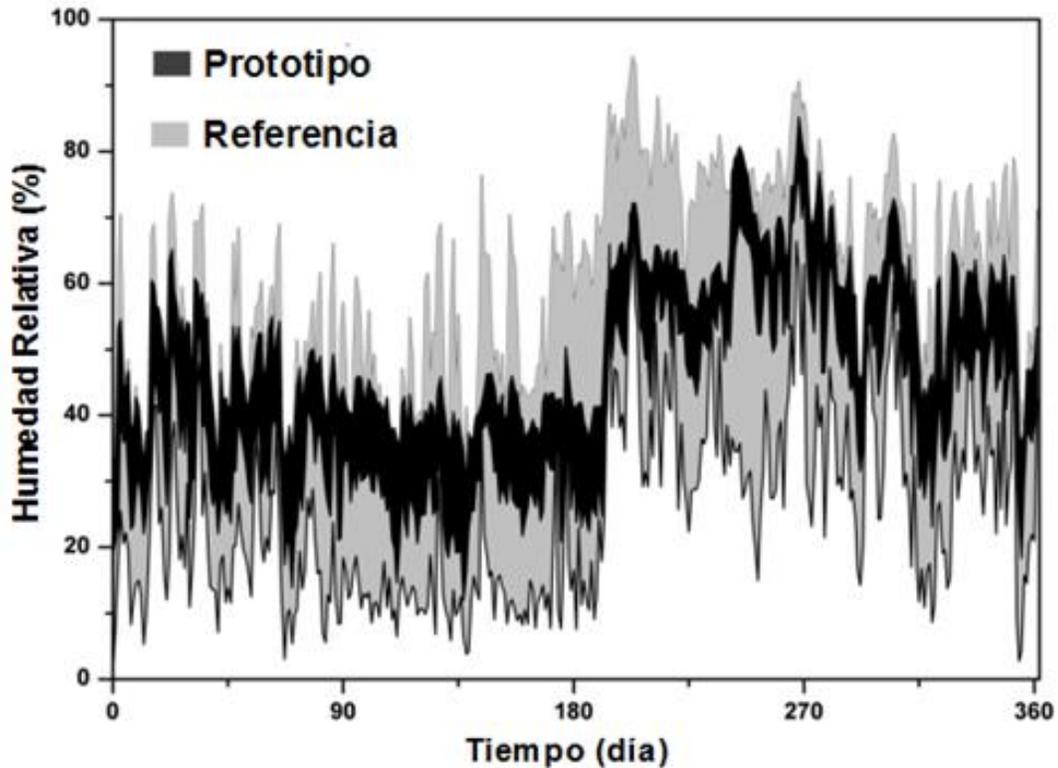


Figura 13. Gráfica anual de humedad del prototipo de PET

6.1.3 Imágenes termográficas y humedad absoluta superficial

Se tomaron imágenes termográficas y se observó un comportamiento externo estable en las diferentes zonas de este, En la **Figura 14a** se muestra una imagen termográfica del frente de la casa y de la parte izquierda de la misma, las partes más frías presentadas con colores oscuros son la ventana y los vidrios que forman parte de la puerta (los cuales tenían un recubrimiento de aluminio, para impedir la entrada directa de la radiación solar), manteniendo una temperatura en muros externos de alrededor de 47 °C. En la **Figura 14b** se muestra una imagen termográfica tomada de la parte derecha, apareciendo también la sección trasera del prototipo, y se observa una temperatura promedio también del orden de 45 °C, muy parecida a la parte frontal que recibía la mayor parte de la radiación solar. Se puede observar en esta misma imagen algunas manchas rojas y blancas que presentan las temperaturas más altas, esto se debe a la etapa de construcción, seguramente el material de la mezcla de recubrimiento es diferente en esa área. Por otra parte, el techo verde presenta una mayor temperatura, alcanzando hasta los 71°C, cabe destacar que estas temperaturas son superficiales, ya que en la parte interna del techo verde se mantuvieron temperaturas muy estables, de alrededor de 25 °C. La termografía se muestra en la **Figura 14c**. Las termografías fueron tomadas en el mes de mayo, mes muy cálido en la zona, en este mes se presentó una temperatura interna máxima de 30 °C. Con esto podemos presumir un aislamiento de al menos 15°C de muros externos e internos. Con la ayuda de la **Figura 2** podemos ubicar la forma y las partes del prototipo.

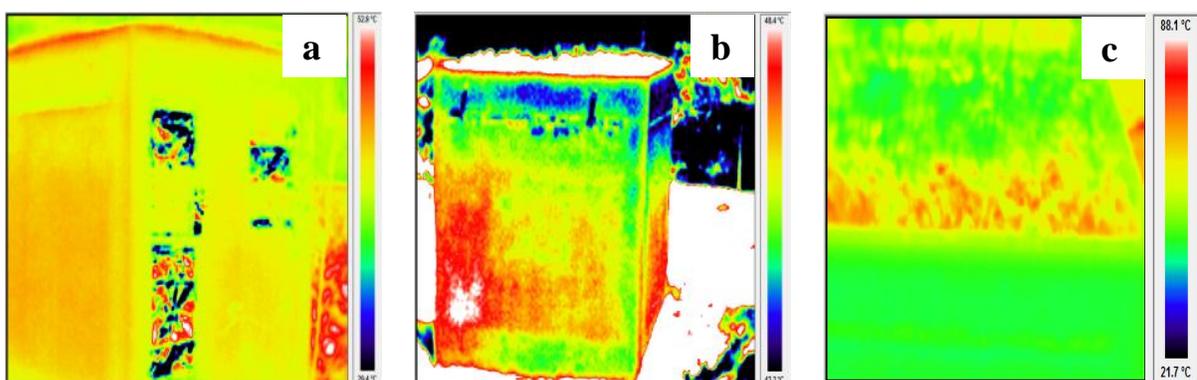


Figura 14. Termografías del prototipo de PET en sus diferentes vistas. a) Vista frente y lado izquierdo, b) Vista trasera y lado derecho, c) Techo verde.

La **Figura 14** (b) muestra desuniformidad en la zona lateral izquierda, se hizo un estudio de humedad superficial y no mostró haber diferencias entre las zonas diferentes del prototipo, por tanto no se puede relacionar las diferencias de temperatura en esta zona con la humedad superficial de las paredes del prototipo. Las humedades absolutas variaban entre .5 % y 1.3 % lo cual no es una cifra alarmante y no nos indica la influencia de la humedad en los cambios de temperatura registrados por la termografía. Se tomaron mediciones en construcciones aledañas al prototipo donde la humedad variaba entre el 4 % y el 13.5 %, estas cifras si pudiesen alterar condiciones externas de temperatura en muros.

6.2 Prototipo de adobe

6.2.1 Temperatura

El prototipo de adobe presento aislamientos muy bajos a altas temperaturas, aproximadamente 2.3 °C. A temperaturas ambientales bajas se presento un mejor aislamiento, de alrededor de 5.3 °C. Dando un aislamiento térmico total de 7.6 °C. La temperatura promedio del prototipo se mantiene entre 15 y 25 °C. La **Figura 15** nos muestra los resultados referentes al prototipo de adobe. Los datos de la **Figura 15** y **Figura 16**, se obtuvieron durante el periodo de Septiembre 2011 a Febrero 2012.

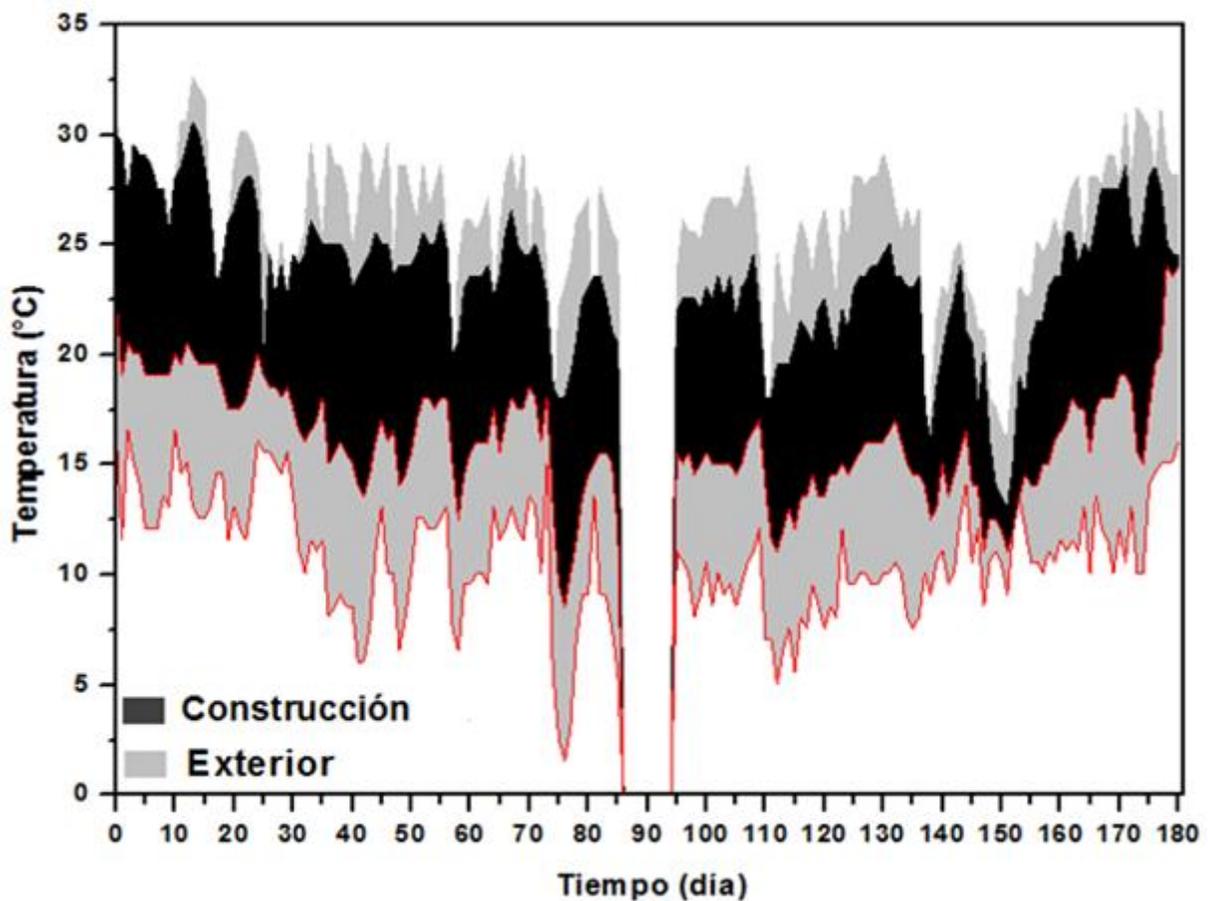


Figura 15. Gráfica semestral del comportamiento de la temperatura en el prototipo de adobe

6.2.2 Humedad Relativa

En cuestión de humedad relativa se observó un comportamiento uniforme, esto lo atribuimos a las propiedades de autoregulación que tiene el adobe. El adobe es un material que posee la característica de absorber y retornar humedad al ambiente. Se mantuvo una humedad promedio de 55 % HR. La humedad más alta registrada oscila en los 80 % HR en el interior del prototipo, mientras que en el medio externo se alcanzaron humedades relativas totales (100 %HR). La humedad más baja registrada al interior está en el orden de los 28 % HR, mientras que el medio externo llegó a tener tan solo el 5 % HR. La **Figura 15**, nos muestra la gráfica de Humedad Relativa al interior y exterior del prototipo de adobe.

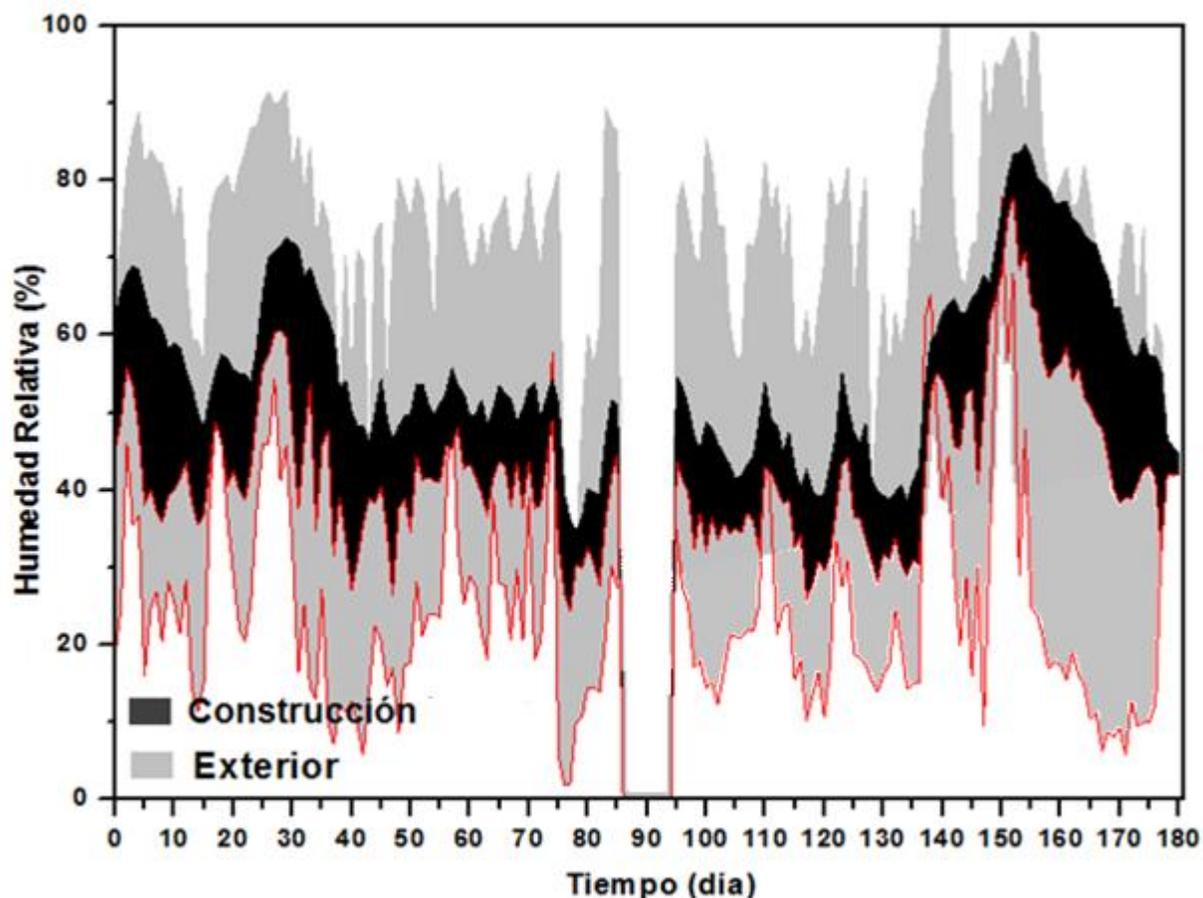


Figura 16. Gráfica semestral del comportamiento de la Humedad Relativa en el prototipo de adobe.

6.2. 3 Imágenes termográficas

En la **Figura 17** podemos observar imágenes termográficas del prototipo de adobe, la **Figura 17 a)** nos muestra una termografía del lado derecho, en esta imagen podemos apreciar una temperatura en muros promedio de 38 y 40 °C. La parte izquierda de la imagen representa el frente, el cual estaba protegido por el cobertizo y no recibía directamente radiación solar, por eso su temperatura más baja. **En la Figura 17 b)** nos muestra una termografía del frente del prototipo mencionado. En muros se percibe una temperatura de 35 °C, las partes más calientes en blanco representan el techo de teja roja que cubre la parte frontal de la construcción.

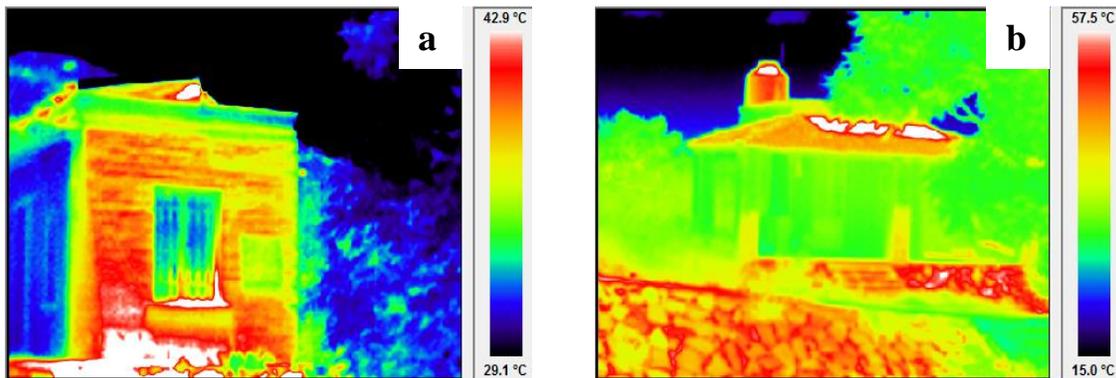


Figura 17. Imágenes termográficas del prototipo de adobe. a) Parte derecha de la construcción, b) Frente la construcción

6.3 Vivienda de Piedra, dos plantas

6.3.1 Temperatura

La vivienda de piedra presento un aislamiento térmico excelente en el periodo evaluado. La variación diaria de temperatura al interior de la vivienda es de 2 °C. Se mantuvo entre los 17 y los 24 °C durante el periodo de Noviembre 2011- Enero 2012. Al exterior de la vivienda se registraron datos de alrededor de 4 °C, con estas cifras podemos comprobar el buen aislamiento que tuvo esta vivienda, gracias a sus materiales y diseño de construcción. La **Figura 18** nos muestra las gráficas del periodo evaluado.

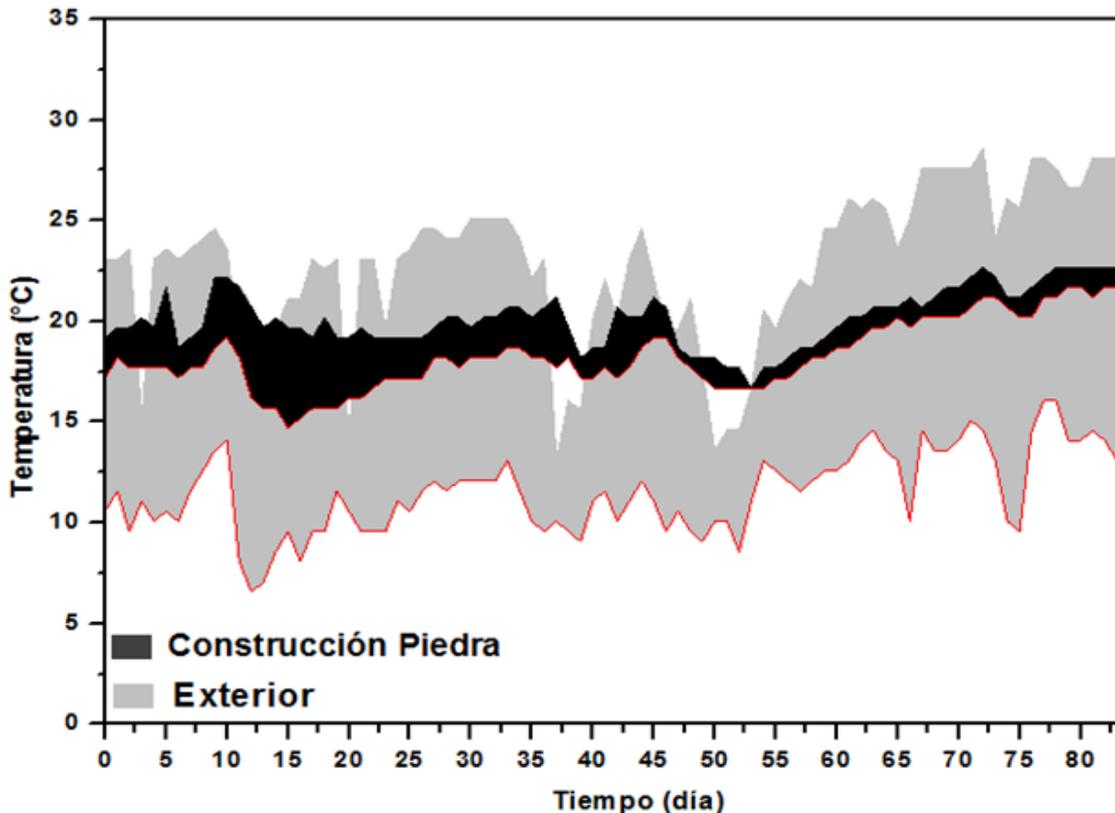


Figura 18. Gráfica trimestral del comportamiento de la temperatura en la vivienda de piedra.

6.3.2 Humedad Relativa

La humedad relativa en la vivienda de piedra se mantuvo entre 30 y 65 % HR, demostró tener un buen comportamiento y aislamiento a humedades altas, pero a humedades bajas tiene alrededor de 13 % HR del medio externo. Las humedades externas registradas oscilan entre 15 y 99 % de HR. **La Figura 19** nos muestra el comportamiento anteriormente mencionado.

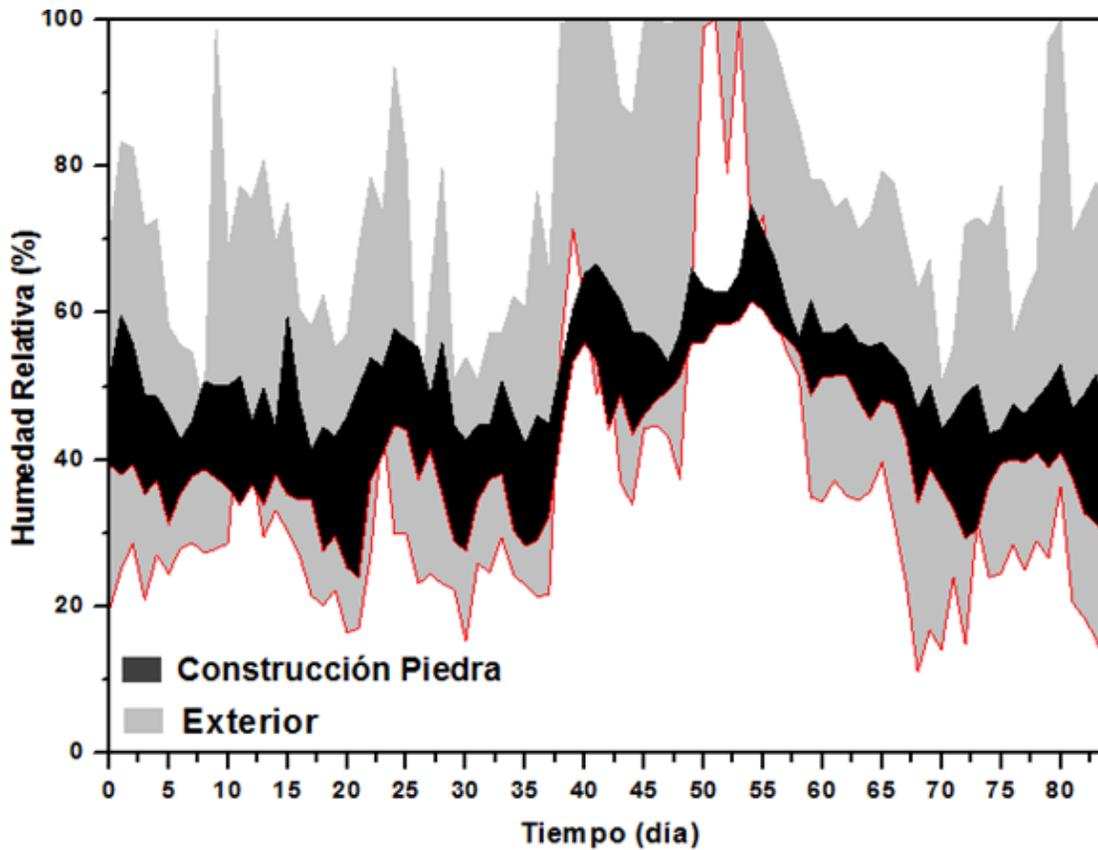


Figura 19. Gráfica trimestral del comportamiento de la humedad relativa en la vivienda de piedra.

6.3.3 Imágenes Termográficas

No se cuenta con Termografías.

6.4 Prototipo de Piedra con Tapanco

6.4.1 Temperatura

La vivienda de piedra laja fue evaluada en los altos de la Sierra Gorda, se cuenta con pocos datos, pese esto son muy interesantes. Se evaluó durante el periodo Julio- Agosto. En la **Figura 20** podemos apreciar en color negro el comportamiento interno de la vivienda, en gris el comportamiento externo y el espacio entre líneas punteadas nos hace alusión al comportamiento presentado en el tapanco, lo anterior aplica para a su vez para las **Figuras 21, 23 y 24**. La construcción de Piedra mantuvo una temperatura interna entre los 13 y 16 °C. El medio exterior se mantuvo entre 8°C y 24 °C. El tapanco nos muestra temperaturas muy elevadas máximas de 30 °C y mínimas de 7.5. El tapanco funciona como una isla de calor, que tiene la función de mantener temperaturas estables en la parte inferior de la vivienda, es un buen amortiguador térmico.

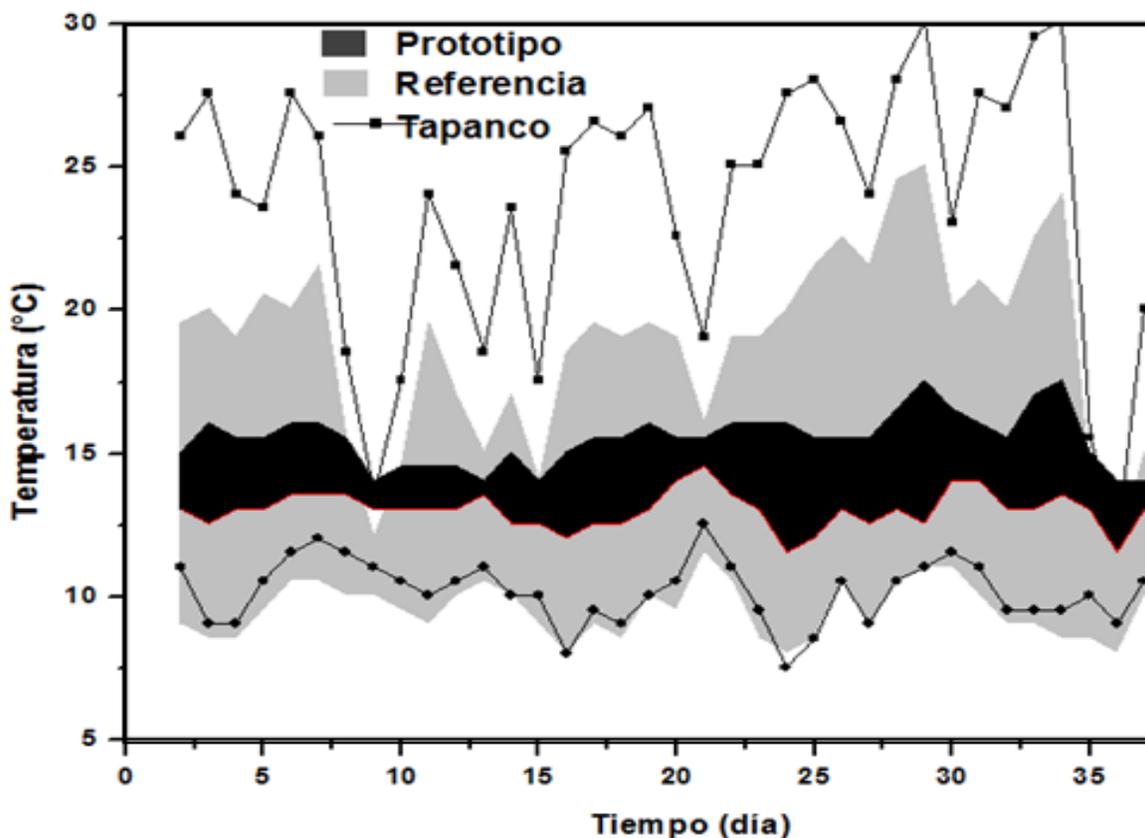


Figura 20. Comportamiento térmico de la construcción de piedra laja y medio externo.

6.4.2 Humedad Relativa

La humedad relativa juega un papel muy importante en cualquier clima, es la **Figura 21** podemos apreciar el comportamiento de la construcción de piedra laja y su medio externo. El interior de la construcción presenta humedades entre los 45 y los 85 % de HR, el medio externo presenta humedades entre 30 y 95 % de HR y el tapanco nos muestra un dato esperado, humedades más bajas, esto debido a que concentra mayor cantidad de calor, y generalmente (a excepción de climas tropicales) la humedad relativa y la temperatura juegan un rol inversamente proporcional.

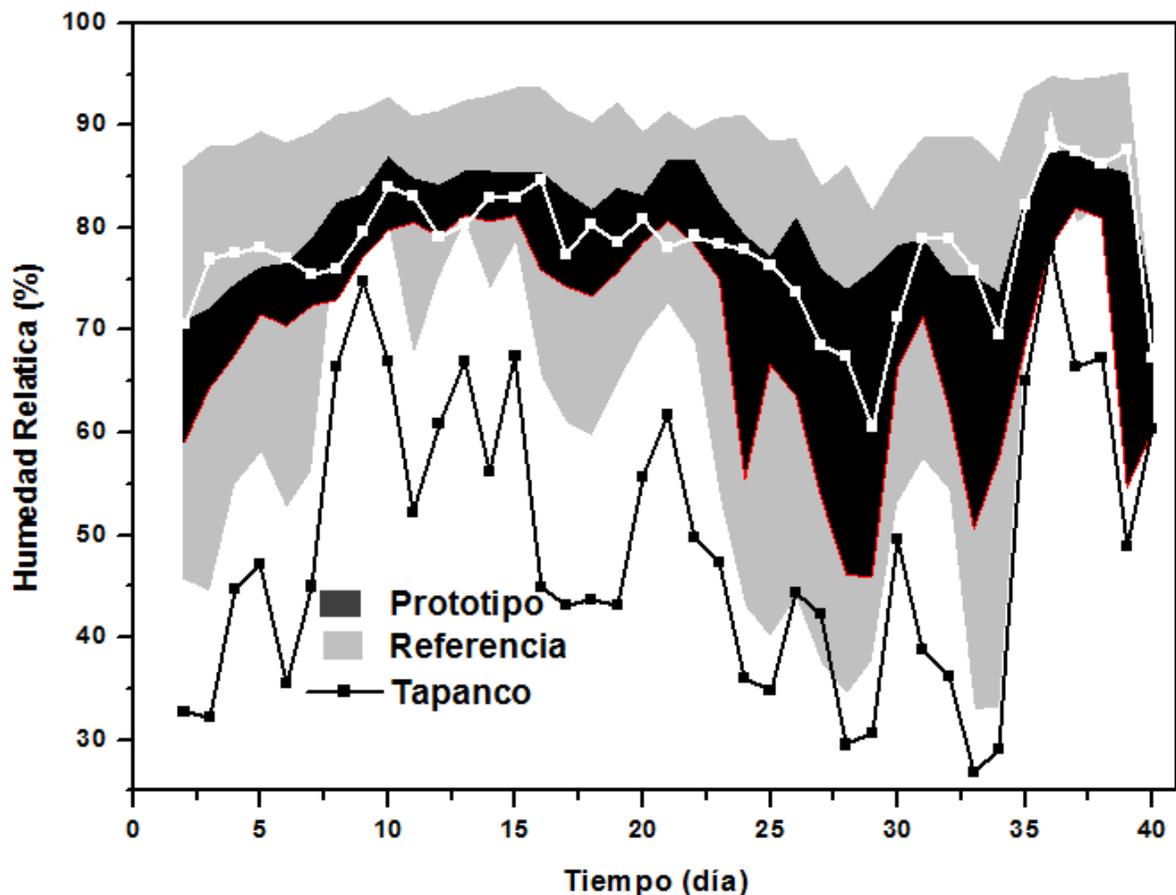


Figura 21. Comportamiento de la humedad relativa en construcción de piedra laja y medio externo

6.4.3 Imágenes termográficas

Los muros externos de la construcción mantienen temperaturas de 28 °C mientras que el techo se mantiene en los 32-52 ° C, esto varía depende la orientación de la vivienda al sol. Sus temperaturas máximas son de 52°C. La **Figura 22** nos muestra las termografías tomadas en hora pico de radiación solar.

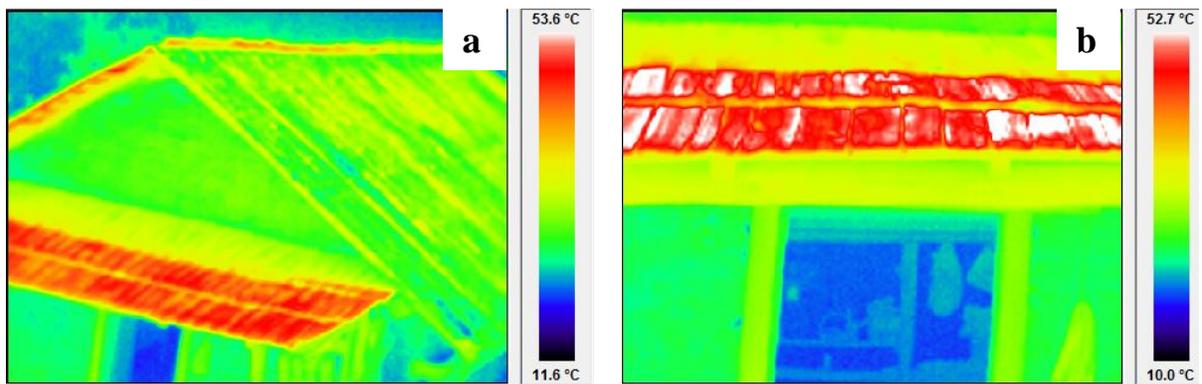


Figura 22. Imágenes termográficas de la construcción de piedra laja en la Sierra Gorda de Querétaro.

a) Vista frontal- aérea, b) Cobertizo de tejamaní.

6.5 Prototipo de Paja y Carrizo

6.5.1 Temperatura

La construcción de paja y carrizo mantuvo temperaturas internas en el orden de 18-30°C, al exterior se registraron temperaturas de 16-35°C mientras que el tapanco en este caso mostro tener un comportamiento medio entre el medio externo y el interno, esta descripción la podemos apreciar en la **Figura 23**. En la gráfica de la figura anterior nos damos cuenta que este prototipo tuvo un aislamiento desconsiderable sin embargo mostro tener buen comportamiento interno, esto lo atribuimos a las características climáticas de la zona. La evaluación se realizo en el mes de Julio- Agosto.

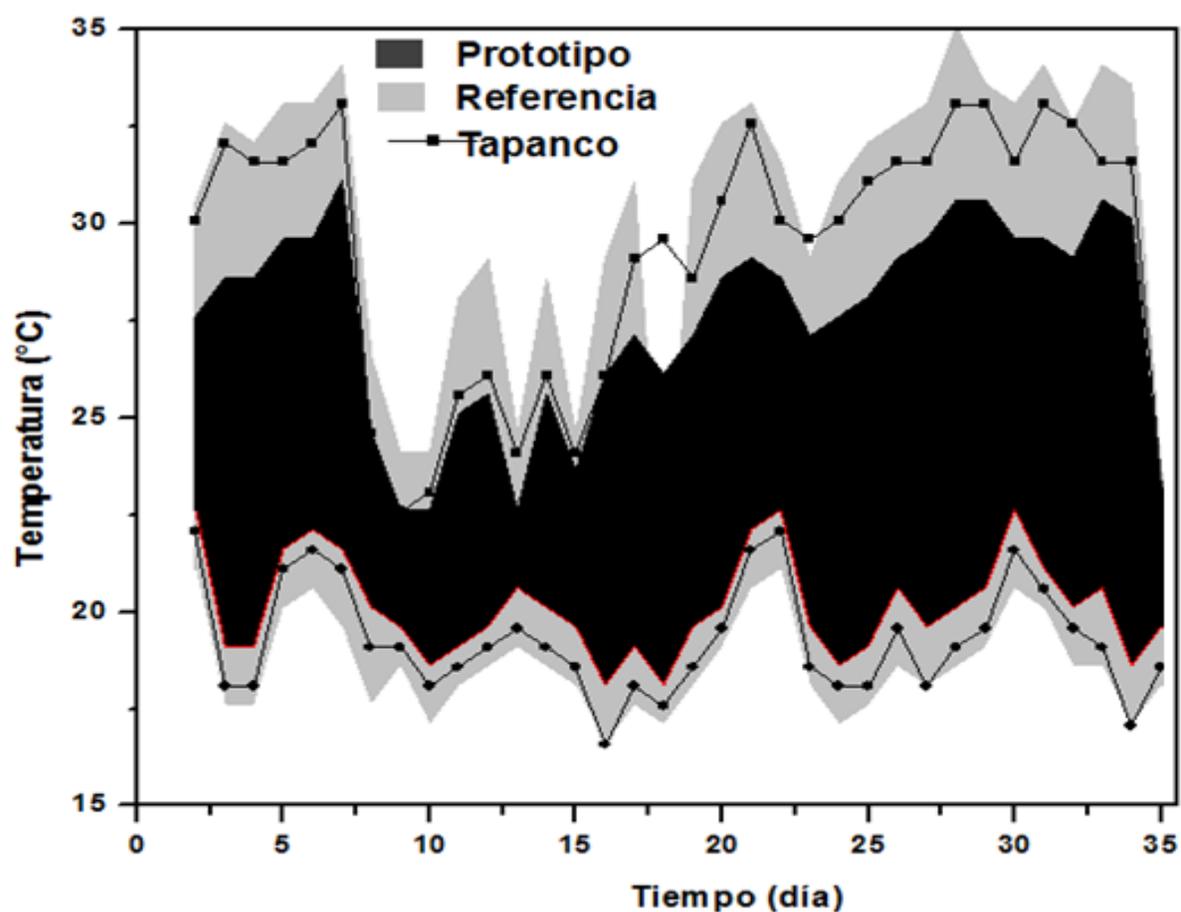


Figura 23. Gráfica de temperatura de la construcción de Paja-Carrizo.

6.5.2 Humedad Relativa

Respecto a la humedad relativa se observa un comportamiento muy similar al aislamiento térmico, ya que es mínimo el aislamiento que se presenta en ambos casos. El % de HR mínimo registrado al interior fue de 43.5 % HR y el máximo de 89 % HR. Al exterior se tienen registros del rango de 27- 97 % de HR y en el tapanco tiene un comportamiento muy parecido al del interior de la vivienda a humedades altas y cuando se habla de humedades bajas se apega al comportamiento externo.

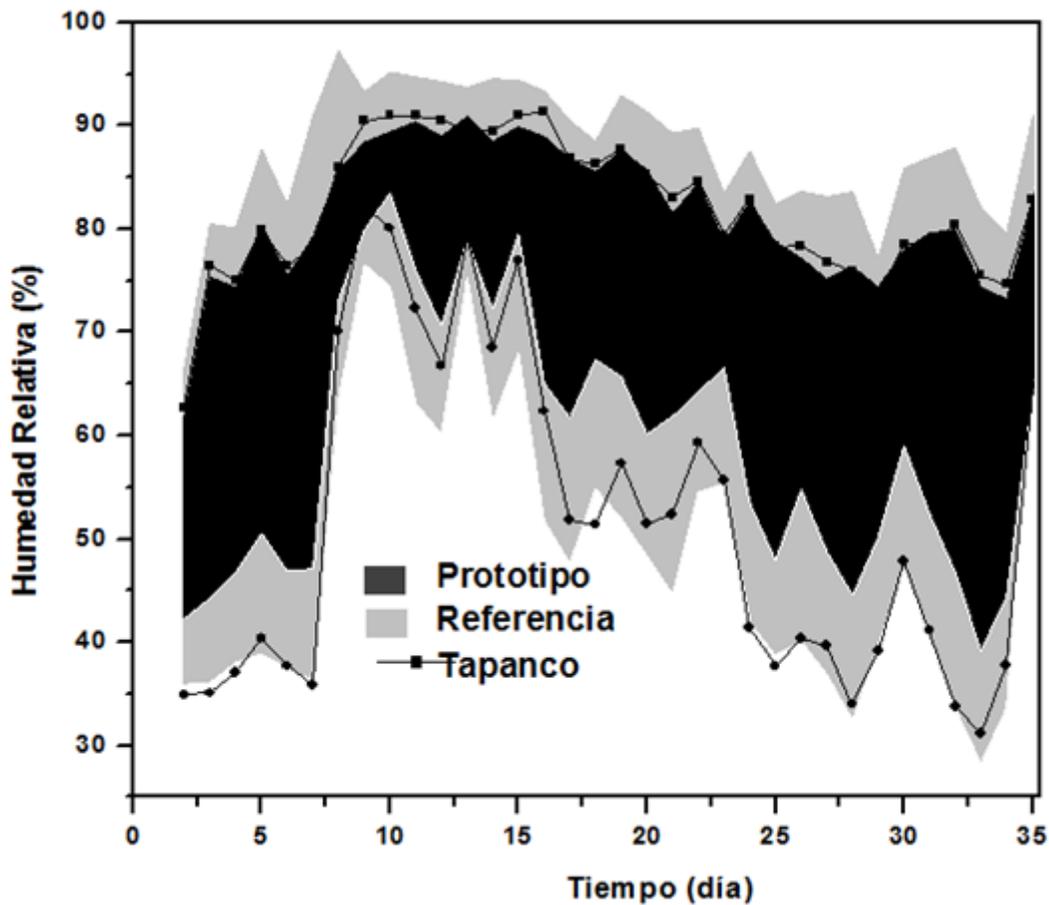


Figura 24. Gráfica de humedad relativa de la construcción de Paja-Carrizo.

6.5.3 Imágenes termográficas

El techo de paja muestra una temperatura muy elevada, cabe destacar que es sólo sobre la superficie, alcanza temperaturas de 58-76°C. Estas temperaturas las podemos observar en la **Figura 25**, de igual forma podemos apreciar en la misma figura el comportamiento que muestran los muros de carrizo, cuyo comportamiento es de 35°C, esto se debe al cobertizo que da el techo de paja.

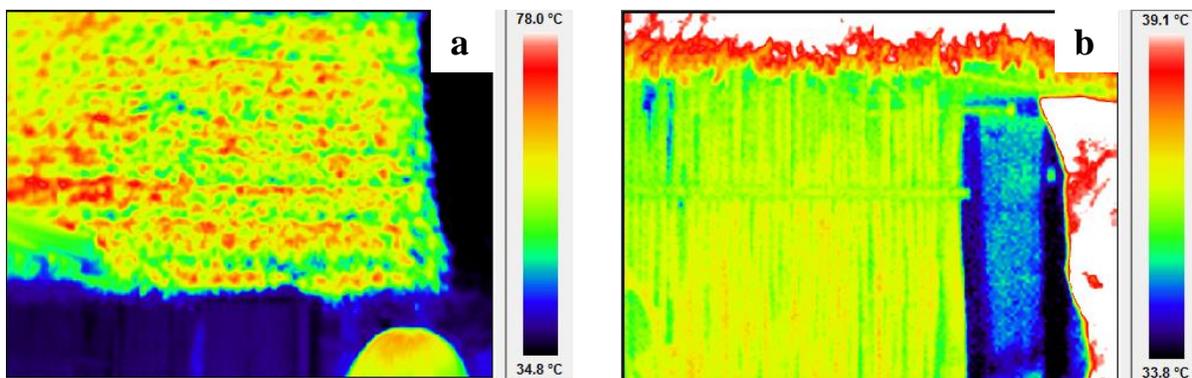


Figura 25. Termografías del prototipo de Paja-Carrizo. a) Techo de Paja, b) Muros de Carrizo.

6.6 Vivienda construida con materiales convencionales

6.6.1 Temperatura

Es importante tener un parámetro de comparación de las construcciones con una vivienda de construidas con materiales convencionales. En la **Figura 26** podemos observar el comportamiento de la vivienda convencional, esta mostró temperaturas internas de 20 a 28 °C, mientras que en el medio externo se registraron temperaturas del orden de 17-32.5 °C. La evaluación se llevo a cabo en el periodo de Junio- Agosto. La vivienda mostro un aislamiento promedio de 4.5 °C.

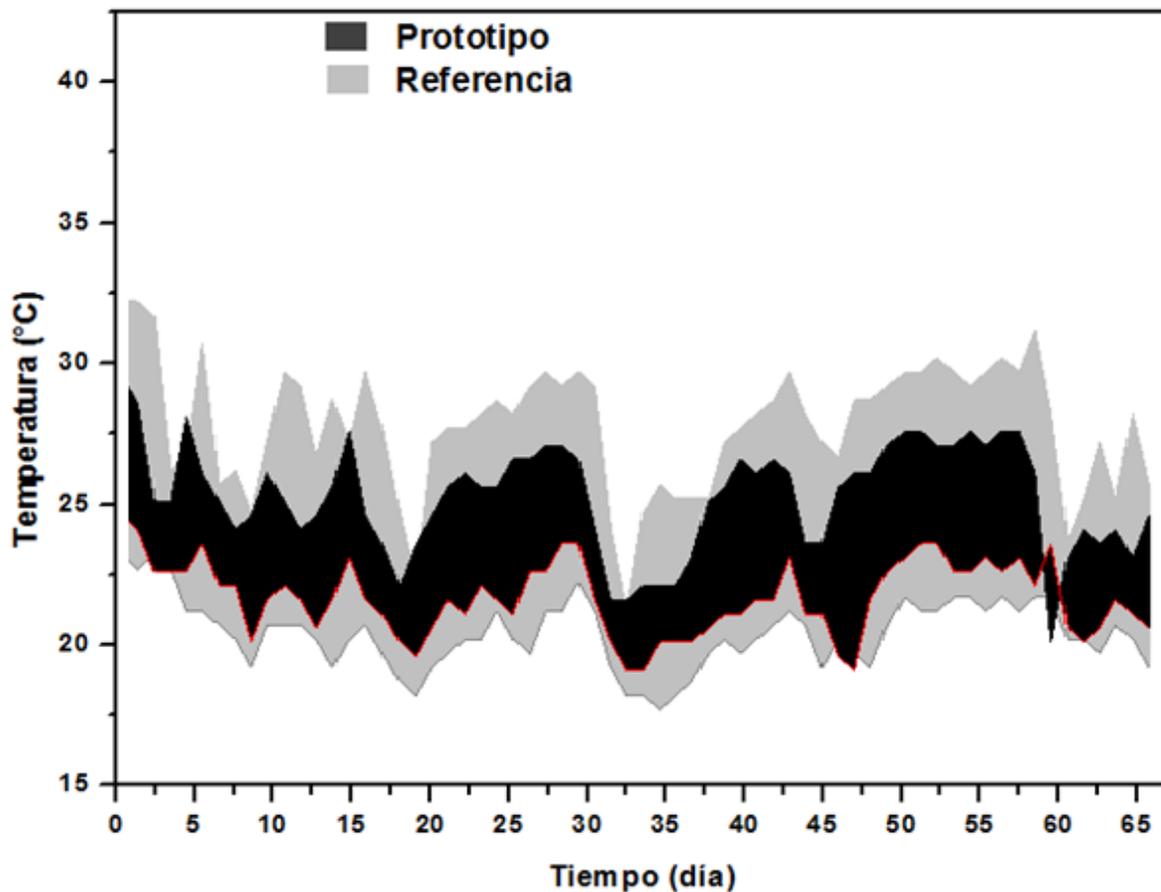


Figura 26. Gráfica de Temperatura de la vivienda convencional

6.6.2 Humedad Relativa

En los que refiere al % de humedad relativa se tuvo un aislamiento medio, el % HR en el interior se encuentra en el rango de 35- 74% HR mientras que en el exterior tenemos cifras de 24- 87 % HR. Tenemos un aislamiento similar tanto a bajos como altos porcentajes de humedad relativa.

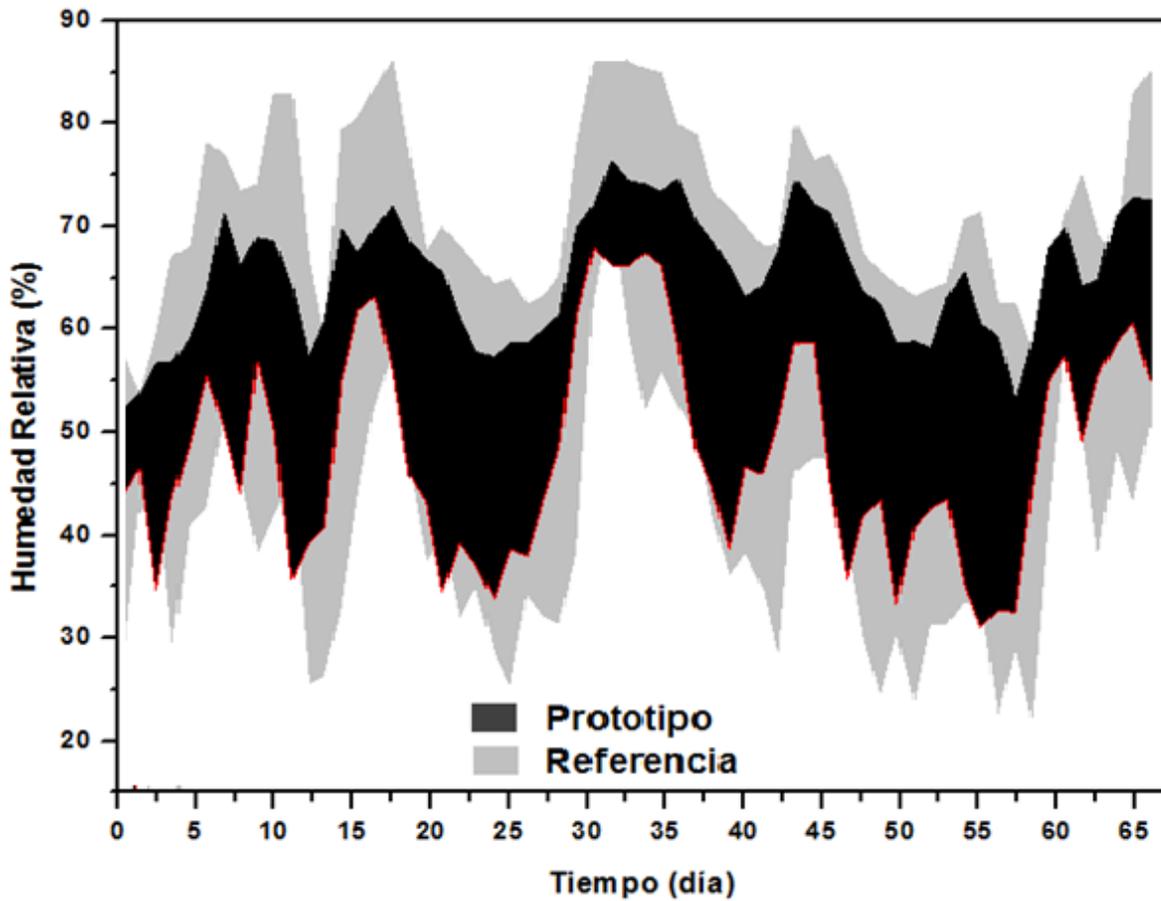


Figura 27. Gráfica de % de Humedad Relativa de la vivienda convencional

6.6.3 Imágenes termográficas

No se cuenta con imágenes termográficas.

Capítulo 7

SIMULACIONES TÉRMICAS

7.1 Prototipo de PET

Se realizó una primer simulación térmica considerando únicamente condiciones extremas de temperatura externa, y se acoplo a lo observado en campo en cuestión de temperaturas de muro. Cabe destacar que no se aplicó el fenómeno de radiación solar para esta primer simulación. La temperatura del medio exterior se tomo como 42 °C, estableciendo a su vez temperatura de techo de 60 °C. En la **Figura 28 a)** observamos el mallado utilizado, mientras que la **Figura 28b)** muestra las temperaturas externas alcanzadas. Los muros alcanzan temperaturas externas de aproximadamente 30 °C, puertas y ventanas se mantiene a temperaturas mayores de alrededor de 45°C. En la **Figura 28 c)** podemos notar que la temperatura interna alcanzada es de aproximadamente 25 °C.

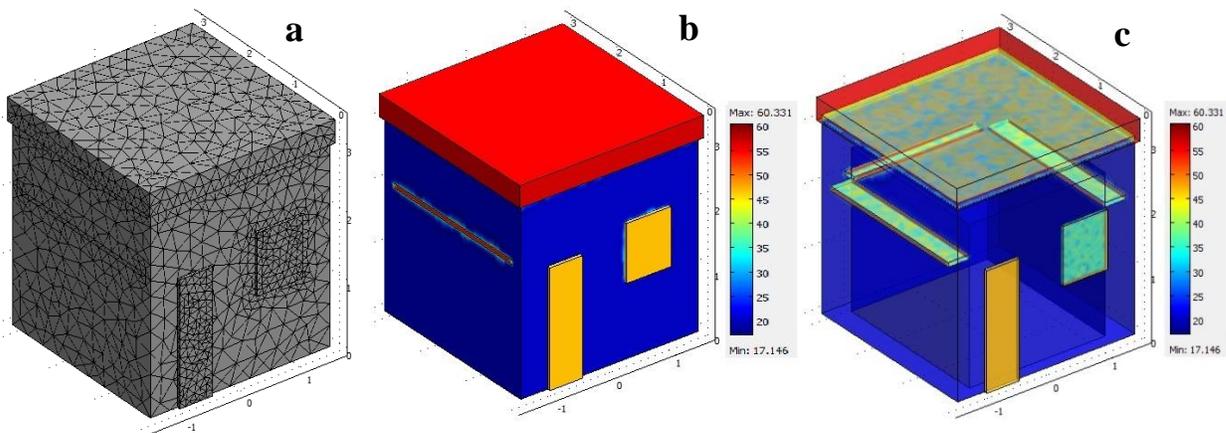


Figura 28. Simulación térmica del prototipo de PET, tomando datos externos de temperatura de los análisis observados en campo. a) Mallado b) Comportamiento exterior c) Comportamiento interior.

Se realizaron simulaciones de los materiales utilizados en el prototipo de PET a condiciones extremas de temperatura-radiación. En la **Figura 29** podemos observar el comportamiento

térmico del prototipo de PET considerando la radiación máxima en Querétaro. En la **Figura 29a)** se observa el mallado utilizado en la simulación. La **Figura 29 b)** nos muestra el posible comportamiento exterior del prototipo simulado. Podemos apreciar una temperatura máxima de 62°C en lo alto de la casa, que representa un techo verde. La pared del lado izquierdo está más caliente que la parte frontal del prototipo, esto es por que irradia más calor en esta zona. Los vitrales alcanzan temperatura de 45°C. Las puertas y las ventanas están en el rango de 40°C. Los cimientos están el orden de los 10 a los 20 °C. Se puede apreciar la dispersión de calor entre los diferentes materiales del prototipo. En la **Figura 29 c)** podemos apreciar el comportamiento interno del prototipo, el ambiente interno esta en el rango de los 22-23°C. Lo anterior demuestra el buen desempeño térmico de los muros de PET, en cuestión de aislamiento térmico

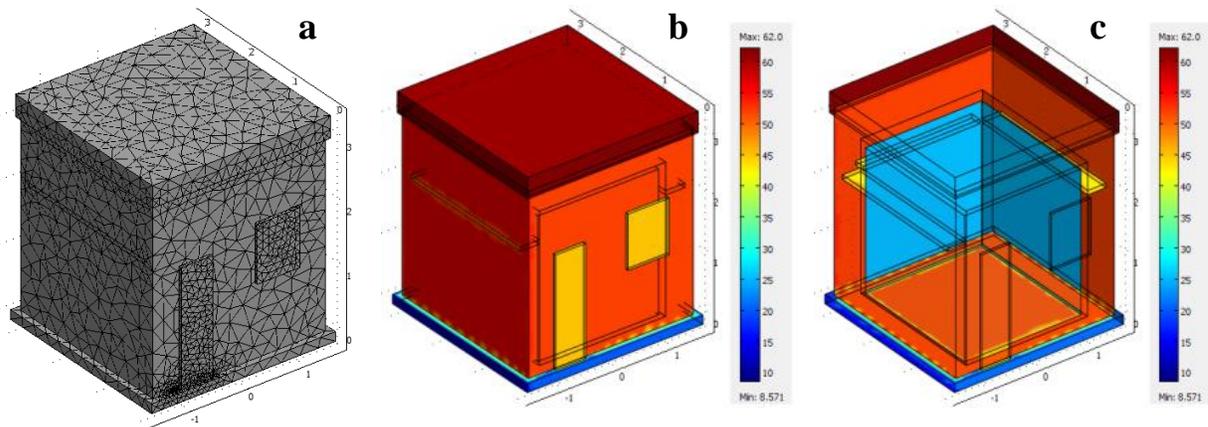


Figura 29. Simulación térmica del prototipo de PET considerando la radiación máxima en el estado (6.5W/m^2) y temperatura de 35°C . a) Mallado, b) Simulación exterior, c) Simulación interior.

7.2 Prototipo de Adobe

La simulación del prototipo de adobe se hizo en dos partes, la primer simulación de este, se realizó con condiciones de 3.2 W/m^2 y una temperatura externa de 0°C . Al ambiente general del sistema simulado se alimentó con una temperatura inicial de 25°C . La **Figura 30 a)** nos muestra el mallado empleado para la simulación térmica. Podemos observar en la

Figura 30 b) que el medio interno llega a temperaturas de alrededor de 10 ° C. Mientras que la **Figura 30 c)** muestra el comportamiento interno que se mantiene a 20°C aproximadamente.

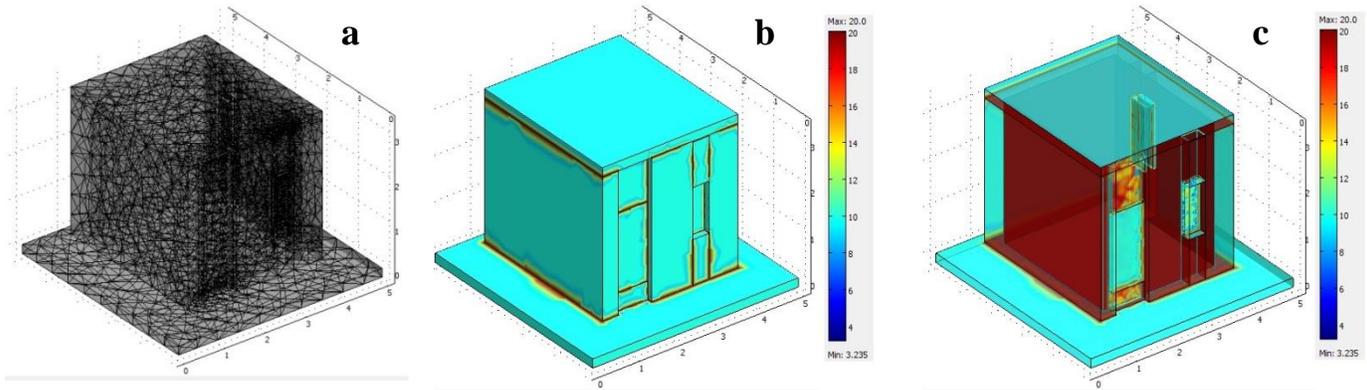


Figura 30. Mallado y comportamiento interior y exterior del prototipo de adobe con una radiación de 3.2 W/m^2 y una temperatura externa de 0°C . a) Mallado utilizado, b) Comportamiento externo del prototipo c) Comportamiento interno del prototipo.

La **Figura 31** nos muestra la simulación a condiciones altas de temperatura, se fijó una temperatura externa de 35°C y una radiación de 6.2 W/m^2 , en esta simulación se alcanzó una altura máxima en techo y piso de 52°C , en muros temperaturas de al redor de 45°C , ventanas alrededor de 62°C lo anterior se aprecia en la **Figura 31 a)**. Al interior de la construcción se tienen temperaturas de aproximadamente 25°C , lo podemos observar en la **Figura 32 b)**, cabe destacar que en este caso se fijo una condición inicial de temperatura al sistema de 20°C .

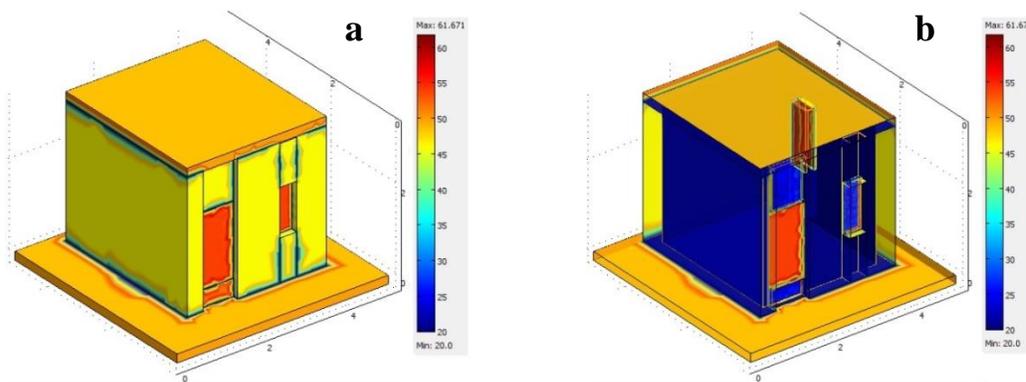


Figura 31. Comportamiento interior y exterior del prototipo de adobe con una radiación de 6.2 W/m^2 y una temperatura externa de 35°C . a) Comportamiento externo del prototipo, b) Comportamiento interno del prototipo.

7.3 Prototipo de Piedra

Para el prototipo de piedra se muestra una sola simulación, debido a la climatología poco variante de la zona y a su espesor de muro, este permite una estabilidad térmica interna y poco alterable a condiciones climatológicas extremas. En la **Figura 32 a)** observamos el mallado utilizado para esta simulación. Se fijaron condiciones de radiación de 4.2 W/m^2 , La temperatura de techo alcanza los 49.3°C , y en muros esta alrededor de los 25°C , lo anterior lo podemos observar en la **Figura 32b)**. El comportamiento interno se muestra en la **Figura 32 c)** y se mantiene muy cercano a los 16°C .

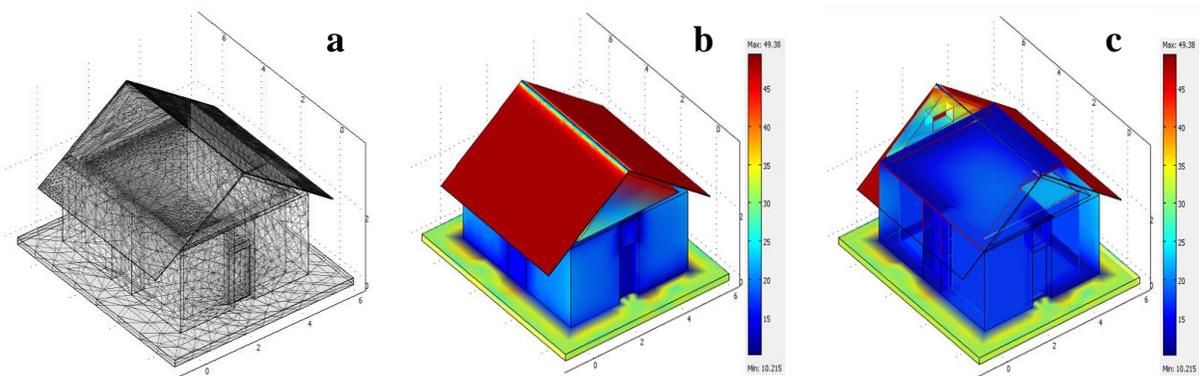


Figura 32. Simulación de la construcción de piedra de Sierra Gorda, utilizando una radiación de 4.2 W/m^2 y temperatura ambiente de 20°C . a) Mallado b) Comportamiento exterior c) Comportamiento interior.

7.4 Prototipo de Carrizo

No se realizó simulación térmica de este prototipo ya que tenía muchas partes al descubierto y el flujo de aire interfiere en el comportamiento interno, las simulaciones mostradas están basadas en transferencia térmica por radiación más no por convección de flujo de aire.

7.5 Vivienda Convencional

Como punto de comparación se realizaron simulaciones térmicas de una casa con materiales convencionales. La radiación fijada fue de 3.2 W/m^2 y una temperatura externa de 0°C . En la **Figura 33 a)** podemos apreciar el mallado utilizado. La **Figura 33b)** nos muestra el comportamiento exterior a las condiciones fijadas, Los muros muestran un comportamiento de 3°C mientras que el suelo se mantiene a 7°C , aproximadamente la misma temperatura se mantiene en el interior de la vivienda, con 6.5°C como lo muestra la **Figura 33 c)**.

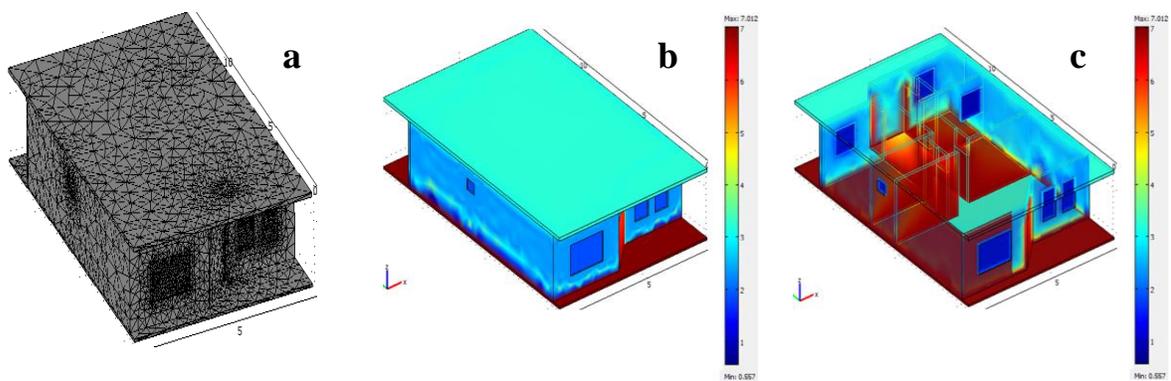


Figura 33. Simulación de la vivienda convencional, utilizando una radiación de 3.2 W/m^2 y temperatura ambiente de 0°C . a) Mallado, b) Comportamiento exterior, c) Comportamiento interior.

Se realizó una segunda simulación atendiendo una radiación solar de 5.4 W/m^2 y una temperatura ambiente de 35°C . En la **Figura 34 a)** podemos observar el comportamiento exterior alcanzando temperaturas en techo de 39°C , en muro de 37°C y en el piso de 25°C . El comportamiento interno se mantiene oscilando entre 25 y 28°C , como se muestra en la **Figura 34b)**.

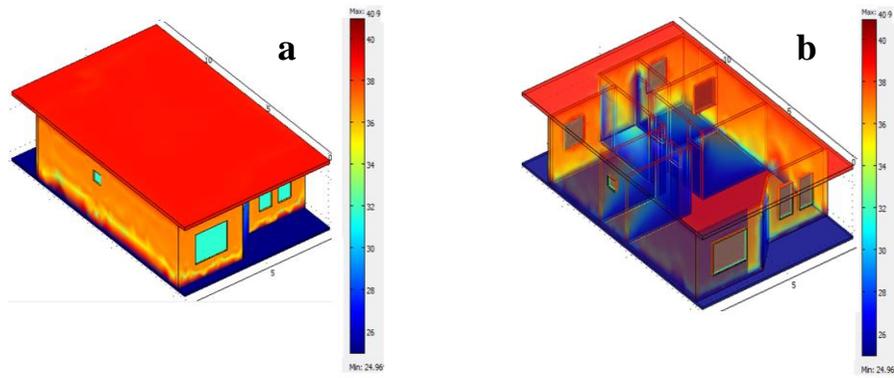


Figura 34. Simulación de la vivienda convencional, utilizando una radiación de 5.4 W/m^2 y temperatura ambiente de 35°C . a) Comportamiento exterior, b) Comportamiento interior.

Capítulo 8

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD

CAPÍTULO 8

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD

México carece de un sistema bien estructurado de indicadores de sustentabilidad en sus diversos rubros o áreas de aplicación, dígase vivienda, recursos naturales, ramo industrial etc. Se cuenta con un sistema propuesto por CONAVI, el cual evalúa grado de sustentabilidad de un conjunto habitacional, este es muy ambiguo y de difícil evaluación, ya que se basa en gran parte en simulaciones (usando algún tipo de software) de la característica o comportamiento a evaluar. La evaluación de CONAVI se aplica a los rubros de suelo, agua, energía, residuos sólidos y áreas verdes.

Existe otra metodología de evaluación de sustentabilidad, desarrollada también en México, por Masera, llamada MEMSIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad) este tiene la desventaja que es aplicable solamente a sistemas que manejan recursos naturales, por ejemplo ranchos de cultivo o ganaderos. Tiene una gran desventaja, los evaluadores escogen los indicadores de desempeño ambiental que a su criterio ajusten más a las necesidades del proyecto, esto hace la metodología hasta cierto punto muy subjetiva, los criterios de evaluación están basados en calificar características sociales, ambientales y económicas.

LEED por otra parte, es un sistema de clasificación desarrollado por los EE.UU. Green Building Council (USGBC), esta metodología de evaluación de sustentabilidad está enfocada a empresas grandes y socialmente responsables con el medio ambiente, su revisión esta básicamente basada en un *check list*, si cumple o si no cumple con el requisito propuesto, y se le asigna un valor total a cada rubro, y dentro de estos rubros hay subdivisiones que facilitan la evaluación holística del sistema. LEED evalúa los siguientes criterios: suelo, agua, energía y atmósfera, materiales y recursos, cubierta de calidad ambiental, innovación y proceso de diseño.

Lo que se propone son una serie de indicadores de sustentabilidad que englobe todos los criterios anteriormente mencionados más otros de relevancia e importancia en términos de sustentabilidad. A su vez que cuantifique el grado total y parcial de sustentabilidad.

La evaluación de viviendas se compone de dos fases:

1. Etapa de construcción
2. Desempeño de la casa habitada

Cuantificación de sustentabilidad.

Cada apartado tiene un valor máximo, este valor es la suma de las subdivisiones que integra a cada punto a evaluar. La puntuación para cada inciso se muestra a continuación:

PRIMER ETAPA	
a) Selección de sitio e impacto ecológico	
Respeto a la flora y fauna aledaña	10
Cumple el suelo con las características de aptitud construcción	5
Se cuenta con uso de suelo habitacional	5
Total	20
b) Materiales de construcción	
Materiales aledaños al sitio	10
Materiales de reciclaje	15
Materiales rápidamente renovables	15
Materiales vernáculos	10
Total	50
c) Diseño de construcción y bioclimática	
Altura de techo	5
Inclinación de techo	5
Orientación de la vivienda	10
Ventilación	10
Iluminación natural	10
Total	40
d) Traspatio y áreas verdes	
Vegetación entorno a la vivienda	5
Vegetales consumibles empleando composteo	15
<i>Total</i>	20
e) Generación de residuos	
Cantidad de residuos generados acorde al tamaño de la construcción	25

Total	25

SEGUNDA ETAPA	
a) Energía	
Aprovechamiento de energías alternas	35
Total	35
b) Cuidado del recurso hídrico	
Captación y reuso de agua pluvial	15
Separación de aguas grises y aguas negras	15
Dispositivos ahorradores de agua	15
Total	45
c) Separación y aprovechamiento de residuos	
Elaboración de composta	5
Separación de PET, vidrio, cartón y papel, aluminio	15
Total	20
d) Confort interno	
Acústica	10
Temperatura	10
Humedad	10
Calidad del aire	10
Total	40
e) Combustible utilizado y emisiones generadas	
Gas natural	10
Gas LP	5
Biogás	10
Total	25

Con esto obtenemos un total de 320 puntos, el cual representa una sustentabilidad equivalente a un 100 %. Con la puntuación que se obtenga de la construcción evaluada se hace una relación en porcentaje de sustentabilidad.

La **Figura 35** nos muestra una gráfica pastel de indicadores de sustentabilidad, en la gráfica está del lado derecho el nombre del indicador, seguida por su puntuación y en paréntesis tenemos el valor porcentual. En la misma figura podemos apreciar un gran peso porcentual en materiales de construcción seguida por cuidado del recurso hídrico y confort interno.

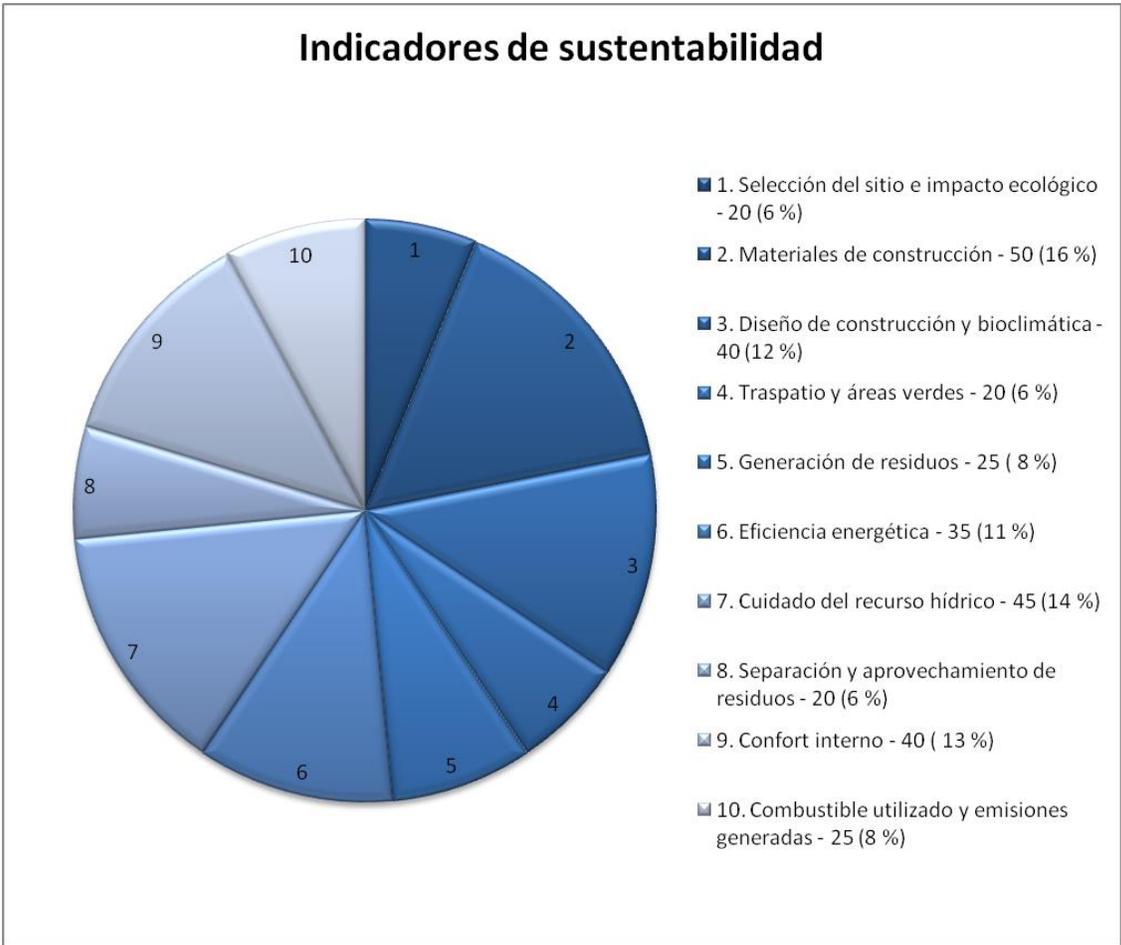


Figura 35. Gráfica tipo pastel de distribución porcentual de indicadores de sustentabilidad en viviendas.

PARTE III

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

CONCLUSIONES

PRUEBAS MECÁNICAS

La baja resistencia que presentan las botellas de PET vacías, se ve incrementada cuando el recipiente es llenado con un material que actúa como transmisor de esfuerzos, en la dirección de carga, de un extremo a otro. La forma de apilamiento de las botellas en la construcción fue de forma horizontal, esto debido a que muestran mayor resistencia acomodadas de tal forma.

El primer punto desfavorable en la preparación de blocks es el trabajo involucrado en preparar tales elementos de construcción. Para una persona sin práctica, podría resultar arduo y con resultados desfavorables. Otro punto desfavorable, es el incremento del peso sustancialmente. Esto podría hacer casi imposible colocar estos blocks en la parte elevada de un muro, por una o dos personas.

La preparación de un número grande de blocks, tan sólo aquellos requeridos para construir una habitación, requiere de trabajo, material, tiempo y costos muy superiores a los que representa la compra de blocks comerciales. Debido a estas desventajas se optó por no usar block en el proceso de construcción del prototipo.

PRUEBAS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

El complejo de botellas de PET rellenas de arena y cubierta por concreto resultó ser un muy buen aislante térmico, es aproximadamente dos veces más aislante que el adobe reforzado. Resultando ser también mejor aislante que un muro de ladrillo-cemento y con aislamiento cercano a la piedra laja utilizado en las construcciones evaluadas.

PROTOTIPO DE PET

Referente al comportamiento exterior del prototipo de PET, se puede concluir que tuvo un comportamiento externo uniforme, manteniendo una temperatura de aproximadamente 45 °C en muros, sin embargo la temperatura interna máxima fue de 30° C, la cual es una temperatura soportable, y demuestra tener buenas propiedades aislantes. La temperatura se elevó hasta 30 °C por que se bloqueó la ventilación, de no ser así la temperatura interna

hubiera sido menor. El techo verde muestra temperaturas de hasta 70°C, cabe destacar que es sólo superficial, ya que en el interior del techo mantiene temperaturas del orden de los 20° C.

El comportamiento poco uniforme de los muros situados en el costado derecho del prototipo, se atribuye a mezclas no uniformes de material en el proceso de construcción, ya que el estudio de humedad absoluta que se hizo demostró no haber relación alguna entre la gama de temperaturas situadas en la zona marcada y la humedad absoluta superficial.

Se puede observar temperaturas elevadas durante el periodo de marzo-mayo sin embargo el prototipo mantuvo temperaturas agradables y demostró tener buen aislamiento térmico comparando ambiente interno y externo. Las variaciones internas del prototipo están en el rango de 0.5 a 3.4 °C, mientras que en el exterior se muestran variaciones de hasta 16.5 °C, esto tomando en cuenta la temperatura más alta y la más baja diaria.

La simulación realizada nos confirma lo anterior mencionado sobre los muros de PET, brindan temperaturas internas agradables, alrededor de 22°C. Esta simulación nos muestra un comportamiento uniforme en las diferentes zonas, ya que el programa atribuye uniformidad en los materiales, y con esto en los distintos segmentos del prototipo simulado. El techo muestra tener una mayor temperatura por que recibe directamente mayor radiación solar. Si relacionamos el comportamiento de la simulación con la realidad del techo verde muestran resultados muy parecidos, cabe destacar que en el techo verde estas temperaturas elevadas son solo superficiales, ya que al interior del techo verde se tienen temperaturas templadas y estables, con variaciones promedio de 5° C, con una media de 22.54 °C.

PROTOTIPO DE ADOBE

El prototipo de adobe resulto tener menor aislamiento térmico de alrededor de 7.5 °C, en este observamos buen aislamiento a temperaturas bajas. Cuando se habla de temperaturas altas se tiene un aislamiento menor que a bajas temperaturas.

La humedad relativa indoor en el prototipo de adobe está muy cercana de las condiciones ideales de humedad ambiente interno, y se mantiene muy estable, esto lo atribuimos a las propiedades regulatorias en cuestión de humedad del adobe.

Las simulaciones térmicas se asimilan a las termografías tomadas, y en cuestión interna varía de manera mínima con los datos observados al interior.

VIVIENDA DE PIEDRA, DOS PLANTAS

El mejor aislamiento térmico presentado fue el de la vivienda de piedra a dos plantas, manteniendo variaciones mínimas al interior de la vivienda de 2 °C, y muestra temperatura confortable. Esto se debe al excelente aislamiento térmico del material empleado y al diseño de construcción, especialmente al espesor de sus muros.

La humedad relativa se mantiene dentro de los límites recomendables (35-65% de HR). Cabe destacar que la vivienda es habitada por una persona y es poco el tiempo que asiste en casa, no se cuenta con calefactor ni humidificador que pudieran regular las condiciones evaluadas.

PROTOTIPO DE PIEDRA CON TAPANCO

La vivienda presenta un comportamiento térmico uniforme, variando al interior por 5°C promedio, mantiene temperaturas bajas pero constantes. Cabe destacar que es una zona muy fría y de humedad relativa alta. El tapanco actúa como amortiguador térmico, manteniendo estas temperaturas más altas que el medio exterior cuando se habla de condiciones elevadas de temperatura, y a su vez más altas a condiciones inferiores de temperaturas.

En cuestión de humedad el tapanco juega un papel inverso al observado en cuestión térmica, y es totalmente lógico ya que estos dos factores suelen mantener una relación inversamente proporcional. Las humedades observadas en esta vivienda no son del todo adecuadas para su habitación, en gran parte se atribuye a las condiciones de la zona y a la ventilación de la vivienda.

Las simulaciones varían de las termografías tomadas cuando se habla del techo de la vivienda, alrededor de 8 unidades en °C. Sin embargo se asemejan en materia de muros y mantienen una relación estrecha.

PROTOTIPO DE PAJA Y CARRIZO

En esta construcción se tienen variaciones mayores al interior de la vivienda, debido a la temperatura variante de la zona. El material tiene un aislamiento térmico bajo, sumado el diseño de construcción se torna una construcción con un aislamiento térmico despreciable.

La humedad relativa dentro de la vivienda es muy variante, se atribuye a la ventilación abierta que tiene la construcción, ya que las varas de carrizo no están totalmente unidas entre ellas y tienen forma de dejar correr aire al por mayor.

VIVIENDA CONSTRUIDA CON MATERIALES CONVENCIONALES

La construcción con materiales convencionales mostro tener un aislamiento térmico muy bajo, y un comportamiento interno muy variante entre el día y la noche.

En cuestión de humedad se habla de variaciones altas, sin embargo se apega a lo recomendado para casas habitación, seguía la tendencia del medio exterior, pero limitada a condiciones confortables de habitación de la misma.

Las simulaciones realizadas muestran temperaturas más extremas que lo observado en el interior de la vivienda, esto lo atribuimos a las condiciones extremas de la simulación, y el periodo de evaluación fue en estación templada.

GENERAL

En general las simulaciones se apegan a los resultados observados en campo. Aun que hubo variaciones de ciertos grados, esto se debe a que en las simulaciones no se toma en cuenta el flujo de aire en el sistema ni las condiciones de humedad. Sin embargo, es un útil estudio de análisis pre-construcción.

Las simulaciones térmicas son una herramienta útil en el análisis de pre-construcción de viviendas, ya que nos dan pauta a estimar el comportamiento que tendrá un conjunto de materiales empleados, así como el diseño de construcción en el desempeño del confort interno de la construcción acorde al clima de la zona prevista.

EVALUACIÓN DE SUSTENTABILIDAD

La guía propuesta de evaluación de sustentabilidad en viviendas es muy completa e indicativa, y se adecua a las necesidades que se tienen en cuestión de determinación de grado de sustentabilidad. Como complemento se necesitan tener parámetros de evaluación de los indicadores propuestos.

PERSPECTIVAS

En las simulaciones se puede incluir el modulo de acústica, así saber el aislamiento en este rubro que el complejo de materiales utilizados podría tener.

Del listado de indicadores de sustentabilidad establecer criterios de evaluación y asignación de puntos para cada rubro.

Un estudio complementario es el uso de fotogrametría y escaneo por coordenadas para la obtención de la geometría y dimensiones de edificaciones (típicas, sustentables y vernáculas) para su uso en simulación, tanto COMSOL como algún otro software como ANSYS. Lo anterior con el objetivo de tener simulaciones aun más apegadas al comportamiento real.

BIBLIOGRAFÍA

1. Farraj F. Al-ajmi, D.L. Loveday. Indoor thermal conditions and thermal comfort in air conditioned domestic buildings in the dry-desert climate of Kuwait. *Building and Environment* 45 (2010) 704–710.
2. Chen Huang, Zhijun Zou, Meiling Li, Xin Wang, Wei Li, Wugang Huang, Jiangang Yang, Xueqin Xiao. Measurements of indoor thermal environment and energy analysis in a large space building in typical seasons. *Building and Environment* 42 (2007) 1869–1877.
3. Silvia Martín, Fernando R Mazarrón, Ignacio Cañas. Study of thermal environment inside rural houses of Navapalos (Spain): The advantages of reuse buildings of high thermal inertia. *Construction and Building Materials* 24 (2010) 666–676.
4. Giane Grigoletti, Miguel A. Sattler, Alessandro Morello. Analysis of the thermal behaviour of a low cost, single-family, more sustainable house in Porto Alegre, Brazil. *Energy and Buildings* 40 (2008) 1961–1971
5. Laurent Arnaud. Comparative Study of Hygro Thermal Performances of Building Materials. *Proceeding of the 11th International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies (NOCMAT 2009)*. Bath, UK.
6. Huibo Zhang, Hiroshi Yoshino. Analysis of Indoor Humidity Environment in Chinese Residential Buildings. *Building and Environment* 45(2010)2132e2140.
7. Golden Makaka, Edson L. Meyer, Michael McPherson. Thermal behaviour and ventilation efficiency of a low-cost passive solar energy efficient house. *Renewable Energy* 33 (2008) 1959–1973.

8. Beatriz Garzón, Gabriela Giuliano Raimondi. Thermal Simulation for the Improvement of Rural Popular Houses in Tucuman, Argentina. Proceeding of the 11th International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies (NOCMAT 2009). Bath, UK.
9. Beatriz Garzón, Alejandro Hernández, Edgardo Mele, Liliana De Benito. Application of Bioclimatic Strategies, Monitoring and Thermal Simulation in a Social Rural House in Chubut, Argentina. Proceeding of the 11th International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies (NOCMAT 2009). Bath, UK.
10. D.J. Sailor. A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings* 40 (2008) 1466–1478.
11. COMSOL, COMSOL Multiphysics Introduction Course 3.5, COPYRIGHT, 2008, 2.
12. COMSOL, Product Booklet-A, 2009, 2-8
13. USGBC. LEED 2009 for Existing Buildings: Operations & Maintenance Rating System.U.S. Green Building Council, Washington. 2009
14. USGBC. LEED, For New Construction and Major Renovations, 11-37, 2002.
15. Secretaria del Medio Ambiente. Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables. 2009.
16. Odón de Buen Rodríguez. Evaluación de la Sustentabilidad Ambiental en la Construcción y Administración de Edificios en México. 2010
17. Petyer Hadfield, Gimme Shelter, *New Scientist* 2228, 04 March 2000.
18. K.J. Mun, N.W. Choi, Properties of poly methyl methacrylate mortars with unsaturated polyester resin as a crosslinking agent, *Construction and Building Materials*, Vol. 22 (10) 2008, 2147-2152.

19. N.R. Gutiérrez, W.O.M. Dill. Valorar la Utilización del Bambú “Guadua Angustifolia” en la Construcción de Viviendas en la Zona Atlántica de Costa Rica. Tesis. Guácimo, Costa Rica. Diciembre, 2005.
20. E. Nmandi African Architecture: Evolution and Transformation, 1996.
21. E.R. Vega, Costa Rica en el siglo XX, tomo ii. Editorial EUNED. 2006
22. M. Giampietro. MultiScale Integrated Analysis of Agrosystems. CRC Press, Londres. 2004.
23. Pearce, D.W., y R.K. Turner 1990. Economics of Natural Resources and the Environment. Jhon Hopkins University Press, Londres.
24. J. K Lynam, R.W Herdt. Sense and Sustainability: Sustainability as an Objective in International Agricultural Research, Agricultural Economics, vol 3, pp 381–398. 1989.
25. D.W Pearce, R. K. Turner, Economics of Natural Resources and the Environment, Harvester Wheatsheaf, Hemel Hempstead. 1990.
26. L. O Fresco, S. B. Kroonenberg. Time and Spatial Scales in Sociological Sustainability, Land Use Policy, vol 9, pp155–168. 1992
27. WCED (World Commission on Environment and Development) (1987) Our Common Future, Oxford University Press, Oxford
28. IUCN (World Conservation Union), UNEP (United Nations Environment Programme) and WWF (World Wide Fund for Nature) (1991) Caring for the Earth: A Strategy for Sustainable Living, IUCN, Gland, Switzerland
- 29.F. Mayaigotia,. Edificación Residencial Sustentable en América del Norte, página 2,12. 2008.

30. M. Astier, O. R. Maser, Y. Galván-Miyosshi. Evaluacion de sustentabilidad. Un enfoque Dinámico y Multidimensional. España. ISBN 978-84-612-5641-9, pág 73-75. 2008.
31. Quiroga, R.M. Indicadores de Sostenibilidad Ambiental y Desarrollo Sostenible: Estado del Arte y Perspectivas. Serie Manuales CEPAL, Naciones Unidas. (Manual producido por el proyecto Evaluación de la Sostenibilidad en América Latina y el Caribe, PESALC). 2001
32. J. A Bakkes. An Overview of Environmental Indicators: State of the Art and Perspectives. PNUMA/RIVM, Nairobi. 1994
33. A. Mustafa Omer, Green energies and the environment, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 12 (7) 2008, 1789-1821.
34. Woodrow W. Clark II, L. Eisenberg, Agile sustainable communities: On-site renewable energy generation, Utilities Policy, In Press, Corrected Proof, 2008.
35. Ch. Xia, Y. Zhu, B. Lin, Renewable energy utilization evaluation method in green buildings, Renewable Energy, Vol. 33 (5), 2008, 883-886
36. I. Sartori, A.G. Hestnes Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article, Energy and Buildings, Vol. 39 (3), 2007, 249-257.
37. P. C. Grindley, M. Hutchinson, The Thermal behaviours of an earthship, Renewable Energy, Vol. 8 (1-4), 1996, 154-159.
38. L. Shashua-Bar, M.E. Hoffman, Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees, Energy and Buildings, Vol. 35 (1) 2003, 61-68.
39. M. T. Iqbal A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland, Renewable Energy, Vol. 29 (2) 2004, 277-289.

40. New green building regulations in the United Arab Emirates provide opportunities for Industrial Nanotech's Nansulate coatings, *Focus on Powder Coatings*, Vol. 2007, 11, 2007, 6.
41. J. Burnett, City buildings—Eco-labels and shades of green!, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 83 (1), 2007, 29-38.
42. Victor Olgyay, Julee Herdt The application of ecosystems services criteria for green building assessment, *Solar Energy*, Vol. 77 (4) 2004, 389-398.
43. J. Warnken, M. Bradley, Ch. Guilding, Eco-resorts vs. mainstream accommodation providers: an investigation of the viability of benchmarking environmental performance, *Tourism Management*, Vol. 26 (3) 2005, 367-379.
44. G. Rajgor, Green boom?, *Refocus*, Vol. 8 (2), 2007, 50-51.
45. V. Olgyay, J. Herdt, The application of ecosystems services criteria for green building assessment, *Solar Energy*, Vol. 77 (4) 2004, 389-398.
46. A. Walmsley, Greenways: multiplying and diversifying in the 21st century, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 76 (1-4) 2006, 252-290.
47. Greener building company launched, *Refocus*, Vol. 7 (5) 2006, 18.
48. W. Wang, H. Rivard, R. Zmeureanu, Floor shape optimization for green building design, *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 20 (4) 2006, 363-378.
49. Greening the States: Green building gains momentum in US, *Refocus*, Vol. 4 (4) 2003, 26-30.
50. R.D. Cairns, On accounting for sustainable development and accounting for the environment, *Resources Policy*, Vol. 31 (4) 2006, 211-216.
51. D.C. Smith, Sustainable building: Building green, *Refocus*, Vol. 4 (6) 2003, 62-63.

52. O. Ortiz, F. Castells, G. Sonnemann, Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA, *Construction and Building Materials*, In Press, Corrected Proof, Available online 21 February 2008.
53. G.K.C. Ding, Sustainable construction—The role of environmental assessment tools, *Journal of Environmental Management*, Vol. 86 (3), 2008, 451-464.
54. S. de Wilde, A. van den Dobbelsteen, Space use optimisation and sustainability—environmental comparison of international cases, *Journal of Environmental Management*, Vol 73 (2) 2004, 91-101.
55. R. Kumar, S. Sachdeva, S.C. Kaushik, Dynamic earth-contact building: A sustainable low-energy technology, *Building and Environment*, Vol. 42(6), 2007, 2450-2460.
56. R.M. Pulselli, E. Simoncini, F.M. Pulselli, S. Bastianoni Energy analysis of building manufacturing, maintenance and use: Em-building indices to evaluate housing sustainability, *Energy and Buildings*, Vol. 39 (5), 2007, 620-628.
57. R. Kumar, S.C. Kaushik, Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings, *Building and Environment*, Vol. 40 (11) 2005, 1505-1511.
58. J. Mentens, D. Raes, M. Hermy, Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 77 (3) 2006, 217-226.
59. D.J. Sailor, D. Hutchinson, L. Bokovoy Thermal property measurements for ecoroof soils common in the western U.S., *Energy and Buildings*, Vol. 40(7), 2008, 1246-1251.
60. M. Santamouris, C. Pavlou, P. Doukas, G. Mihalakakou, A. Synnefa, A. Hatzibiros, P. Patargias Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece, *Energy*, Vol. 32 (9), 2007,781-1788.

61. E. Alexandri, P. Jones, Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: Comparison with experimental results, *Building and Environment*, Vol. 42 (8), 2007, 2835-2849.
62. H. Akbari Measured energy savings from the application of reflective roofs in two small non-residential buildings, *Energy*, Vol. 28 (9) 2003, 953-967.
63. A. Spala, H.S. Bagiorgas, M.N. Assimakopoulos, J. Kalavrouziotis, D. Matthopoulos, G. Mihalakakou On the green roof system. Selection, state of the art and energy potential investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece, *Renewable Energy*, Vol. 33 (1), 2008, 173-177.
64. T.G. Theodosiou, Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique, *Energy and Buildings*, Vol. 35 (9) 2003, 909-917.
65. M. Santamouris, C. Pavlou, P. Doukas, G. Mihalakakou, A. Synnefa, A. Hatzibiros, P. Patargias Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece, *Energy*, Vol. 32 (9), 2007, 781-1788.
66. W.L. Paul, P.A. Taylor, A comparison of occupant comfort and satisfaction between a green building and a conventional building, *Building and Environment*, In Press, Corrected Proof, Available online 21 November 2007.
67. New York 'green' high-rise uses MBR technology to recycle water, *Membrane Technology*, Vol. 2006 (5) 2006, 10-11.
68. A. Pappu, M. Saxena, S.R. Asolekar, Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials, *Building and Environment*, Vol. 42 (6), 2007, 2311-2320.

69. X. Wu, Z. Zhang, Y. Chen, Study of the environmental impacts based on the “green tax”— applied to several types of building materials, *Building and Environment*, Vol. 40 (2) 2005, 227-237,
70. B. V. Venkatarama Reddy, K. S. Jagadish Embodied energy of common and alternative building materials and technologies, *Energy and Buildings*, Vol. 35 (2) 2003, 129-137.
71. M. A. Dweib, B. Hu, A. O’Donnell, H. W. Shenton, R. P. Wool All natural composite sandwich beams for structural applications, *Composite Structures*, Vol. 63 (2) 2004, 147-157.
72. J. Péra, J. Ambroise, M. Chabannet Valorization of automotive shredder residue in building materials, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34 (4) 2004, 557-562.
73. J.E.G. van Dam, B. de Klerk-Engels, P.C. Struik, R. Rabbinge Securing renewable resource supplies for changing market demands in a bio-based economy, *Industrial Crops and Products*, Vol. 21 (1) 2005, 129-144.
- Edgard Mazria, en: *Passive Solar Home*, Rodable Press, 1982.
74. Pineda-Piñón, J.T. Vega-Durán, A. Manzano-Ramírez, E. Prokhorov, E. Morales-Sánchez, J. González-Hernández, *Applied Clay Science*, Vol. 40 (1-4) 2008, 1-5.
75. J. A. Calabria, W. L. Vasconcelos, A R. Boccaccini, J. *Ceramics International*, In Press, Corrected Proof, 2008.
76. F. Martínez-Camacho, J. Vazquez-Negrete, E. Lima, V. H. Lara, P. Bosch *Journal of Archaeological Science*, Vol. 35 (5) 2008, 1125-1133.
77. E. Quagliarini, M. D’Orazio, A. Stazi, *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 7 (1) 2006, 13-22.
78. A. Goodall, J. Hall, H.G.M. Edwards, R.J. Sharer, R. Viel, P.M. Fredericks, *Journal of Archaeological Science*, Vol. 34 (4) 2007, 666-673.

79. Edgard Mazria, en: *Passive Solar Home*, Rodable Press, 1982.
80. Paul G., Jr. Mchenry, *The Adobe Story*, University of New Mexico Press, 2000.
81. Albert Knott, George Nez, en: *Latex Concrete Habitat*, Canada, 2005.
82. *Design of Straw Bale Buildings*. Bruce King. Chelsea Green Publishing, 2007.
83. *More Straw Bale Building: A Complete Guide to Designing and Building with Straw*. Chris Magwood. New Society Publishers, 2005.
84. *Straw Bale House, The*. Steen, Steen, Bainbridge & Eisenberg. White River Junction, Vermont: Chelsea Green, 1994.
85. *Building a Straw Bale House*. Nathaniel Corum. Princeton Architectural Press, 2005.
86. Dora Foty.2011. Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers.
Construction and Building Materials. 25 (2011) 1906–1915
87. J.M.L. Reis ↑, E.P. Carneiro. Evaluation of PET waste aggregates in polymer mortars.
Construction and Building Materials. 27 (2012) 107–111
88. Mariaenrica Frigione. Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. Waste Management
30 (2010) 1101–1106
89. Report on Post Consumer PET Container Recycling Activity. 2010. U.S.A.
90. S. Goñi y A. Guerrero.2006. Actividad hidráulica de un cemento belítico obtenido a partir de cenizas volantes tipo C: influencia del aditivo y tipo de curado. Materiales de Construcción.
Vol. 56, 283, 61-77

91. Kayali O. Fly ash lightweight aggregates in high performance concrete. *Construction and Building Materials* 2008;22:2393–2399.
92. Ángeles Mas, Javier Gutiérrez, Enrique Gil, Alba Gil, Vicente Galvañ. Design and construction recommendations to improve impermeability in rainscreen walls built with natural stone coverings. *Construction and Building Materials* 25 (2011) 1753–1761.
93. ASTM C177–10 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus.
94. C.S. Poon, A.T.W. Yu, L.H. Ng, On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong, *Resources, Conservation and Recycling* 32 (2001) 157–172.
95. Pineda J. 2005. Enhancement of mechanical and hydrophobic properties of Adobes for Building Industry by the addition of polymeric agents. . *Building and Environment* 42(2007) 877-883.
96. Marroquín A. TESIS. Determinación experimental y teórica de temperaturas de un colector solar plano para calentamiento de agua para uso doméstico y su optimización en el diseño, Qro. CICATA.2008.

ANEXOS

ANEXO 1. Variables Climatológicas del Estado de Querétaro

El Anexo 1 nos sirvió para realizar las simulaciones térmicas presentadas en el trabajo, acorde a la zona se tomaron tales datos. En la **Figura 36** se observa la radiación media anual en el estado de Querétaro. En la **Figura 37** podemos observar el promedio mensual de radiación a lo largo de un ciclo anual. Como complemento de la cuestión térmica tenemos la temperatura promedio mensual registrada en un ciclo anual, en la ciudad de Querétaro, en la **Figura 38** se observa tal comportamiento. En la **Figura 39** se tiene una visión del promedio mensual de Humedad Relativa en Querétaro. El resumen de los datos anteriormente mencionados se muestra en la **Tabla 4**, son registros de julio 2006 a junio 2007. (96)

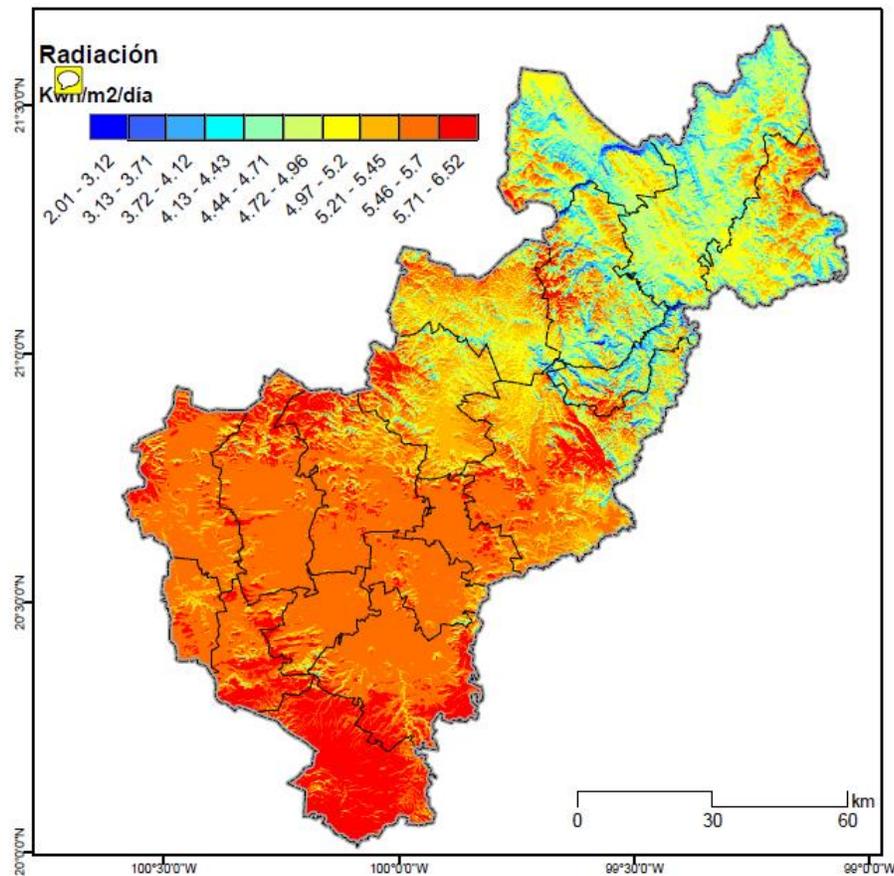


Figura 36. Radiación promedio anual en el estado de Querétaro de Arteaga.

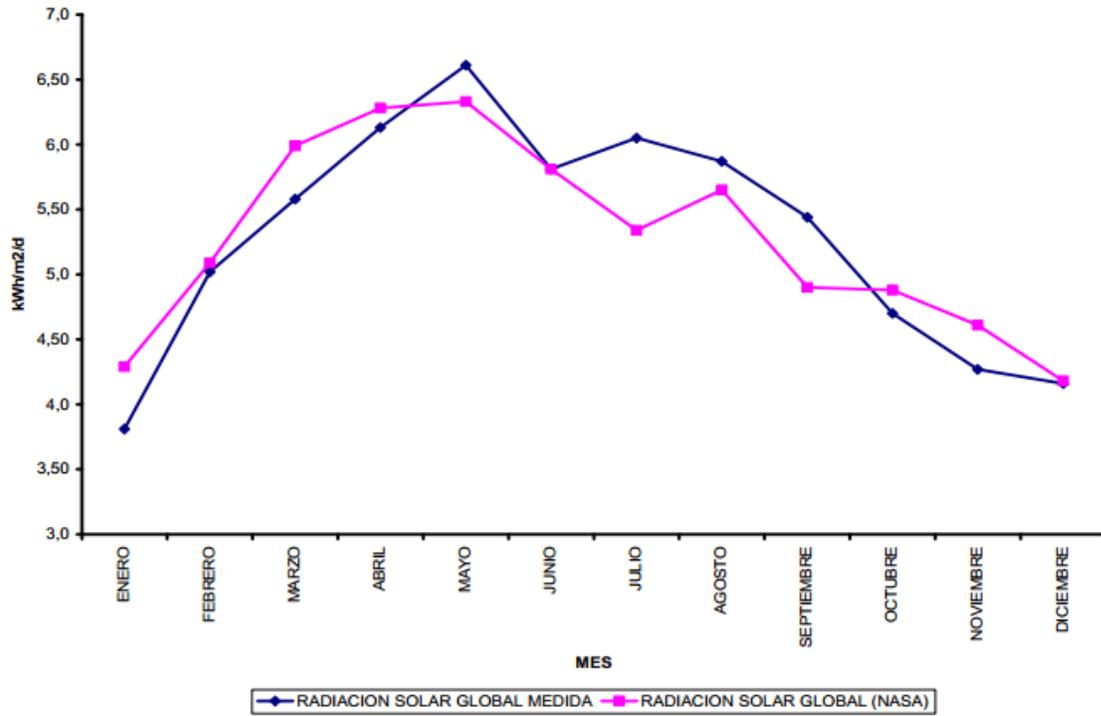


Figura 37. Radiación solar global sobre una superficie horizontal comparada con las realizadas por la NASA, en la ciudad de Querétaro.

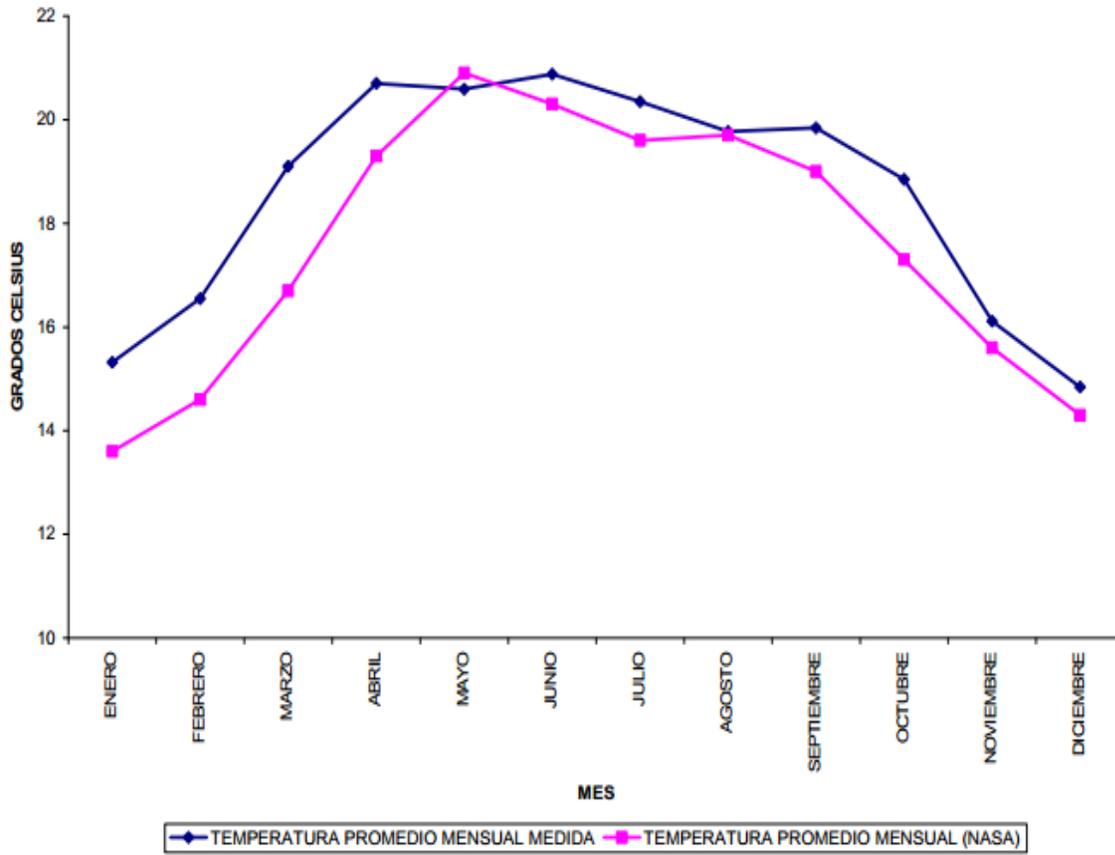


Figura 38. Comparación de temperatura medida por la estación Davis Vantage Pro y la proporcionada por la NASA, en la ciudad de Querétaro.

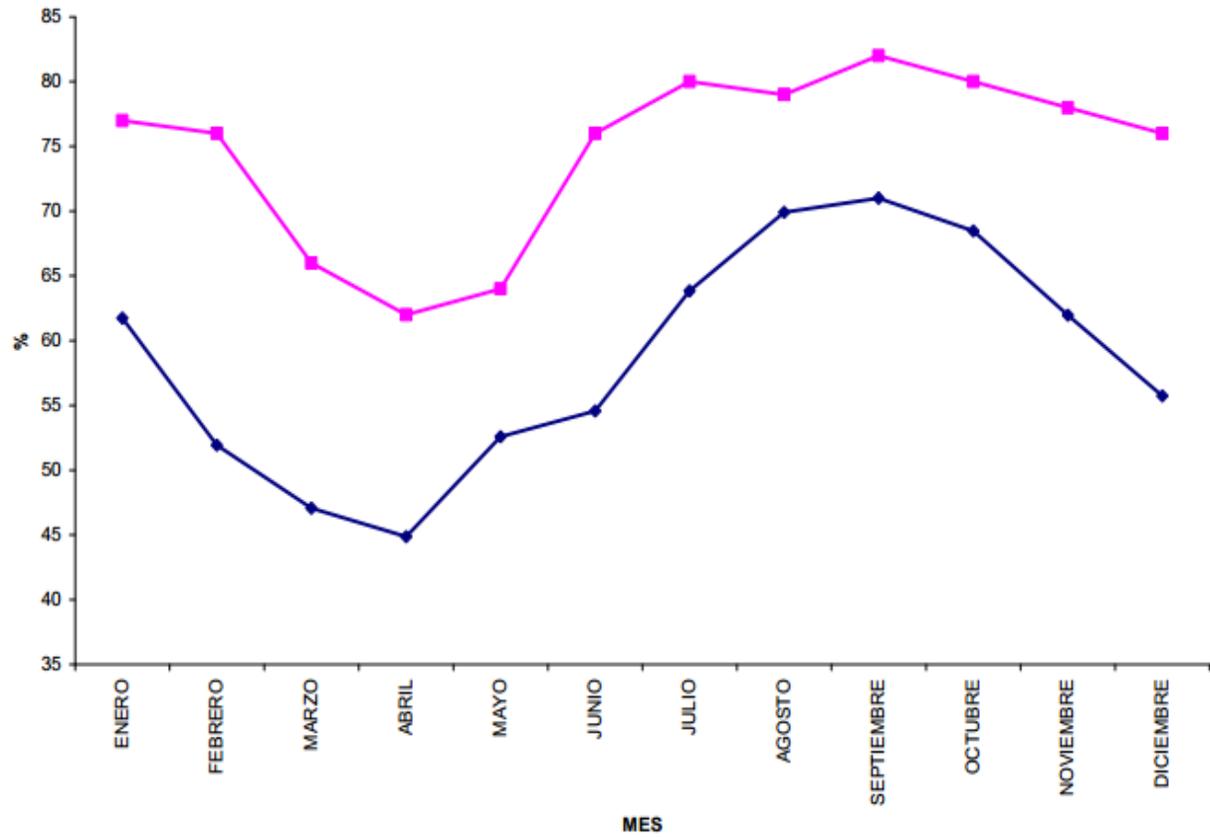


Figura 39. Humedad Relativa medida por la NASA y por la estación Davis Vantage Pro, en la ciudad de Querétaro de Arteaga.

Tabla 4. Resumen de radiación, temperatura y humedad relativa en la ciudad de Querétaro de Arteaga durante el periodo de julio 2006 a junio 2007.

Mes	Radiación global diaria sobre una superficie horizontal, promediada mensualmente (MJ/m ²)	Temperatura ambiente promedio mensual (°C)	Humedad relativa, promedio mensual %
Enero 2007	13.72	15.3	61.8
Febrero 2007	18.07	16.6	51.9
Marzo 2007	20.09	19.1	47.1
Abril 2007	22.07	20.7	44.9
Mayo 2007	23.80	20.6	52.6
Junio 2007	20.92	20.9	54.6
Julio 2006	21.78	20.4	63.8
Agosto 2006	21.13	19.8	69.9
Septiembre 2006	19.58	19.8	71.0
Octubre 2006	16.92	18.9	68.5
Noviembre 2006	15.37	16.1	62.0
Diciembre 2006	14.98	14.8	55.7

ANEXO 2. Metodología LEED Asociadas a la Evaluación de Sustentabilidad en Edificaciones Particulares y Empresas

La metodología LEED, presenta un “*check list*” de evaluación. Dicho listado está basado en indicadores de sustentabilidad. Los puntos básicos a tratar son sitios sustentables, recursos materiales, innovación y diseño, eficiencia del recurso hídrico, energía y confort interno. Cada uno de estos rubros se subdivide para su mejor clasificación y ponderación. Se maneja con un total de 69 puntos. La **Tabla 5** nos muestra la propuesta de evaluación de LEED.

Project Checklist

Sustainable Sites

14 Possible Points

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Prereq 1	Erosion & Sedimentation Control	Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 1	Site Selection	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 2	Urban Redevelopment	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 3	Brownfield Redevelopment	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 4.1	Alternative Transportation , Public Transportation Access	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 4.2	Alternative Transportation , Bicycle Storage & Changing Rooms	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 4.3	Alternative Transportation , Alternative Fuel Vehicles	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 4.4	Alternative Transportation , Parking Capacity	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 5.1	Reduced Site Disturbance , Protect or Restore Open Space	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 5.2	Reduced Site Disturbance , Development Footprint	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 6.1	Stormwater Management , Rate and Quantity	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 6.2	Stormwater Management , Treatment	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 7.1	Heat Island Effect , Non-Roof	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 7.2	Heat Island Effect , Roof	1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 8	Light Pollution Reduction	1

Materials & Resources

13 Possible Points

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
<input checked="" type="checkbox"/>				Prereq 1	Storage & Collection of Recyclables		Required
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 1.1	Building Reuse , Maintain 75% of Existing Shell		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 1.2	Building Reuse , Maintain 100% of Shell		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 1.3	Building Reuse , Maintain 100% Shell & 50% Non-Shell		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 2.1	Construction Waste Management , Divert 50%		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 2.2	Construction Waste Management , Divert 75%		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 3.1	Resource Reuse , Specify 5%		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 3.2	Resource Reuse , Specify 10%		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 4.1	Recycled Content , Specify 5% (p.c. + 1/2 p.i.)		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 4.2	Recycled Content , Specify 10% (p.c. + 1/2 p.i.)		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 5.1	Local/Regional Materials , 20% Manufactured Locally		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 5.2	Local/Regional Materials , of 20% in MRc5.1, 50% Harvested Locally		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 6	Rapidly Renewable Materials		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 7	Certified Wood		1

Innovation & Design Process

5 Possible Points

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 1.1	Innovation in Design		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 1.2	Innovation in Design		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 1.3	Innovation in Design		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 1.4	Innovation in Design		1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 2	LEED™ Accredited Professional		1

Water Efficiency

5 Possible Points

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 1.1	Water Efficient Landscaping , Reduce by 50%	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 1.2	Water Efficient Landscaping , No Potable Use or No Irrigation	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 2	Innovative Wastewater Technologies	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 3.1	Water Use Reduction , 20% Reduction	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 3.2	Water Use Reduction , 30% Reduction	1

Energy & Atmosphere

17 Possible Points

<input checked="" type="checkbox"/>		Prereq 1	Fundamental Building Systems Commissioning	Required	
<input checked="" type="checkbox"/>		Prereq 2	Minimum Energy Performance	Required	
<input checked="" type="checkbox"/>		Prereq 3	CFC Reduction in HVAC&R Equipment	Required	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 1	Optimize Energy Performance	1–10
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 2.1	Renewable Energy , 5%	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 2.2	Renewable Energy , 10%	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 2.3	Renewable Energy , 20%	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 3	Additional Commissioning	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 4	Ozone Depletion	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 5	Measurement & Verification	1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Credit 6	Green Power	1

Indoor Environmental Quality

15 Possible Points

<input checked="" type="checkbox"/>	Prereq 1	Minimum IAQ Performance	Requirec
<input checked="" type="checkbox"/>	Prereq 2	Environmental Tobacco Smoke (ETS) Control	Requirec
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 1	Carbon Dioxide (CO₂) Monitoring	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 2	Ventilation Effectiveness	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 3.1	Construction IAQ Management Plan , During Construction	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 3.2	Construction IAQ Management Plan , Before Occupancy	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 4.1	Low-Emitting Materials , Adhesives & Sealants	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 4.2	Low-Emitting Materials , Paints	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 4.3	Low-Emitting Materials , Carpet	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 4.4	Low-Emitting Materials , Composite Wood	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 5	Indoor Chemical & Pollutant Source Control	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 6.1	Controllability of Systems , Perimeter	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 6.2	Controllability of Systems , Non-Perimeter	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 7.1	Thermal Comfort , Comply with ASHRAE 55-1992	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 7.2	Thermal Comfort , Permanent Monitoring System	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 8.1	Daylight & Views , Daylight 75% of Spaces	1
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Credit 8.2	Daylight & Views , Views for 90% of Spaces	1

Project Totals

69 Possible Points

Certified 26-32 points **Silver** 33-38 points **Gold** 39-51 points **Platinum** 52-69 points

Tabla 5. “Check list” empleado por la metodología LEED para evaluación de construcciones sustentables.

ANEXO 3. Metodología PCES Asociada a la Evaluación de Sustentabilidad en Viviendas Habitación.

El Anexo 3 nos muestra una guía rápida de evaluación de edificaciones sustentables. La guía de PCES se basa en cuantificación de sustentabilidad por conducto de los siguientes rubros: Impacto ambiental, energía, agua, y manejo de residuos sólidos. En la **Figura 40** se muestra la forma de evaluación de Impacto Ambiental. De la misma forma encontramos los lineamientos de evaluación en materia de Energía, se aprecia en la **Figura 41**. En la **Figura 42** vemos el puntaje para aprovechamiento de agua. Finalmente, la **Figura 43** muestra en manejo de residuos sólidos. (15)

IMPACTO AMBIENTAL y OTROS IMPACTOS	15 puntos
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Cumplimiento Normativo: NADF-001-RNAT-2006, Certificado de uso de suelo específico y factibilidades, cumplimiento de área permeable</i> • <i>Expediente limpio</i> • <i>Autorización de impacto ambiental en la modalidad correspondiente</i> • <i>Acuerdo de liberación de cumplimiento de condicionantes en la etapa de construcción</i> • <i>Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Construcción</i> • <i>Cumplimiento de condicionantes en operación, así como mantenimiento de áreas verdes de acuerdo al Resolutivo.</i> • <i>Licencia Ambiental Única, en caso procedente</i> 	<p style="text-align: center;">Requisito</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Incremento del número de cajones de estacionamiento por arriba de lo estipulado en Reglamento (superficiales y/o elevados)</i> 	<p>Acciones con puntaje</p>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reutilización de estructuras existentes</i> • <i>Reciclaje de predios</i> 	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Uso de materiales reciclados para construcción</i> • <i>Uso de materiales ambientalmente amigables para acabados</i> • <i>Distancia de proveedores (Uso de productos locales)</i> 	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Culturización (Responsabilidad en el cuidado de las mascotas y la recolección y disposición de sus desechos)</i> 	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Uso de productos biodegradables para limpieza y mantenimiento.</i> 	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Respeto de arbolado existente</i> 	

Figura 40. Lineamientos de evaluación en materia de impacto ambiental

ENERGÍA	25 puntos
<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento Normativo: <ul style="list-style-type: none"> - NOM-008-ENER-2001, - NOM-007-ENER-2004, -NADF-008-AMBT-2006 (Especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar), - NOM-013-ENER-2004, - NOM-018-ENER, etc. 	<p>Requisito</p> 
<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia Energética: <ul style="list-style-type: none"> - Programa de ahorro de energía (diseño implementación) - Ahorro de Energía Eléctrica (ej. Equipos con sello FIDE, adecuaciones bioclimáticas, eficiencia en climatización interior, etc.) - Ahorro en combustibles y sustitución de los mismos - Uso de tecnología eficiente para iluminación (ej. lámparas fluorescentes) 	<p>Acciones con puntaje</p> 
<ul style="list-style-type: none"> - Uso de energías renovables (ej. Sistemas fotovoltaicos, paneles solares). - Aprovechamiento de iluminación natural 	

Figura 41. Lineamientos de evaluación en materia de energía.

AGUA	25 puntos
<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento administrativo y normativo: <ul style="list-style-type: none"> - Pago de derechos de agua, - NOM-001-SEMARNAT-1996, -NOM-002-SEMARNAT-1996, -NOM-003-SEMARNAT-1997, -NOM-004-SEMARNAT-2002 (Máximos permisibles en lodos y biosólidos...) -NMX-C-415-ONNCCE-1999 (Especificaciones técnicas para instalación de accesorios para optimización de agua), -NOM-008-CNA-1998, etc. 	<p>Requisito</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Captación y uso de aguas pluviales 	
<ul style="list-style-type: none"> - Reducción en el consumo de agua 	
<ul style="list-style-type: none"> - Uso de tecnología eficiente para el consumo de agua potable (ej. dispositivos ahorradores de agua: inodoros, regaderas, mingitorios secos, grifos, etc.) 	<p>Acciones con puntaje</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Tratamiento de aguas residuales y calidad de las descargas. <ul style="list-style-type: none"> -Instalación de plantas de tratamiento -Utilización de agua residual tratada de red de distribución municipal. (Uso en servicios sanitarios, limpieza, riego de áreas verdes, lavado de autos y sistemas de enfriamiento entre otros) 	
<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de fugas (ej. mediante mantenimiento preventivo y correctivo) 	
<ul style="list-style-type: none"> - Infiltración de agua pluvial (ej. a través de pozo.) 	

Figura 42. Lineamientos de evaluación en materia de agua.

MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS	10 puntos
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Cumplimiento Legal y Normativo:</i> <ul style="list-style-type: none"> - Ley y Reglamento vigentes de Residuos Sólidos del DF - NOM-052-SEMARNAT-1993, - NADF-007-RNAT-2004 (Clarificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción en el Distrito Federal) • Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Construcción • Reglamento de construcción vigente del Distrito Federal 	<p style="text-align: center;">Requisito</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Infraestructura para almacenamiento temporal adecuada, incluyendo acceso propicio para vehículo de carga.</i> 	<p style="text-align: center;">Acciones con puntaje</p>
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mobiliario para el manejo adecuado interno</i> 	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Separación de residuos valorizables</i> 	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Señalamientos informativos y educativos claros, visibles y con materiales perdurables</i> 	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Disposición Final adecuada</i> 	
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Planes de Manejo de Residuos de Manejo Especial</i> 	

Figura 43. Lineamientos de evaluación en materia de residuos sólidos.

ANEXO 4. Muestra de reporte generado por simulaciones COMSOL

El siguiente reporte fue generado por la primer simulación realizada sobre el prototipo de PET, como se menciona en el trabajo esta primer simulación fue la más sencilla. A pesar de sencilla se muestran un gran número de datos y operaciones, necesarias para poder mostrar una imagen con gráficos del comportamiento interno y externo de la construcción, en cuestión de temperatura. El reporte muestra desde el modelo de construcción en 2D hasta el resultado final de la simulación, representado por imagen térmica.

COMSOL Model Report

1. Table of Contents

- Title - COMSOL Model Report
- Table of Contents
- Model Properties
- Geometry
- Geom1
- Geom2
- Materials/Coefficients Library
- Solver Settings
- Postprocessing
- Variables

2. Model Properties

Property	Value
Model name	
Author	
Company	
Department	
Reference	
URL	
Saved date	Nov 16, 2011 10:39:58 AM
Creation date	Oct 12, 2011 11:58:10 AM
COMSOL version	COMSOL 3.5.0.603

File name: C:\Users\FIace\Documents\Maestria\Evaluación de viviendas sustentables\Simulaciones COMSOL\PET\Simulación completa\1er simulación completa.mph

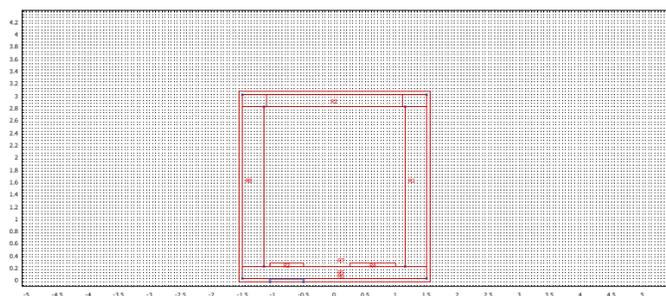
Application modes and modules used in this model:

- Geom1 (2D)
 - General Heat Transfer (Heat Transfer Module)
- Geom2 (3D)
 - General Heat Transfer (Heat Transfer Module)

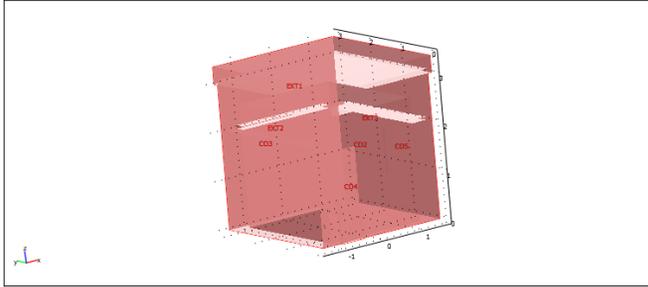
3. Geometry

Number of geometries: 2

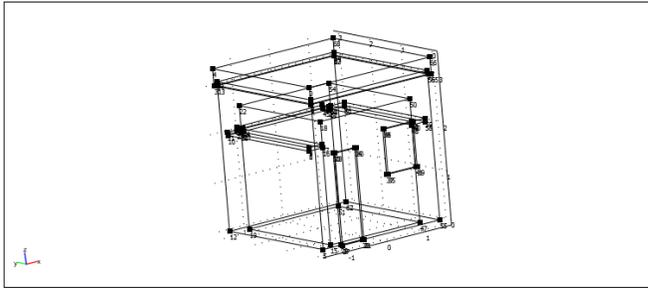
3.1. Geom1



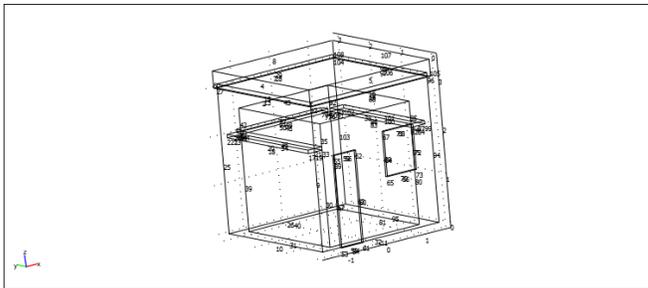
3.2. Geom2



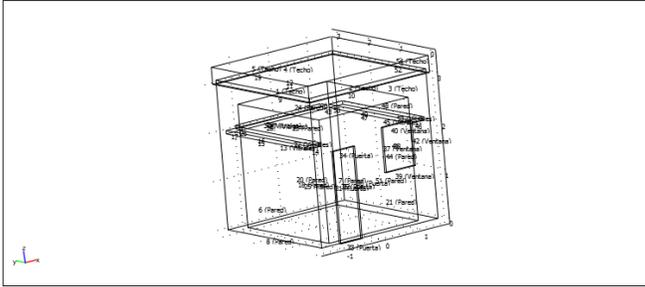
3.2.1. Point mode



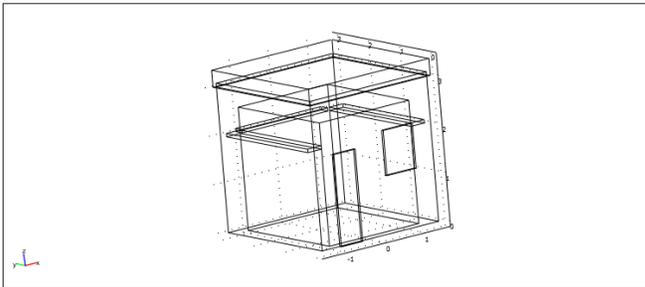
3.2.2. Edge mode



3.2.3. Boundary mode



3.2.4. Subdomain mode



4. Geom1

Space dimensions: 2D

Independent variables: x, y, z

4.1. Application Mode: General Heat Transfer (htgh)

Application mode type: General Heat Transfer (Heat Transfer Module)

Application mode name: htgh

4.1.1. Scalar Variables

Name	Variable	Value	Unit	Description
sigma	sigma_htgh	5.67e-8	W/(m ² *K ⁴)	Stefan-Boltzmann constant
Rg	Rg_htgh	8.31451	J/(mol*K)	Universal gas constant

4.1.2. Application Mode Properties

Property	Value
Default element type	Lagrange - T2 J1
Analysis type	Transient
Out-of-plane heat transfer	Disabled
Surface-to-surface radiation method	Hemicube
Radiation integration order	4
Radiation resolution	256
Cache view factors	Auto
Turbulence model	None
Predefined multiphysics application	Off
Frame	Frame (ref)
Weak constraints	Off
Constraint type	Ideal

4.1.3. Variables

Dependent variables: T, J

Shape functions:

5. Geom2

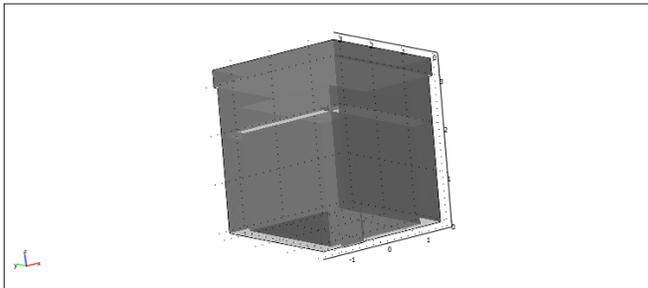
Space dimensions: 3D

Independent variables: x, y, z

5.1. Mesh

5.1.1. Mesh Statistics

Number of degrees of freedom	25677
Number of mesh points	3840
Number of elements	15804
Tetrahedral	15804
Prism	0
Hexahedral	0
Number of boundary elements	6996
Triangular	6996
Quadrilateral	0
Number of edge elements	849
Number of vertex elements	68
Minimum element quality	0.264
Element volume ratio	0.004



5.2. Application Mode: General Heat Transfer (htgh)

Application mode type: General Heat Transfer (Heat Transfer Module)

Application mode name: htgh

5.2.1. Scalar Variables

Name	Variable	Value	Unit	Description
sigma	sigma_htgh	5.67e-8	W/(m ² *K ⁴)	Stefan-Boltzmann constant
Rg	Rg_htgh	8.31451	J/(mol*K)	Universal gas constant

5.2.2. Application Mode Properties

Property	Value
Default element type	Lagrange - Linear
Analysis type	Transient
Surface-to-surface radiation method	Direct area integration
Radiation integration order	2
Radiation resolution	64
Cache view factors	Auto
Turbulence model	None
Predefined multiphysics application	Off
Frame	Frame (xyz)
Weak constraints	Off
Constraint type	Ideal

5.2.3. Variables

Dependent variables: T, J

Shape functions: shlag(1,'J'), shlag(2,'T')

Interior boundaries not active

5.2.4. Boundary Settings

Boundary		1-5, 54	6-8, 18, 20-21, 23-25, 44, 48, 51	13, 22, 27, 30, 45, 53
Type		Insulation/Symmetry	Insulation/Symmetry	Insulation/Symmetry
name		Techo	Pared	Vitrales
Shape functions (shape)		shlag(1,'J') shlag(2,'T')	shlag(1,'J') shlag(2,'T')	shlag(1,'J') shlag(2,'T')
Enable heat transfer in highly conductive layer (hclOn)		1	1	1
Layer thermal conductivity (ks)	W/(m·K)	{k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0,0;0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0,0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)]} (Granite (Japan))	{k_solid_dry_1(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0;0,k_solid_dry_1(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0,0,k_solid_dry_1(T[1/K])[W/(m ² ·K)]} (Concrete)	{k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0,0;0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0,0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)]} (Corning 7940 (fused silica))

Boundary		31, 33-36	32, 38	37, 39-40, 42
Type		Insulation/Symmetry	Insulation/Symmetry	Insulation/Symmetry
name		Puerta		Ventana
Shape functions (shape)		shlag(1,'J') shlag(2,'T')	shlag(1,'J') shlag(2,'T')	shlag(1,'J') shlag(2,'T')
Enable heat transfer in highly conductive layer (hclOn)		1	0	1
Layer thermal conductivity (ks)	W/(m·K)	{k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0,0;0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0,0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)]} (Corning 7740 (Pyrex))	{400,0,0;0,400,0;0,0,400}	{k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0,0;0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0,0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)]} (Corning 1737)

5.2.5. Subdomain Settings

Subdomain		1	2	3
Shape functions (shape)		shlag(1,'J') shlag(2,'T')	shlag(1,'J') shlag(2,'T')	shlag(1,'J') shlag(2,'T')
name			Pared	Techo
Thermal conductivity (k)	W/(m·K)	{k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0,0;0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0,0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)]} (Granite (Japan))	{k_solid_dry_1(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0,0;0,k_solid_dry_1(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0,0,k_solid_dry_1(T[1/K])[W/(m ² ·K)]} (Concrete)	{k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0,0;0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0,0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)]} (Granite (Japan))
Density (rho)	kg/m ³	rho(T[1/K])[kg/m ³] (Granite (Japan))	8700	rho(T[1/K])[kg/m ³] (Granite (Japan))
Heat capacity at constant pressure (C)	J/(kg·K)	385	385	385
Elements of type (usedElement)		Lagrange - Quadratic	Lagrange - Quadratic	Lagrange - Quadratic
Geometric multigrid with (finestMCElem)		Lagrange - Quadratic	Lagrange - Quadratic	Lagrange - Quadratic
Streamline diffusion type (sdtype)		Galerkin least-squares (GLS)	Galerkin least-squares (GLS)	Galerkin least-squares (GLS)

Subdomain		4-5	6	7
Shape functions (shape)		shlag(1,'J') shlag(2,'T')	shlag(1,'J') shlag(2,'T')	shlag(1,'J') shlag(2,'T')
name			Puerta	Ventana
Thermal conductivity (k)	W/(m·K)	{k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0,0;0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0,0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)]} (Corning 7940 (fused silica))	{k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0,0;0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0,0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)]} (Corning 7740 (Pyrex))	{k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0,0;0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0,0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)]} (Corning 1737)
Density (rho)	kg/m ³	rho(T[1/K])[kg/m ³] (Corning 7940 (fused silica))	rho(T[1/K])[kg/m ³] (Corning 7740 (Pyrex))	rho(T[1/K])[kg/m ³] (Corning 1737)
Heat capacity at constant pressure (C)	J/(kg·K)	C(T[1/K])[J/(kg·K)] (Corning 7940 (fused silica))	C(T[1/K])[J/(kg·K)] (Corning 7740 (Pyrex))	385
Elements of type (usedElement)		Lagrange - Quadratic	Lagrange - Quadratic	Lagrange - Quadratic
Geometric multigrid with (finestMCElem)		Lagrange - Quadratic	Lagrange - Quadratic	Lagrange - Quadratic
Streamline diffusion type (sdtype)		Galerkin least-squares (GLS)	Galerkin least-squares (GLS)	Galerkin least-squares (GLS)

Subdomain		8
Shape functions (shape)		shlag(1,'J') shlag(2,'T')
name		Vitrales
Thermal conductivity (k)	W/(m·K)	{k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0,0;0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)],0;0,0,k(T[1/K])[W/(m ² ·K)]} (Corning 7940 (fused silica))
Density (rho)	kg/m ³	rho(T[1/K])[kg/m ³] (Corning 7940 (fused silica))
Heat capacity at constant pressure (C)	J/(kg·K)	C(T[1/K])[J/(kg·K)] (Corning 7940 (fused silica))
Elements of type (usedElement)		Lagrange - Quadratic
Geometric multigrid with (finestMCElem)		Lagrange - Quadratic
Streamline diffusion type (sdtype)		Galerkin least-squares (GLS)

Subdomain initial value	1	2	3	4-5	6	7	8
Temperature (T)	K	330	293.15	300	330	320	320

6. Materials/Coefficients Library

6.1. Granite (Japan)

Parameter	Value
Thermal conductivity (k)	$k(T[1/K])[W/(m^*K)]$
Density (rho)	$\rho(T[1/K])[kg/m^*3]$

6.1.1. Piecewise Analytic Functions

6.1.1.1. Function: k(T)

Type: Polynomial

X _{start}	X _{end}	f(x)
293.0	385.0	0 4.111538 1 -0.003076923

6.1.1.2. Function: rho(T)

Type: Polynomial

X _{start}	X _{end}	f(x)
293.0	303.0	0 2600.0

6.2. Concrete

Parameter	Value
Thermal diffusivity (TD)	$TD_solid_moist_2(T[1/K])[m^*2/s]$
Thermal conductivity (k)	$k_solid_dry_1(T[1/K])[W/(m^*K)]$

6.2.1. Piecewise Analytic Functions

6.2.1.1. Function: k_solid_dry_1(T)

Type: Polynomial

X _{start}	X _{end}	f(x)
253.0	363.0	0 26.91105 1 -0.2477056 2 8.606168E-4 3 -1.00482E-6

6.2.1.2. Function: k_solid_moist_2(T)

Type: Polynomial

X _{start}	X _{end}	f(x)
253.0	363.0	0 -246.3297 1 3.404357 2 -0.01724425 3 3.852432E-5 4 -3.207617E-8

6.2.1.3. Function: TD_solid_dry_1(T)

Type: Polynomial

X _{start}	X _{end}	f(x)
253.0	363.0	0 -1.361995E-4 1 1.854099E-6 2 -9.285239E-9 3 2.050095E-11 4 -1.68777E-14

6.2.1.4. Function: TD_solid_moist_2(T)

Type: Polynomial

X _{start}	X _{end}	f(x)
253.0	363.0	0 -8.97668E-5 1 1.24853E-6 2 -6.327544E-9 3 1.408131E-11 4 -1.16532E-14

6.3. Corning 7940 (fused silica)

Parameter	Value
Heat capacity at constant pressure (C)	$C(T[1/K])[J/(kg^*K)]$
Instantaneous coefficient of thermal expansion (CTE)	$CTE_solid_average_6(T[1/K])[1/K]$
Young's modulus (E)	$E(T[1/K])[Pa]$
Molar heat capacity (HC)	$HC(T[1/K])[J/(mol^*K)]$
Thermal diffusivity (TD)	$TD(T[1/K])[m^*2/s]$
Thermal expansion coeff. (alpha)	$\alpha(T[1/K])[1/K] + (Tempref-293[K]) \cdot (T-Tempref) \cdot (\alpha_solid_average_6(T[1/K])[1/K] - \alpha_solid_average_6(Tempref[1/K])[1/K])$
Linear expansion (dL)	$dL_solid_average_6(T[1/K]) - dL_solid_average_6(Tempref[1/K])$
Surface emissivity (epsilon)	$\epsilon(T[1/K])$
Thermal conductivity (k)	$k(T[1/K])[W/(m^*K)]$
Initial bulk modulus (hyperelastic material) (kappa)	$\kappa(T[1/K])[Pa]$
Initial shear modulus (hyperelastic material) (mu)	$\mu(T[1/K])[Pa]$
Normal total emissivity (nemiss)	$nemiss_solid_12_7_mm_6(T[1/K])$
Poisson's ratio (nu)	$\nu(T[1/K])$
Electric resistivity (res)	$res_solid_1(T[1/K])[ohm^*m]$
Density (rho)	$\rho(T[1/K])[kg/m^*3]$
Electric conductivity (sigma)	$\sigma_solid_1(T[1/K])[S/m]$

6.3.1. Piecewise Analytic Functions

6.3.1.1. Function: dL_solid_NIST_SRM_739_Type_I_1(T)

Type: Polynomial

x_{start}	x_{end}	$f(x)$
80.0	1000.0	0 9.433058E-5 1 -1.712933E-6 2 7.374643E-9 3 -1.113379E-11 4 8.078969E-15 5 -2.330577E-18

6.3.1.2. Function: dL_solid_GE_214_Type_I_2(T)

Type: Polynomial

x_{start}	x_{end}	$f(x)$
293.0	873.0	0 9.884719E-5 1 -1.372695E-6 2 4.80309E-9 3 -4.8407E-12 4 1.733199E-15

6.3.1.3. Function: dL_solid_Sumikin_Sekiel_Type_II_3(T)

Type: Polynomial

x_{start}	x_{end}	$f(x)$
293.0	873.0	0 3.090688E-4 1 -3.131991E-6 2 1.005493E-8 3 -1.149571E-11 4 4.689161E-15

6.3.1.4. Function: dL_solid_GE012_Type_III_4(T)

Type: Polynomial

x_{start}	x_{end}	$f(x)$
293.0	873.0	0 -9.428737E-5 1 1.083184E-7 2 8.72651E-10 3 -4.916219E-13

6.3.1.5. Function: dL_solid_Sumikin_Sekiel_Type_IV_5(T)

Type: Polynomial

x_{start}	x_{end}	$f(x)$
293.0	873.0	0 -1.082547E-4 1 1.444297E-7 2 9.622844E-10 3 -6.628973E-13

6.3.1.6. Function: dL_solid_average_6(T)

Type: Polynomial

x_{start}	x_{end}	$f(x)$
80.0	1000.0	0 9.268893E-5 1 -1.660241E-6 2 7.066611E-9 3 -1.04759E-11 4 7.49591E-15 5 -2.147228E-18

6.3.1.7. Function: CTE_solid_NIST_SRM_739_Type_I_1(T)

Type: Polynomial

x_{start}	x_{end}	$f(x)$
80.0	1000.0	0 -1.712933E-6 1 1.474929E-8 2 -3.340137E-11 3 3.231588E-14 4 -1.165288E-17

6.3.1.8. Function: CTE_solid_GE_214_Type_I_2(T)

Type: Polynomial

x_{start}	x_{end}	$f(x)$
293.0	873.0	0 -1.372695E-6 1 9.60618E-9 2 -1.45221E-11 3 6.932796E-15

6.3.1.9. Function: CTE_solid_Sumikin_Sekiel_Type_II_3(T)

Type: Polynomial

x_{start}	x_{end}	$f(x)$
293.0	873.0	0 -3.131991E-6 1 2.010986E-8 2 -3.448713E-11 3 1.875664E-14

6.3.1.10. Function: CTE_solid_GE012_Type_III_4(T)

Type: Polynomial

x_{start}	x_{end}	$f(x)$
293.0	873.0	0 1.083184E-7 1 1.745302E-9 2 -1.474866E-12

6.3.1.11. Function: CTE_solid_Sumikin_Sekiel_Type_IV_5(T)

Type: Polynomial

x_{start}	x_{end}	$f(x)$
293.0	873.0	0 1.444297E-7 1 1.924569E-9 2 -1.988692E-12

6.3.1.12. Function: CTE_solid_average_6(T)

Type: Polynomial

x_{start}	x_{end}	$f(x)$
80.0	1000.0	0 -1.660241E-6 1 1.413322E-8 2 -3.14277E-11 3 2.998364E-14 4 -1.073614E-17

6.3.1.13. Function: k(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
5.0	280.0	0 0.09229359 1 0.003299521 2 4.343238E-5 3 -2.258807E-7 4 3.049078E-10
280.0	1400.0	0 -0.9854696 1 0.01820907 2 -5.290512E-5 3 7.552525E-8 4 -5.008123E-11 5 1.311324E-14
1400.0	1473.0	0 -1798.509 1 4.192721 2 -0.003251176 3 8.408144E-7

6.3.1.14. Function: E(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
2.0	170.0	0 7.19219E10 1 -7.955576E7 2 1200039.0 3 -7440.215 4 21.72957 5 -0.02394189
170.0	1700.0	0 6.906825E10 1 1.167539E7 2 11447.54 3 -25.91953 4 0.01545627 5 -3.022226E-6

6.3.1.15. Function: res_solid_1(T)

Type: Exponential polynomial

X_start	X_end	f(x)
293.0	823.0	0 102.5761 1 -0.4185428 2 8.035453E-4 3 -7.491946E-7 4 2.719273E-10

6.3.1.16. Function: res_liquid_OVISIL_452_2(T)

Type: Exponential polynomial

X_start	X_end	f(x)
513.0	1933.0	0 83.74513 1 -0.2199519 2 2.781716E-4 3 -1.867744E-7 4 6.392137E-11 5 -8.774596E-15

6.3.1.17. Function: epsilon(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
75.0	312.0	0 0.7243795 1 5.530512E-5

6.3.1.18. Function: alpha_solid_NIST_SRM_739_Type_I_1(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
80.0	1000.0	0 -3.695793E-7 1 5.412844E-9 2 -1.114924E-11 3 1.004725E-14 4 -3.418476E-18

6.3.1.19. Function: alpha_solid_GE_214_Type_I_2(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
293.0	873.0	0 -3.373624E-7 1 3.533558E-9 2 -4.332873E-12 3 1.733199E-15

6.3.1.20. Function: alpha_solid_Sumikin_Sekiel_Type_II_3(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
293.0	873.0	0 -1.054842E-6 1 7.089247E-9 2 -1.012179E-11 3 4.689161E-15

6.3.1.21. Function: alpha_solid_GE012_Type_III_4(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
293.0	873.0	0 3.217999E-7 1 7.286058E-10 2 -4.916219E-13

6.3.1.22. Function: alpha_solid_Sumikin_Sekiel_Type_IV_5(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
293.0	873.0	0 3.6947E-7 1 7.680555E-10 2 -6.628973E-13

6.3.1.23. Function: alpha_solid_average_6(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
80.0	1000.0	0 -2.964104E-7 1 4.486769E-9 2 -8.553927E-12 3 7.361755E-15 4 -2.477538E-18

6.3.1.24. Function: C(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
20.0	115.0	0 -41.8562 1 3.449789 2 -0.002681788
115.0	925.0	0 61.49405 1 1.926794 2 0.004463629 3 -1.704271E-5 4 1.88109E-8 5 -7.062466E-12
925.0	2000.0	0 890.2414 1 0.3707459 2 -1.107604E-4 3 3.139437E-8

6.3.1.25. Function: HC(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
20.0	115.0	0 -2.195319 1 0.2035589 2 -1.778359E-4
115.0	925.0	0 3.394744 1 0 1154128 2 2.697214E-4 3 -1.027028E-6 4 1.133063E-9 5 -4.253438E-13
925.0	2000.0	0 53.46386 1 0.02165728 2 -6.251109E-6 3 1.800145E-9

6.3.1.26. Function: mu(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
2.0	170.0	0 3.093791E10 1 -2.513966E7 2 372325.4 3 -2429.327 4 7.746996 5 -0.009450154
170.0	450.0	0 3.087221E10 1 -6676611.0 2 36600.0 3 -35.83581
450.0	1700.0	0 2.914548E10 1 9388166.0 2 -8173.552 3 3.504887 4 -5.616985E-4

6.3.1.27. Function: sigma_solid_1(T)

Type: General

X_start	X_end	f(x)
293.0	823.0	1/(exp(2.719273E-10*T^4-7.491946E-07*T^3+8.035453E-04*T^2-4.185428E-01*T+1.025761E+02))

6.3.1.28. Function: sigma_liquid_OVISIL_452_2(T)

Type: General

X_start	X_end	f(x)
513.0	1933.0	1/(exp(-8.774596E-15*T^5+6.392137E-11*T^4-1.867744E-07*T^3+2.781716E-04*T^2-2.199519E-01*T+8.374513E+01))

6.3.1.29. Function: nemiss_solid_2_01_mm_1(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
700.0	1300.0	0 0.6255714 1 2.190476E-4 2 -2.952381E-7

6.3.1.30. Function: nemiss_solid_4_18_mm_2(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
700.0	1300.0	0 0.7781429 1 -4.285714E-6 2 -1.857143E-7

6.3.1.31. Function: nemiss_solid_5_82_mm_3(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
700.0	1300.0	0 0.8337143 1 -4.333333E-5 2 -1.619048E-7

6.3.1.32. Function: nemiss_solid_8_08_mm_4(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
700.0	1300.0	0 0.9227143 1 -1.028571E-4 2 -1.357143E-7

6.3.1.33. Function: nemiss_solid_10_mm_5(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
700.0	1300.0	0 0.8728571 1 1.095238E-4 2 -2.333333E-7

6.3.1.34. Function: nemiss_solid_12_7_mm_6(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
78.0	1083.0	0 0.8225463 1 -1.664831E-4 2 5.394821E-7 3 -4.842056E-10

6.3.1.35. Function: rho(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
80.0	1000.0	0 2219.39 1 0.01105999 2 -4.708012E-5 3 6.980692E-8 4 -4.995273E-11 5 1.430874E-14

6.3.1.36. Function: TD(T)

Type: Polynomial

x_start	x_end	f(x)
82.0	1039.0	0 1.559138E-6 1 -4.991949E-9 2 1.170891E-11 3 -1.277613E-14 4 5.492523E-18

6.3.1.37. Function: nu(T)

Type: Polynomial

x_start	x_end	f(x)
2.0	170.0	0 0.1623859 1 -3.46611E-4 2 5.42002E-6 3 -2.78502E-8 4 4.878708E-11
170.0	950.0	0 0.1442531 1 2.285363E-4 2 -9.253567E-7 3 1.832686E-9 4 -1.635196E-12 5 5.369587E-16
950.0	1700.0	0 0.04194888 1 4.230553E-4 2 -4.739473E-7 3 2.308844E-10 4 -4.040605E-14

6.3.1.38. Function: kappa(T)

Type: Polynomial

x_start	x_end	f(x)
2.0	170.0	0 3.548804E10 1 -7.249187E7 2 1081126.0 3 -5664.153 4 10.51074
170.0	950.0	0 3.234657E10 1 2.830576E7 2 -87346.28 3 175.3606 4 -0.1614875 5 5.404807E-5
950.0	1700.0	0 1.341176E10 1 8.005859E7 2 -86531.61 3 41.37606 4 -0.007122425

6.3.1.39. Function: eta_liquid_OVISIL_405_1(T)

Type: Exponential polynomial

x_start	x_end	f(x)
1318.0	2128.0	0 240.2656 1 -0.3055429 2 1.41874E-4 3 -2.293621E-8

6.3.1.40. Function: eta_liquid_OVISIL_452_2(T)

Type: Exponential polynomial

x_start	x_end	f(x)
1440.0	2263.0	0 185.2354 1 -0.1953707 2 7.753523E-5 3 -1.110292E-8

6.4. Corning 7740 (Pyrex)

Parameter	Value
Heat capacity at constant pressure (C)	C(T[1/K])[J/(kg*K)]
Young's modulus (E)	E(T[1/K])[Pa]
Thermal diffusivity (TD)	TD(T[1/K])[m^2/s]
Thermal expansion coeff. (alpha)	alpha(T[1/K])[1/K]+(Tempref-293[K])/(T-Tempref)*(alpha(T[1/K])[1/K]-alpha(Tempref[1/K])[1/K])
Linear expansion (dL)	dL(T[1/K])-dL(Tempref[1/K])
Surface emissivity (epsilon)	epsilon_solid_5_2mm_thick_4(T[1/K])
Thermal conductivity (k)	k(T[1/K])[W/(m*K)]
Initial bulk modulus (hyperelastic material) (kappa)	kappa(T[1/K])[Pa]
Initial shear modulus (hyperelastic material) (mu)	mu(T[1/K])[Pa]
Normal total emissivity (nemiss)	nemiss(T[1/K])
Poisson's ratio (nu)	nu(T[1/K])
Electric resistivity (res)	res(T[1/K])[ohm*m]
Density (rho)	rho(T[1/K])[kg/m^3]
Electric conductivity (sigma)	sigma(T[1/K])[S/m]

6.4.1. Piecewise Analytic Functions

6.4.1.1. Function: dL(T)

Type: Polynomial

x_start	x_end	f(x)
0.0	80.0	0 -5.465879E-4 1 -1.25E-7 2 -3.020833E-8 3 6.25E-10 4 -2.604167E-12
80.0	673.0	0 -5.97183E-4 1 -1.112134E-7 2 1.288373E-8 3 -2.540265E-11 4 2.471846E-14 5 -9.026049E-18

6.4.1.2. Function: k(T)

Type: Polynomial

x_start	x_end	f(x)
90.0	522.0	0 0.1448239 1 0.00500369 2 -6.929144E-6 3 3.477568E-9

6.4.1.3. Function: E(T)

Type: Polynomial

x_start	x_end	f(x)
293.0	773.0	0 6.069563E10 1 6408672.0

6.4.1.4. Function: res(T)

Type: Exponential polynomial

x_start	x_end	f(x)
293.0	423.0	0 144.02 1 -0.7492484 2 0.001992116 3 -2.629179E-6 4 1.378133E-9

6.4.1.5. Function: epsilon_solid_1_05mm_thick_1(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
293.0	480.0	0 0.8478935 1 -1.877544E-4
480.0	720.0	0 0.7689194 1 1.869195E-4 2 -4.372668E-7

6.4.1.6. Function: epsilon_solid_2_01mm_thick_2(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
293.0	460.0	0 0.8041844 1 -4.397655E-5
460.0	720.0	0 0.7029096 1 4.699847E-4 2 -6.377368E-7

6.4.1.7. Function: epsilon_solid_3_06mm_thick_3(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
293.0	520.0	0 0.8057734 1 -4.274084E-5
520.0	720.0	0 0.6171016 1 7.144348E-4 2 -7.56706E-7

6.4.1.8. Function: epsilon_solid_5_2mm_thick_4(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
293.0	520.0	0 0.7985075 1 -1.653627E-17
520.0	720.0	0 0.6447954 1 6.641856E-4 2 -7.094119E-7

6.4.1.9. Function: alpha(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
0.0	160.0	0 1.851582E-6 1 1.163474E-8 2 -4.953918E-11 3 8.923476E-14
160.0	673.0	0 2.186498E-6 1 5.435716E-9 2 -1.068489E-11 3 7.4749E-15

6.4.1.10. Function: C(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
20.0	700.0	0 -54.4515 1 3.650568 2 -0.003602436 3 1.22855E-6

6.4.1.11. Function: mu(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
293.0	773.0	0 2.487521E10 1 2240750.0

6.4.1.12. Function: sigma(T)

Type: General

X_start	X_end	f(x)
293.0	423.0	1/(exp(1.378133E-09*T^4-2.629179E-06*T^3+1.992116E-03*T^2-7.492484E-01*T+1.440200E+02))

6.4.1.13. Function: nemiss(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
80.0	1086.0	0 0.878232 1 -6.238731E-5

6.4.1.14. Function: rho(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
0.0	80.0	0 2233.66 1 0.002833638 2 6.584951E-5 3 -1.396822E-6
80.0	673.0	0 2234.113 1 -0.002096489 2 -6.441875E-5 3 9.703111E-8 4 -5.572413E-11

6.4.1.15. Function: TD(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
293.0	633.0	0 5.738761E-7 1 -1.01864E-10

6.4.1.16. Function: nu(T)

Type: Polynomial

X_start	X_end	f(x)
293.0	773.0	0 0.2204121 1 1.722974E-5

6.4.1.17. Function: kappa(T)

Type: Polynomial

x_start	x_end	f(x)
293.0	773.0	0 3.607632E10 1 6468087.0

6.5. Corning 1737

Parameter	Value
Instantaneous coefficient of thermal expansion (CTE)	CTE(T[1/K])/1/K]
Thermal expansion coeff. (alpha)	alpha(T[1/K])/1/K)+(Tempref-293[K])/(T-Tempref)*(alpha(T[1/K])/1/K)-alpha(Tempref[1/K])/1/K]
Linear expansion (dL)	dL(T[1/K])-dL(Tempref[1/K])
Thermal conductivity (k)	k(T[1/K])/W/(m*K)]
Density (rho)	rho(T[1/K])/kg/m^3]

6.5.1. Piecewise Analytic Functions

6.5.1.1. Function: dL(T)

Type: Polynomial

x_start	x_end	f(x)
293.0	723.0	0 -2.211684E-4 1 -1.497E-6 2 9.062733E-9 3 -4.700576E-12
723.0	993.0	0 0.1485072 1 -7.331061E-4 2 1.357052E-6 3 -1.108031E-9 4 3.388026E-13

6.5.1.2. Function: CTE(T)

Type: Polynomial

x_start	x_end	f(x)
293.0	600.0	0 -1.497E-6 1 1.812547E-8 2 -1.410173E-11

6.5.1.3. Function: k(T)

Type: Polynomial

x_start	x_end	f(x)
293.0	873.0	0 3.059773 1 -0.01440464 2 3.319949E-5 3 -3.091431E-8 4 1.030809E-11

6.5.1.4. Function: alpha(T)

Type: Polynomial

x_start	x_end	f(x)
293.0	723.0	0 7.548497E-7 1 7.685433E-9 2 -4.700548E-12
723.0	993.0	0 -2.431276E-5 1 1.042942E-7 2 -1.291864E-10 3 5.369374E-14

6.5.1.5. Function: rho(T)

Type: Polynomial

x_start	x_end	f(x)
293.0	993.0	0 2549.648 1 0.002001813 2 -6.820849E-5 3 2.603025E-8

7. Solver Settings

Solve using a script: off

Analysis type	Transient
Auto select solver	On
Solver	Time dependent
Solution form	Automatic
Symmetric	auto
Adaptive mesh refinement	Off
Optimization/Sensitivity	Off
Plot while solving	Off

7.1. Direct (UMFPACK)

Solver type: Linear system solver

Parameter	Value
Pivot threshold	0.1
Memory allocation factor	0.7

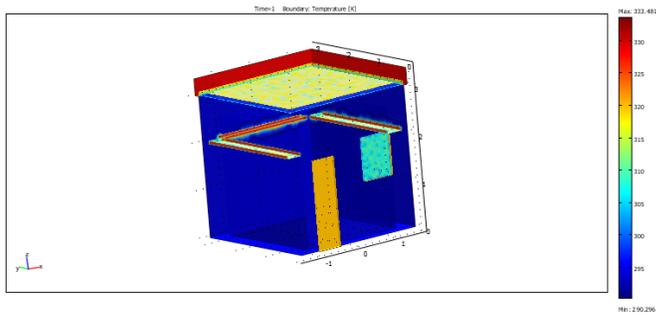
7.2. Time Stepping

Parameter	Value
Times	range(0,0.1,1)
Relative tolerance	0.01
Absolute tolerance	0.0010
Times to store in output	Specified times
Time steps taken by solver	Intermediate
Maximum BDF order	5
Singular mass matrix	Yes
Consistent initialization of DAE systems	On
Error estimation strategy	Include algebraic
Allow complex numbers	Off

7.3. Advanced

Parameter	Value
Constraint handling method	Elimination
Null-space function	Automatic
Automatic assembly block size	On
Assembly block size	1000
Use Hermitian transpose of constraint matrix and in symmetry detection	Off
Use complex functions with real input	Off
Stop if error due to undefined operation	On
Store solution on file	Off
Type of scaling	Automatic
Manual scaling	
Row equilibration	On
Manual control of reassembly	Off
Load constant	On
Constraint constant	On
Mass constant	On
Damping (mass) constant	On
Jacobian constant	On
Constraint Jacobian constant	On

8. Postprocessing



TRABAJOS PRESENTADOS

Trabajos presentados

1. Novel Green alternative with a Housing Prototype constructed using Recycled PET Bottles. PART I: Building Walls and Roof (*J.J. Pérez Bueno1, M.L. Mendoza López, F.R. Ceja Soto, M.E. Pérez Ramos, J.L. Reyes Araiza, R. Ramírez Jiménez, J.C. Rubio Avalos, A. Manzano Ramírez*).
2. Novel Green alternative with a Housing Prototype constructed using Recycled PET Bottles. PART II: Evaluating Thermal Performance and Thermal Simulation.(*J.J. Pérez Bueno1, M.L. Mendoza López, F.R. Ceja Soto, M.E. Pérez Ramos, J.L. Reyes Araiza, R. Ramírez Jiménez, J.C. Rubio Avalos, A. Manzano Ramírez*).
3. Desempeño Higrotérmico de un Prototipo de Vivienda Sustentable Construido con Diferentes Materiales de Índole Sustentable. Congreso ANCA 2012, ISBN: 923-546-687-4. (*F.R. Ceja Soto, J.J. Pérez Bueno1, A. Manzano Ramírez*).
4. Monitoreo y Simulación Térmica de un Prototipo de Vivienda Construido a Base de Botellas de PET. Congreso ANCA 2012, ISBN: 923-546-687-4. (*F.R. Ceja Soto, J.J. Pérez Bueno1, A. Manzano Ramírez*).
5. Evaluación de Prototipos de Vivienda Sustentable y de Bajo Costo, 8o Foro de Ingeniería e Investigación en Materiales 2011, ISBN 970-9798-07-3. (*F.R. Ceja Soto, J.J. Pérez Bueno1, A. Manzano Ramírez*).
6. Evaluación de Prototipos de Vivienda Sustentable y de Bajo Costo, capítulo del libro Estrategias Sustentables. (*J.J. Pérez Bueno, F.R. Ceja Soto*).
7. Metodología de Construcción de un Prototipo de Vivienda Sustentable Construido a Base de Botellas de PET Enteras y Acondicionamiento de un Techo Verde. Mayo 2012. Constancia. (*F.R. Ceja Soto, J.J. Pérez Bueno1, A. Manzano Ramírez*).
8. Evaluación Higrotérmica y Simulación Térmica de un Prototipo de Vivienda Construido a Base de Materiales de Reciclaje. Mayo 2012. Constancia. (*F.R. Ceja Soto, J.J. Pérez Bueno1, A. Manzano Ramírez*).
9. Escritura de un capítulo del libro que publicará la RIIVSBC , sobre indicadores de sustentabilidad.(*J.J. Pérez Bueno, F.R. Ceja Soto*).