JUAN MARTÍN GONZÁLEZ CASTAÑEDA

AISLAMIENTO TÉRMICO DE UNA VIVIENDA Y DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURADOS PARA LAS ENVOLVENTES CON BASE EN UN ESTUDIO TÉRMICO VOLUMÉTRICO

2015

Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

AISLAMIENTO TÉRMICO DE UNA VIVIENDA Y DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURADOS PARA LAS ENVOLVENTES CON BASE EN UN ESTUDIO TÉRMICO VOLUMÉTRICO

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias
(Estructuras)

Presenta

Juan Martín González Castañeda

Santiago de Querétaro, Qro., Marzo de 2015.

REPOSITORIO INSTITUCIONAL DGBSDI-UAQ

La presente obra está bajo la licencia:
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es

CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada , brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios . Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales .

SinDerivadas — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una excepción o limitación aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como publicidad, privacidad, o derechos morales pueden limitar la forma en que utilice el material.

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias

AISLAMIENTO TÉRMICO DE UNA VIVIENDA Y DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURADOS PARA LAS ENVOLVENTES CON BASE EN UN ESTUDIO TÉRMICO VOLUMÉTRICO

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias

Presenta:
Ing. Juan Martín González Castañeda

Dirigido por:
Dr. Jaime Moisés Horta Rangel.
Director

SINODALES

Dr. Jaime Moisés Horta Rangel
Presidente — Firma

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
Secretario — Firma

Dr. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández
Vocal — Firma

Dra. María de la Luz Pérez Rea
Suplente — Firma

Dra. Teresa López Lara
Suplente — Firma

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad de Ingeniería

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Marzo de 2015
México

RESUMEN

A medida que el uso de la energía en el sector de la construcción representa una parte importante de las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo, hay una demanda para mejorar la eficiencia energética de las construcciones. Por lo tanto, se están introduciendo conceptos como casas pasivas donde se logra tener un confort térmico de manera natural y se evita en lo posible utilizar sistemas electromecánicos. Con el fin de satisfacer las demandas de una mayor eficiencia energética, el aislamiento térmico de las construcciones juega un papel importante. El comportamiento térmico de una vivienda está relacionado con las propiedades termofísicas de los materiales de construcción, por lo que es muy importante analizar las variaciones de temperatura y con ello controlar las condiciones térmicas de los espacios interiores para obtener condiciones de confort térmico. En este trabajo se estudia el comportamiento del aislamiento térmico de una vivienda mediante el planteamiento de diseños de elementos estructurados normados de las envolventes los cuales permitieron identificar materiales de construcción apropiados que garantizaron el confort térmico al interior de ésta. Tomando como base un prototipo de vivienda experimental en la cual se registraron las temperaturas en el ambiente externo y en el interior de ésta, se validó un modelo térmico volumétrico en estado transitorio generado en ANSYS, en donde se simularon las características reales de geometría, materiales y temperatura. Después de la validación se simuló el comportamiento de diferentes arreglos de materiales de aislamiento térmico y se determinó su influencia en la eficiencia energética y en el confort al interior de la vivienda.

Palabras clave: Aislamiento térmico, confort térmico, presupuesto energético, resistencia térmica, análisis térmico volumétrico.

SUMMARY

As the use of energy in the building sector represents an important part of emissions of greenhouse gases in the world, there is a demand to improve energy efficiency of buildings. Therefore, concepts as passive houses are introduced where a naturally thermal comfort is obtained, and is avoided as far as possible the use of electromechanical systems. In order to meet the demands of increased energy efficiency, thermal insulation of buildings plays an important role. The thermal behavior of a housing is associated with the thermophysical properties of the materials of construction, so it is very important to analyze the changes in temperature and thereby control the thermal conditions of the indoor spaces for obtain thermal comfort conditions. In this work the behavior of the thermal insulation of a house is studied, using the design of components regulated for main envelopes, which allowed the identification of appropriate building materials that guaranteed thermal comfort within this. Based on an experimental prototype housing in which temperatures of the external environment and of the internal housing were recorded, to validate the volumetric thermal transient model generated in ANSYS, where the real characteristics of geometry, materials and temperature were simulated. After validating the behavior of different arrangements of insulation materials was simulated and its influence was determined for the energy efficiency and comfort into the home.

Keywords: Thermal insulation, thermal comfort, energy budget, thermal resistance, volumetric thermal analysis.

DEDICATORIAS

La presente tesis se la dedico a Dios, quien me dio fuerza, paciencia y sabiduría. A mis hermanos por su apoyo, confianza y amor. A mis padres por brindarme los recursos necesarios, por estar a mi lado apoyándome, aconsejándome siempre y por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor. Gracias por ayudarme a cumplir mis objetivos como persona y estudiante.

A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi tesis.

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, acompañándome en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

Agradezco a Dios quien me dio la fuerza y la fe.

Agradezco a mi familia, quien me dio apoyo y me enseñaron a que el trabajo es bien recompensado.

Agradezco a mi asesor, Dr. Jaime Horta Rangel, por su apoyo, por el ánimo que me brindó y por enriquecer con su conocimiento este trabajo.

Al Dr. Manuel Toledano Ayala por su ayuda en la adquisición del equipo de medición utilizado en esta tesis.

A mi profesor y coordinador de la maestría, el Dr. Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández, por su apoyo, sus aportaciones y enseñanzas a lo largo de la redacción de esta tesis.

A la Dra. María de la Luz Pérez Rea y a la Dra. Teresa López Lara por su cálida atención, por sus comentarios en el proceso de elaboración de la tesis y sus atinadas correcciones.

Gracias también a mis queridos compañeros, que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante estos dos años de convivir dentro y fuera del salón de clase.

A la Universidad Autónoma de Querétaro y a la Facultad de Ingeniería por darme lugar en sus instalaciones y brindarme su atención.

A todos ellos muchas gracias.

ÍNDICE

Página

RESUMEN.....i

SUMMARY ii

DEDICATORIAS.....iii

AGRADECIMIENTOS.....iv

ÍNDICE v

ÍNDICE DE TABLAS..... viii

ÍNDICE DE FIGURAS.....ix

1. INTRODUCCIÓN 1

1.1 Justificación. 4

1.2 Hipótesis y objetivo. 7

1.2.1 Hipótesis. 7

1.2.2 Objetivo general..... 7

1.2.3 Objetivos particulares. 7

2. REVISIÓN DE LITERATURA 9

2.1 Antecedentes. 9

2.2 Materiales de aislamiento térmico utilizados actualmente. 14

2.2.1 Poliestireno expandido (EPS). 14

2.2.2 Poliestireno extruido (XPS). 16

2.2.3 Lana mineral. 17

2.2.4 Celulosa. 19

2.2.5 Poliuretano (PUR). 19

2.2.6 Otros materiales de construcción 20

2.3 Modos de transferencia de calor. 20

2.3.1 Conducción. 21
2.3.2 Convección. 24
2.3.3 Radiación. 25
2.4 Coeficiente global de transferencia de calor. 26
2.5 Análisis transitorio unidimensional. 27
2.6 Ecuación de calor para cuerpos tridimensionales. 29
2.7 Método de elementos finitos. 33
2.7.1 Proceso de discretización del dominio. 34
2.7.2 Tipo de elemento finito. 35
2.7.3 Tamaño de los elementos finitos. 37
2.7.4 Número de los elementos finitos. 38
2.7.5 Mallado 38
2.8 Consideraciones en el modelo computacional. 40
2.8.1 Conductividad térmica. 40
2.8.2 Densidad. 42
2.8.3 Calor específico. 43
3. METODOLOGÍA. 49
3.1 Fase preliminar. 51
3.2 Fase experimental. 51
3.2.1 Caracterización de los materiales. 51
3.2.2 Equipo de medición de temperatura. 54
3.3 Fase teórica. 57
3.3.1 Modelo analítico. 57
3.4 Validación del modelo. 66
3.5 Fase Teórica 2. 67

3.6 Comparación de los resultados. 67
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. 69
4.1 Mediciones de temperatura. 69
4.2 Modelación computacional. 79
4.3 Validación del modelo computacional. 83
4.4 Comportamiento de los materiales de aislamiento térmico. 84
4.4.1 Poliestireno expandido en muros exteriores. 84
4.4.2 Lana de vidrio en muros exteriores. 88
5. CONCLUSIONES 93
6. BIBLIOGRAFÍA 95
7. ANEXOS 101
7.1 Apéndice A. Registros de los sensores de temperatura. 101
7.2 Apéndice B. Resultados de la modelación en ANSYS. 107
7.3 Apéndice C. Código en ANSYS. 119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla **Página**

2.1. Resistencia térmica de un elemento de la envolvente. 13
2.2. Valores de conductividad térmica y densidad obtenidos de ensayos del EPS. 15
3.1. Especificaciones técnicas de los Data Loggers. 54
3.2. Propiedades termofísicas de los materiales utilizados en el modelo. 63
3.3. Indicadores de los distintos materiales.....64
4.1. Propiedades termofísicas de los materiales reales de la vivienda. 79
4.2. Propiedades termofísicas equivalentes de los distintos materiales utilizados en la modelación de la vivienda en ANSYS. 80
4.3. Resistencia térmica total para el muro con poliestireno expandido.....85
4.4. Propiedades termofísicas equivalentes del muro exterior con EPS. 86
4.5. Resistencia térmica total para el muro con lana de vidrio. 89
4.6. Propiedades termofísicas equivalentes del muro exterior con GW. 90
7.1. Mediciones de los diversos sensores de temperatura.....101
7.2. Resultados de la modelación de la vivienda en ANSYS. 107
7.3. Resultados de la simulación utilizando EPS en la vivienda.....111
7.4. Resultados de la simulación utilizando GW en la vivienda.....115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura **Página**

1.1. Importancia del sector residencial en el consumo final de energía en México. 4
1.2. Población nacional 5
2.1. Regiones ecológicas de México. 12
2.2. Relación de la conductividad térmica y la densidad del EPS. 16
2.3. Comparación de la conductividad térmica para diferentes densidades de la lana de vidrio y la lana de roca. 18
2.4. Pérdida de calor a través de una pare. 21
2.5. Dirección del flujo de calor. 22
2.6. Pared compuesta con N-capas acopladas. 28
2.7. Representación gráfica de la amplitud del flujo de calor Q (W/m^2), la amplitud de la temperatura exterior (°C) y el desfase o retardo δ (horas). 29
2.8. Volumen de control. 30
2.9. Discretización del MEF. 34
2.10. Idealización del medio semi-infinito. 35
2.11. Elemento finito hexaédrico con 8 nodos. 36
2.12. Sistema de coordenadas locales r, s, t. 37
2.13. Efecto de la variación en el número de elementos. 38
2.14. Tipos de mallados. 39
2.15. Materiales que componen la losa tipo vigueta y bovedilla. 46
2.16. Habitación con cuatro viguetas al interior. 46
3.1. Esquema general de la metodología. 49
3.2. Diagrama de flujo de la metodología. 50
3.3. Losa de piso de la vivienda tipo. 52
3.4. Muro exterior de la vivienda. 52
3.5. Muro interior de la vivienda. 53
3.6. Losa de techo maciza. 53

Figura **Página**

3.7. Data Logger Watchdog Serie 1000 y sensor externo de temperatura.....54
3.8. Ubicación de los sensores en el interior y exterior de la vivienda. 55
3.9. Colocación del sensor de temperatura a la pared. 56
3.10. Diagrama de flujo del programa en ANSYS. 58
3.11. Ventana de geometría de la vivienda y envolventes. 59
3.12. Vista en perfil del modelo. 59
3.13. Ventana de materiales para el muro exterior. 60
3.14. Materiales para la cimentación. 60
3.15. Materiales para el muro interior. 61
3.16. Materiales para el techo. 61
3.17. Tipo de ventana y puerta. 62
3.18. Espesor del vidrio. 62
3.19. Espesor de la puerta. 62
3.20. Modelo computacional de la vivienda. 64
3.21. Interior del modelo de la vivienda. 65
3.22. Condiciones iniciales del análisis térmico transitorio. 66
4.1. Ubicación de los sensores de temperatura. 69
4.2. Ubicación espacial de los sensores al interior de la vivienda. 70
4.3. Ubicación del sensor de temperatura $T_{int\ muro\ 1m}$. 71
4.4. Corte transversal A – A'. 71
4.5. Gráfica de temperaturas al interior de la vivienda durante 5 meses. 72
4.6. Gráfica de temperaturas al exterior de la vivienda durante 5 meses. 72
4.7. Gráfica de temperaturas al interior y exterior de la vivienda durante 5 meses. 72
4.8. Gráfica del sensor de "temperatura interior 1m. muro". 75
4.9. Gráfica del sensor de "temperatura interior muro". 75
4.10. Gráfica del sensor de "temperatura interior losa". 75
4.11. Gráfica del sensor de "temperatura interior 1m. losa". 76
4.12. Gráfica del sensor de "temperatura interior suelo". 76
4.13. Gráfica del sensor de "temperatura exterior sombra". 76

Figura **Página**

4.14. Gráfica del sensor de “temperatura exterior sol”. 76
4.15. Gráfica de temperaturas del 27, 28 y 29 de abril.....77
4.16. Temperaturas representativas para un mes.....78
4.17. Análisis de la temperatura nodal. 81
4.18. Nodo de estudio al interior de la vivienda modelada. 82
4.19. Extracción de datos de la temperatura nodal. 82
4.20. Gráfica de validación del modelo computacional. 83
4.21. Muro exterior con poliestireno expandido utilizado en la modelación. 84
4.22. Materiales para el muro exterior. 85
4.23. Gráfica de temperaturas utilizando EPS en el modelo. 86
4.24. Gráfica comparativa al interior de la vivienda utilizando EPS en el modelo. 87
4.25. Muro exterior con lana de vidrio. 88
4.26. Materiales para el muro exterior. 89
4.27. Gráfica de temperaturas utilizando GW en el modelo. 90
4.28. Gráfica comparativa al interior de la vivienda utilizando GW en el modelo. 91

1. INTRODUCCIÓN

Un elemento crítico en el costo de la vivienda, que a menudo no es considerado de manera directa y, peor aún, frecuentemente es omitido, es la energía, tanto la que se consume durante la construcción, como la que se utilizará posteriormente en la vivienda. Esta consideración tiene importantes efectos de tipo económico y ambiental y, por consecuencia, influye en el desarrollo y los estándares de vida a corto y largo plazo (CONAFOVI, 2008).

La creciente preocupación por la eficiencia energética de las viviendas en México ha impulsado el desarrollo de diversas normas oficiales mexicanas para la energía como la NOM-ENER (Griego et al., 2012). La normalización para la eficiencia energética en las edificaciones representa un esfuerzo encaminado a mejorar el diseño térmico de edificios y lograr el confort de sus habitantes con un consumo menor de energía (CONUEE, 2012).

La norma NOM-020-ENER-2011 define a la envolvente de una vivienda, como el conjunto de elementos que limitan o conforman su espacio interior, es decir, se compone de los elementos constructivos de la vivienda que separan las habitaciones del ambiente exterior y de las particiones interiores, como lo son techos, paredes, vanos, puertas, pisos y superficies inferiores. Mientras que el término de elemento estructurado se refiere a la combinación de varios materiales para formar un arreglo que presenta soluciones constructivas de aislamiento térmico y los cuales pueden formar parte parcial o total de los elementos de la envolvente.

Para el diseño y la construcción de viviendas en México, existen empresas que se dedican a la elaboración y oferta de materiales termo aislantes, así como de diversos materiales de construcción, tecnología y sistemas constructivos, entre otros, que permiten reducir la ganancia o pérdida de calor a través de la envolvente en la vivienda.

Por otro lado, muchos de los requerimientos energéticos descritos en la guía que la CONAVI (Comisión Nacional de Vivienda) propone, el CEV (Código de Edificación de Vivienda), están vinculados a la NOM-ENER y otras normas oficiales. Con respecto a la envolvente del edificio, el CEV se refiere a la NMX-C-460-ONNCCE-2009, la cual es una norma que especifica valores de resistencia térmica recomendadas para las envolventes de vivienda de ocho regiones de clima existentes en México. El CEV también ofrece recomendaciones generales de diseño de edificios para diferentes zonas climáticas de México. Sin embargo, estas regiones de clima no corresponden con los definidos en la NMX-C-460-ONNCCE-2009. Además, las recomendaciones de sostenibilidad propuestos para cada zona climática son muy ambiguas y no específicas (Griego et al., 2012).

Aunque éste es un buen punto de partida para el estudio del marco normativo y de los aspectos en materia de aislamiento térmico de una vivienda en México a un mayor nivel de detalle, la coherencia entre las clasificaciones de zonas climáticas debe ser establecida para asegurar el cumplimiento.

Las técnicas constructivas en vivienda, los materiales en uso y un diseño arquitectónico apropiado que considere una eficiente orientación, entre otros, son aspectos que influyen en el confort de una vivienda. La NOM-020-ENER (Eficiencia Energética en edificaciones) establece criterios generales para evaluar la eficiencia global térmica de una vivienda, basada en un denominado presupuesto energético, para el cual se determinan las ganancias de calor, el cual no es un parámetro que permita una solución global que incluya todas las localidades en la república mexicana y las distintas designaciones de cada una en cualquier época del año, situación que en otros países si es considerado. Esta norma sugiere la aplicación de opciones “prestacionales”, éstas opciones requieren la revisión particular de casos y eventos que demuestren mediante estudios más exhaustivos y detallados, la aplicación de materiales y de diversas técnicas, permitiendo con ello modificar las resistencias térmicas de las envolventes aunque no cumplan de manera específica con la Normatividad de resistencia térmica del elemento estructurado.

Por lo anterior y debido a los diversos sistemas constructivos, este trabajo contempló la aplicación de los procedimientos de análisis térmico a diferentes tipos de materiales usados de manera cotidiana en la construcción en Querétaro, y aplicables tanto para vivienda media como popular, revisando opciones viables y accesibles para su uso y aplicabilidad, ya que algunas soluciones arquitectónicas aumentan el costo de la vivienda y su uso suele ser restringido para este tipo de viviendas. Además, las viviendas de un solo nivel, muy comunes para personas de bajos recursos, son mucho más calurosas debido a que no existe un entrepiso que ayude a la disminución de la temperatura al interior de ésta. Además se contempló el análisis de la vivienda bajo temperaturas específicas regionales (NOM-020-ENER), en el que mediante el uso apropiado de materiales termoaislantes se contribuyera con la minimización de los costos energéticos y del uso racional de la energía.

Este estudio se realizó mediante un análisis térmico volumétrico, el cuál es un análisis que permite conocer la distribución de las temperaturas al interior de un cuerpo, en este caso al interior de la vivienda. Esta información resulta útil para calcular la ganancia de calor al interior de ésta e interpretar su comportamiento. Este análisis se realizó mediante las ecuaciones de elemento finito para la determinación de la distribución volumétrica de la temperatura al interior de la vivienda, donde la incógnita básica en la transferencia de calor es la temperatura (Rao, 2011). Dentro de estas ecuaciones se toma en cuenta la difusividad térmica que involucra las constantes de conductividad térmica, la densidad y el calor específico de los elementos de las envolventes de la vivienda.

1.1 Justificación.

El consumo de energía de las viviendas en México es cada vez mayor y representa casi el 17% de la demanda total del país (Figura 1.1).

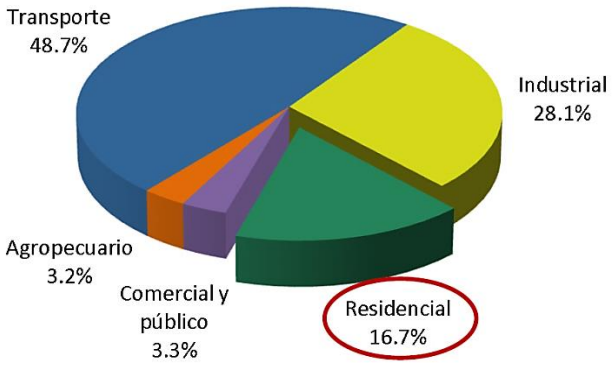


Figura 1.1. Importancia del sector residencial en el consumo final de energía en México (SENER, 2010).

El crecimiento de la población en México tiene un comportamiento exponencial (Figura 1.2) y del mismo modo, el número de viviendas en México va en aumento, entre 1996 y 2006 las unidades habitacionales aumentaron de 20.4 millones a 26 millones, donde casi el 78 % eran viviendas en la región urbana (Rosas-Flores, 2011). Por otra parte, se estima que el número de unidades de vivienda alcanzará casi 50 millones en el año 2030 (Feng Lui, 2010), haciendo hincapié en la importancia de aplicar medidas de eficiencia energética en los hogares de construcción nuevos y existentes. Por ésto la utilización de materiales de construcción adecuados al clima es muy importante en la aplicación y seguimiento de programas de ahorro de energía y confort térmico en México. Para saber si los materiales son adecuados para la construcción de edificios, viviendas confortables y económicas en el aspecto energético, es necesario conocer las propiedades termofísicas de los materiales utilizados para su edificación (Pérez et al., 2002).

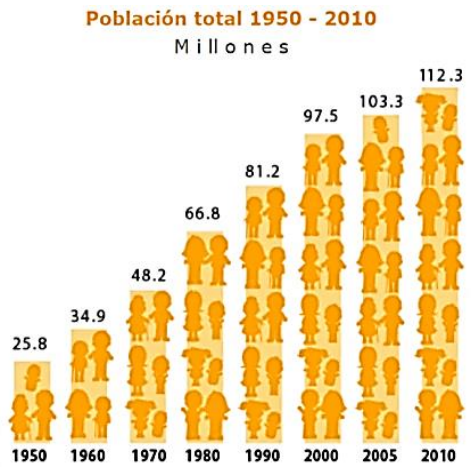


Figura 1.2. Población nacional (INEGI, 2010)

El empleo de aislamiento térmico es una de las maneras más eficaces de conservación de energía en la construcción. Por lo tanto, la selección de un material de aislamiento adecuado y la determinación del espesor óptimo de aislamiento son particularmente vitales (Yu et al., 2009).

En la actualidad más del 90% de la energía que se consume en México, tiene su origen en la quema de combustibles que produce grandes cantidades de CO_2. Es por ello que la energía que se puede ahorrar en viviendas y edificios ayuda a reducir la demanda energética y las emisiones de contaminantes a la atmósfera (Rojas et al., 2010). Un adecuado aislamiento térmico de las viviendas contribuye a la disminución de la demanda de energía para calefacción y refrigeración, reduce el impacto ambiental y genera una mejor calidad de vida de la población. El aislamiento aumenta la vida útil del edificio y representa una plusvalía ya que se aprecia la calidad y el valor patrimonial de la construcción.

Es por ello que la eficiencia energética de viviendas y edificios cobra cada vez más importancia en cierta medida por los costos gubernamentales que esto implica. En la edificación, las estrategias que se orientan a modificar las actividades humanas con el fin de minimizar el deterioro ambiental y garantizar la sustentabilidad en los procesos de desarrollo, impulsan nuevas exigencias a lo largo del proceso de diseño y construcción relativos al ahorro de energía.

Desafortunadamente todavía se carece de medidas y parámetros para su implementación sobre todo hoy que el cambio climático es un tema que merece toda la atención (NMX- C-460-0NNCCE, 2009).

Los diseños arquitectónicos, técnicas constructivas y materiales actualmente usados y referidos a vivienda de escasos y medianos recursos conducen por lo general a espacios cada vez menores, a materiales de calidad inadecuada y con ello a las circunstancias negativas que provoca en las personas que habitan estas viviendas, por esta razón, es el interés de la identificación de parámetros y materiales que influyan sobre la eficiencia energética de la vivienda.

Por otro lado, la existencia de normas y reglamentos inadecuados, o la falta de ellos, tienen efectos negativos sobre la seguridad de las edificaciones y la provisión de infraestructura básica y servicios mínimos, especialmente en la vivienda construida para personas de bajos ingresos. En este campo, en México existe una gran diversidad en la reglamentación y obsolescencia de los instrumentos, además de escasos intentos por contar con una herramienta útil que permita establecer la calidad y la habitabilidad. Por lo que se ha estado homologando con el sistema de códigos de otros países (CONAVI, 2007).

La Norma NOM-020-ENER-2011 establece como criterio para revisión de la eficiencia energética de una vivienda el concepto de Presupuesto Energético, que es la comparación de las ganancias de calor entre una vivienda propuesta (proyectada) denominada ϕ_p y otra asociada a una vivienda de referencia ϕ_r. De esta manera, para garantizar el cumplimiento, la ganancia de referencia debe ser mayor que la ganancia correspondiente a la vivienda propuesta. En los dos casos, se considera las ganancias debido a radiación, conducción, y convección. El análisis propone el uso de temperaturas promedio de la localidad para época de verano, pero no se especifican criterios para las épocas frías de invierno y que en particular en la región Queretana llega en algunas localidades a rebasar los -10ºC, la pérdida de calor en las viviendas en esa época es crítica y el uso de calefacción es inevitable para el confort al interior de la vivienda.

1.2 Hipótesis y objetivo.

1.2.1 Hipótesis.

Un estudio térmico volumétrico de una vivienda que incluya la variación local y detallada de las variaciones de temperatura, permitirá establecer componentes y materiales estructurados más eficientes que influyan en un mejor diseño de las envolventes (muros y techos), repercutiendo ésto en un presupuesto energético eficiente.

1.2.2 Objetivo general.

Analizar el comportamiento del aislamiento térmico de una vivienda mediante el planteamiento de diseños de elementos estructurados normados de las envolventes que permitan identificar tecnologías y materiales de construcción más apropiados que garanticen la eficiencia energética.

1.2.3 Objetivos particulares.

- Determinar resistencias térmicas y coeficientes de transmisión de calor de los elementos estructurados a diseñar conforme a la normatividad mexicana.
- Estudiar las fenomenologías de transferencia de calor y modelar el caso transitorio correspondiente al fenómeno térmico de la vivienda.
- Analizar y estudiar las temperaturas al interior y al exterior de la vivienda, mediante un monitoreo, para tener un elemento característico de la ciudad de Querétaro.
- Comparar y revisar los resultados obtenidos del estudio térmico experimental y el analítico, para proponer un diseño que mejore el confort térmico.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se hace una revisión de las distintas normas referentes a aislamiento térmico, además de comparar las distintas propiedades de diferentes materiales de aislamiento térmico para conocer sus limitaciones y posibilidades, posteriormente se revisan las ecuaciones y el procedimiento de solución al problema de transferencia de calor en estado transitorio por método de elemento finito.

2.1 Antecedentes.

La vivienda y su entorno urbano son elementos básicos que sustentan la vida diaria en México y cada día se comprueba cómo un diseño adecuado, una ubicación apropiada, una correcta planeación urbana y regional, un proceso de edificación y una operación de la vivienda efectivos, van a tener repercusión no sólo en la productividad económica, sino también en la salud de sus habitantes y en el medio ambiente natural. Entonces el diseño y construcción de los desarrollos habitacionales debe ser integral y orientado bajo diferentes perspectivas para inducir un desarrollo ordenado, a mejorar el confort y el ambiente interno de la vivienda, a promover los ahorros mediante el uso eficiente de la energía, y la utilización de materiales de construcción y equipos eficientes. Por lo tanto, una vivienda deberá ser eficiente, construida con sistemas constructivos y tecnologías óptimas para que sus habitantes puedan enfrentar las condiciones climáticas extremas que prevalecen en algunas zonas del país (CONAVI, 2007).

La eficiencia energética, al incorporar aislamiento térmico, aumenta el nivel de confort con grandes ahorros de energía, ésto se ha convertido en una herramienta que los constructores han adoptado para asegurar un aumento en la calidad de vida de los usuarios de las edificaciones. Las nuevas medidas también se traducen en una mejor salud para los habitantes de casas térmicamente

confortables, obteniendo una mayor productividad al brindar espacios idóneos para el trabajo y para el descanso (ONNCCE, 2012). Además una de las maneras más efectivas para reducir la tasa de transmisión de calor y el consumo de energía por refrigeración y calefacción de un espacio, es la utilización de un aislamiento térmico adecuado en la envolvente de la vivienda (Daouas, 2011).

En México, y en el mundo, hay investigadores y constructores que están volviendo a diseñar y construir casas y edificios tomando en cuenta el clima del lugar. La idea no es regresar a construir de la misma manera que lo nuestros antepasados, sino utilizar los conocimientos actuales, los nuevos materiales y las nuevas herramientas de cómputo para diseñar espacios habitables confortables que no requieran sistemas de calefacción o enfriamiento que consumen grandes cantidades de energía (Rojas et al., 2010). Por lo que, el Grupo de Energía en Edificaciones (GEE) del Centro de Investigación en Energía (CIE) de la UNAM estudiaron la convección natural que ocurre cerca de una pared vertical parcialmente calentada, fenómeno que se presenta por ejemplo en muros con ventanas (Barrios et al., 2005). También estudiaron la convección y ventilación en habitaciones interconectadas (Tovar y Campo, 2010). Estas investigaciones se llevaron a cabo con experimentos de laboratorio y con simulaciones numéricas. En el laboratorio usaron modelos a escala y emplearon diversas técnicas experimentales como la Schlieren para visualizar gradientes de densidad, la velocimetría Doppler y la velocimetría por imágenes de partículas para la medición de las velocidades del flujo y el uso de termopares para medir temperatura. Para las simulaciones numéricas desarrollaron códigos propios y también usaron programas comerciales.

La energía como recurso, es la base del desarrollo económico y la dinámica social de cualquier ciudad o región. Por ello, los códigos de vivienda sustentable están empezando a cobrar gran fuerza en Europa, Norteamérica y Latinoamérica. Organismos como Communities (2010) trabajan en la regulación de los códigos de vivienda en el Reino Unido; en España se cuenta con un Código

Técnico de la Edificación (C.T.E., 2009) que mediante el apartado HE-1, contempla los requisitos de eficiencia energética de la envolvente mediante el estudio de 12 zonas climáticas, tanto en régimen de invierno como de verano; por otra parte el Instituto Argentino de Normalización (IRAM), una asociación civil sin fines de lucro, establece normas técnicas de los valores y los métodos fundamentales para el cálculo de las propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario (IRAM 11601, 2002), además establece la zonificación de la República Argentina de acuerdo con un criterio bioambiental, indicando las características climáticas de cada zona (IRAM 11603, 2011) y los valores máximos de transmitancia térmica (resistencia térmica mínima) de los elementos de la envolvente de la vivienda, introduciendo exigencias relativas a la protección que debe ser lograda a fin de garantizar las condiciones ambientales mínimas de habitabilidad (IRAM 11605, 1996). Mientras que en Estados Unidos existe el manual del ASHRAE (American Society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers, Inc.), el cuál proporciona los requisitos mínimos para los diseños de eficiencia energética de las viviendas (ASHRAE, 2009).

En el 2007, la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), uno de los organismos federales reguladores para la valoración y definición de las envolventes de una vivienda en México, desarrolló la primera edición de una norma para la construcción de viviendas, Código de Edificación de Vivienda (CEV) y desde entonces ha sido reformada en 2010. De igual manera, la Comisión Nacional para Fomento a la Vivienda (CONAFOVI), un organismo privado no lucrativo, creado para promover acciones que induzcan y fomenten el ahorro y uso racional de la energía eléctrica, elaboró en 2008 una guía sobre el uso eficiente de la energía en la vivienda, considerando sistemas pasivos de diseño bioclimático (masa térmica, asoleamiento, control solar, vientos, entre otros), en donde emite algunas recomendaciones para el diseño arquitectónico y urbano de acuerdo con el estudio de los bioclimas de las diversas zonas ecológicas de México (Figura 2.1) y del comportamiento solar. Esta guía sitúa a Querétaro en la zona de

templado seco, y realiza recomendaciones de la resistencia térmica de los elementos de la envolvente para situaciones de ahorro de energía y para confort térmico (CONAFOVI, 2008).

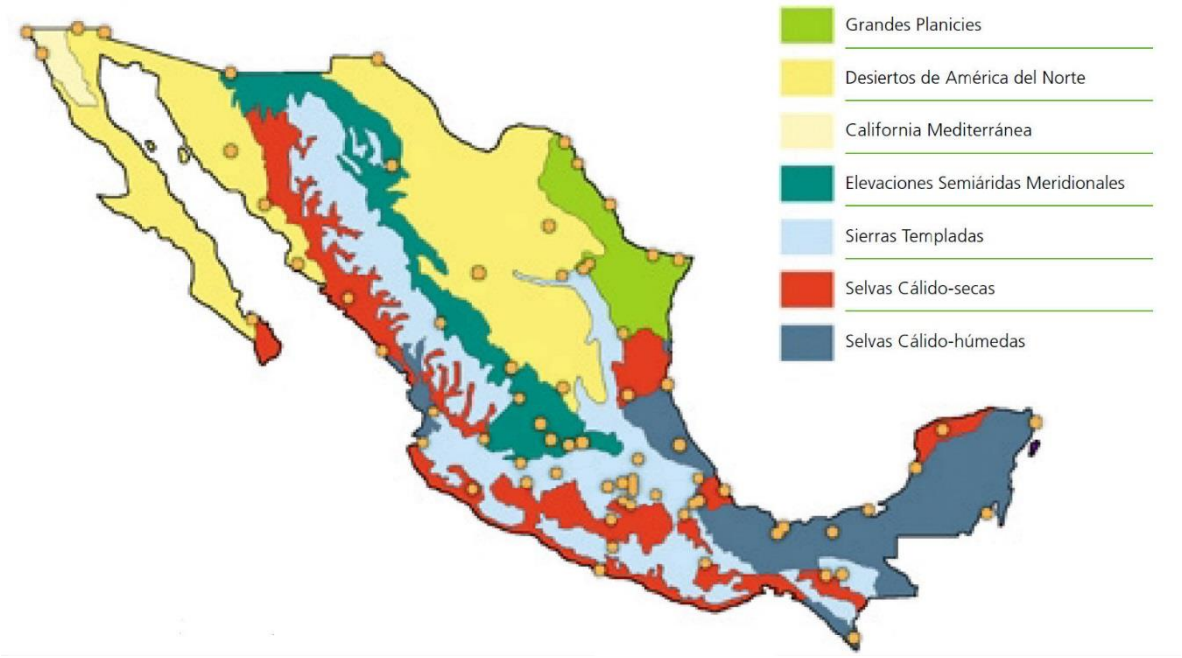


Figura 2.1. Regiones ecológicas de México (CONAFOVI, 2008).

Una perspectiva de investigación aplicada en las zonas desérticas de México, ha basado su principio en la creación de tecnologías y sistemas ahorradores de energía incorporando aislamiento térmico, uno de los principales factores determinante para resolver la problemática ambiental y energética de dicha región, llevando así a una mejor práctica y responsabilidad en el uso de la energía (Calderón, 2011).

En México el acondicionamiento térmico de las edificaciones repercute en gran medida en la demanda pico del sistema eléctrico, siendo mayor su impacto en las zonas norte y costeras del país, en donde es más común el uso de equipos de enfriamiento que el de calefacción. En este sentido existen normas para optimizar el diseño desde el punto de vista del comportamiento térmico de la

envolvente, obteniéndose como beneficios entre otros, el ahorro de energía y la disminución de la capacidad de los equipos de enfriamiento.

La norma mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009 incorpora información relevante que ayuda a disminuir el uso de energía en las viviendas por concepto de climatización al proporcionar, para las diferentes zonas climáticas del país, las características que deben cumplir los elementos constructivos que constituyen a la envolvente de la vivienda, tales como techos, muros y entrepisos, mediante la determinación de los valores de resistencia térmica total (valor "R") de acuerdo a la zona térmica en donde se localice la vivienda y al propósito inmediato del aislamiento, por lo que establece valores mínimos, para lograr habitabilidad, y para ahorrar energía. Dichos valores asocian las propiedades térmicas de los materiales componentes de las envolventes. Esta investigación enfoca el estudio a la ciudad de Querétaro, la cual se ubica en la zona térmica 3A.

En la Tabla 2.1 se muestran los valores de resistencia térmica total de un elemento de la envolvente que la norma propone, en el que a muros le corresponde un valor mínimo de “R” de 1.00 m^2K/W y 1.40 m^2K/W para techos.

Tabla 2.1. Resistencia térmica de un elemento de la envolvente (NMX-C-460-ONNCCE, 2009).

Zona Térmica No.	Techos m² K / W (ft² h °F /BTU)			Muros m² K / W (ft² h °F /BTU)			Entrepisos Ventilados m² K / W (ft² h °F /BTU)		
	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía
1	1,40 (8,00)	2,10 (12,00)	2,65 (15,00)	1,00 (5,70)	1,10 (6,00)	1,40 (8,00)	NA	NA	NA
2	1,40 (8,00)	2,10 (12,00)	2,65 (15,00)	1,00 (5,70)	1,10 (6,00)	1,40 (8,00)	0,70 (4,00)	1,10 (6,00)	1,20 (7,00)
3A, 3B y 3C	1,40 (8,00)	2,30 (13,00)	2,80 (16,00)	1,00 (5,70)	1,23 (7,00)	1,80 (10,00)	0,90 (5,00)	1,40 (8,00)	1,60 (9,00)
4A, 4B y 4C	1,40 (8,00)	2,65 (15,00)	3,20 (18,00)	1,00 (5,70)	1,80 (10,00)	2,10 (12,00)	1,10 (6,00)	1,80 (10,00)	1,90 (11,00)

2.2 Materiales de aislamiento térmico utilizados actualmente.

A continuación se da una breve descripción de los materiales de aislamiento térmico más comunes utilizados en la construcción de hoy en día, los cuales presentan una conductividad térmica relativamente baja.

2.2.1 Poliestireno expandido (EPS).

El poliestireno expandido (EPS) está hecho de pequeñas esferas de poliestireno (a partir del petróleo crudo) que contiene un agente de expansión, por ejemplo, pentano C_6H_{12}, el cual se expande por calentamiento con vapor de agua. Las esferas en expansión se unen entre sí por sus áreas de contacto. Este material plástico espumado y ligero, presenta una estructura celular cerrada rellena de aire, su densidad varía de 10 a 50 kg/m^3.

El material de aislamiento es fundido como paneles o de forma continua en una línea de producción. El EPS tiene una estructura de poros parcialmente abierta. Los valores típicos de conductividad térmica para el EPS son entre 0.030 y 0.040 W/mK.

La conductividad térmica de EPS varía con la temperatura, el contenido de humedad y la densidad de la masa. Como un ejemplo, la conductividad térmica del EPS puede aumentar de 0.036 W/mK a 0.054 W/mK con el aumento de contenido de humedad de 0% a 10% del volumen, respectivamente. Los productos de EPS se cortan y ajustan en el sitio de construcción, sin ninguna pérdida de la resistencia térmica (Jelle, 2011).

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en su Guía Técnica para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios, obtuvo a través de ensayos a una serie de muestras, los valores correspondientes de las conductividades térmicas dependiendo la densidad del EPS. En la Tabla 2.2

se muestran algunos de los resultados de estas pruebas realizadas a un EPS obtenido de materias primas estándar, en donde se indica el valor de la densidad aparente y su correspondiente valor de conductividad térmica media.

Tabla 2.2. Valores de conductividad térmica y densidad obtenidos de ensayos del EPS (IDAE, 2007).

Densidad kg/m^3	Conductividad térmica W/m·K
10	0.043
15	0.038
20	0.035
25	0.034
30	0.033
35	0.032
40	0.032
45	0.032
50	0.031

Además, en la curva mostrada en la Figura 2.2 se indica la relación entre la conductividad térmica y la densidad aparente (para un espesor de referencia de 5 cm y a una temperatura media de 10ºC); donde se especifica que esta curva sólo es válida para productos de EPS obtenidos con materias primas estándar.

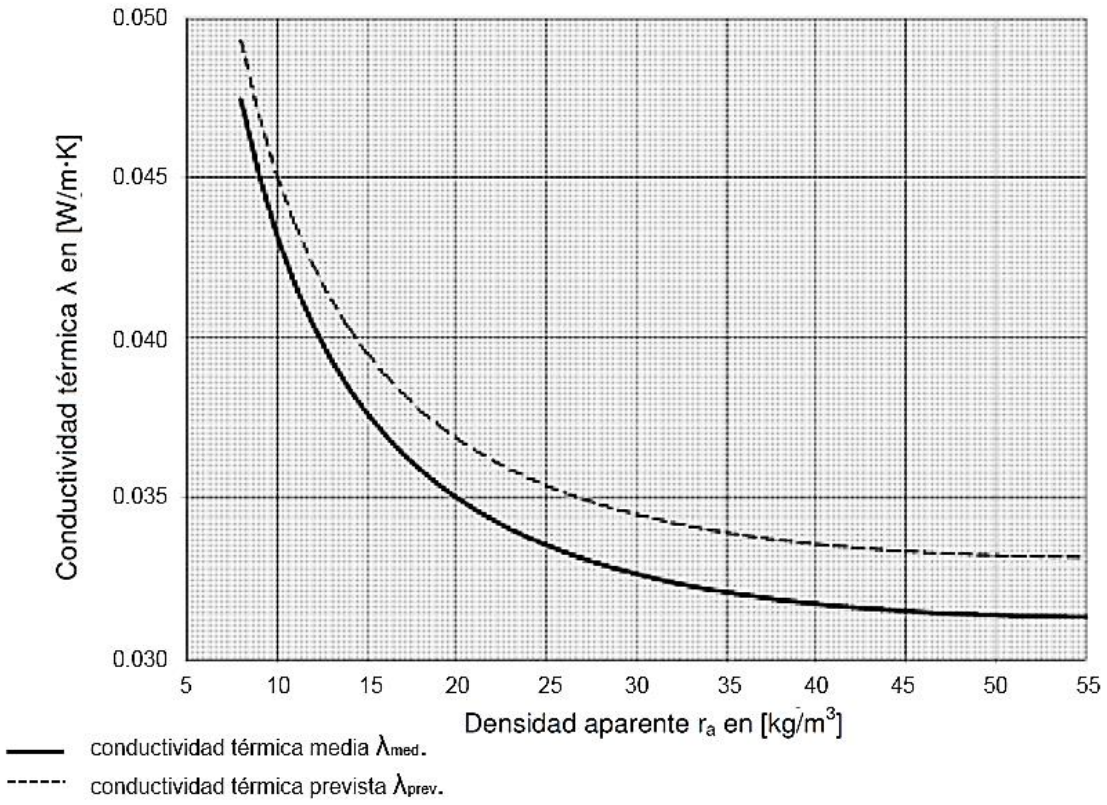


Figura 2.2. Relación de la conductividad térmica y la densidad del EPS (IDAE, 2007).

2.2.2 Poliestireno extruido (XPS).

El poliestireno extruido (XPS) se produce a partir de poliestireno fundido (a partir de petróleo crudo) mediante la adición de un gas de expansión, por ejemplo, hidrofluorocarbono (HFC), dióxido de carbono (CO_2) o ciclohexano (C_6H_{12}), donde la masa del poliestireno es extruida a través de una boquilla con liberación de presión haciendo que la masa se expanda. El material de aislamiento se produce en longitudes continuas que se cortan después de enfriarse. El XPS tiene una estructura de poro cerrado. Lo valores de conductividad térmica típicas para el XPS son de entre 0.030 a 0.040 W/mK.

La conductividad térmica del XPS varía con la temperatura, contenido de humedad y densidad de la masa. Como un ejemplo, la conductividad térmica del XPS puede aumentar de 0.034 W/mK a 0.044 W/mK con el aumento

de contenido de humedad de 0% a 10% del volumen, respectivamente. Los productos del XPS pueden ser cortados y se ajustan en el sitio de construcción, sin ninguna pérdida de resistencia térmica (Jelle, 2011).

2.2.3 Lana mineral.

Lana mineral cubre la lana de vidrio (GW) o fibra de vidrio y lana de roca (SW), que normalmente son fabricados como colchonetas y paneles, pero en ocasiones también como materiales de relleno.

Los productos de lana mineral ligeros y suaves se aplican en casas de madera y otras estructuras con cavidades. Los paneles de lana mineral más pesados y duros con altas densidades de masa se utilizan cuando el aislamiento térmico está destinado al transporte de cargas, por ejemplo, en los pisos o techos. La lana mineral también puede ser utilizada como un material de relleno para llenar varias cavidades y espacios.

La lana de vidrio es una fibra mineral fabricada con millones de filamentos de vidrio unidos con un aglutinante. El espacio libre con aire atrapado entre las fibras aumentan la resistencia a la transmisión de calor, también se usa para aislamiento acústico. Su densidad varía de 14 a 24 kg/m^3.

La lana de vidrio es producido a partir de vidrio de borosilicato a una temperatura alrededor de 1400 °C, donde se extrae la masa calentada a través de boquillas rotatorias y de este modo se crean las fibras. La lana de roca se produce a partir de la fusión de la piedra (diabasa, dolerita) aproximadamente 1500 °C, en donde la masa calentada es lanzada fuera de una rueda o el disco y de este modo se crean estas fibras. Tanto en lana de vidrio como en la lana de roca se añade resina fenólica y un aceite de reducción de polvo, para unir entre sí las fibras y mejorar las propiedades del producto. Valores de conductividad térmica típicas para lana mineral son entre 0.030 y 0.040 W/mK.

La conductividad térmica de lana mineral varía con la temperatura, contenido de humedad y densidad de masa. Como un ejemplo, la conductividad

térmica de lana mineral puede aumentar de 0.037 W/mK a 0.055 W/mK con el aumento de contenido de humedad de 0% a 10% del volumen, respectivamente (Jelle, 2011).

La empresa ISOVER en su división de aislamiento, reporta las diferencias entre estos dos productos, destacando las ventajas que tiene la lana de vidrio sobre la lana de roca, mencionando así que son más numerosas y más sencillas las posibles soluciones para cumplir con los requerimientos de aislamiento térmico de los reglamentos con lana de vidrio que con lana de roca. Señala que un producto de lana de vidrio de 17 kg/m^3 de densidad en igualdad de espesor aísla más que un producto de lana de roca de 30 kg/m^3 de densidad. Además que la ligereza de la lana de vidrio aporta soluciones más sostenibles para cumplir las exigencias de los diferentes reglamentos de aislamiento térmico, lo que permite ahorrar energía, tanto en el proceso de fabricación como durante la vida de la vivienda. En la Figura 2.3 se muestran las curvas que ISOVER presenta para comparar ambas lanas minerales.

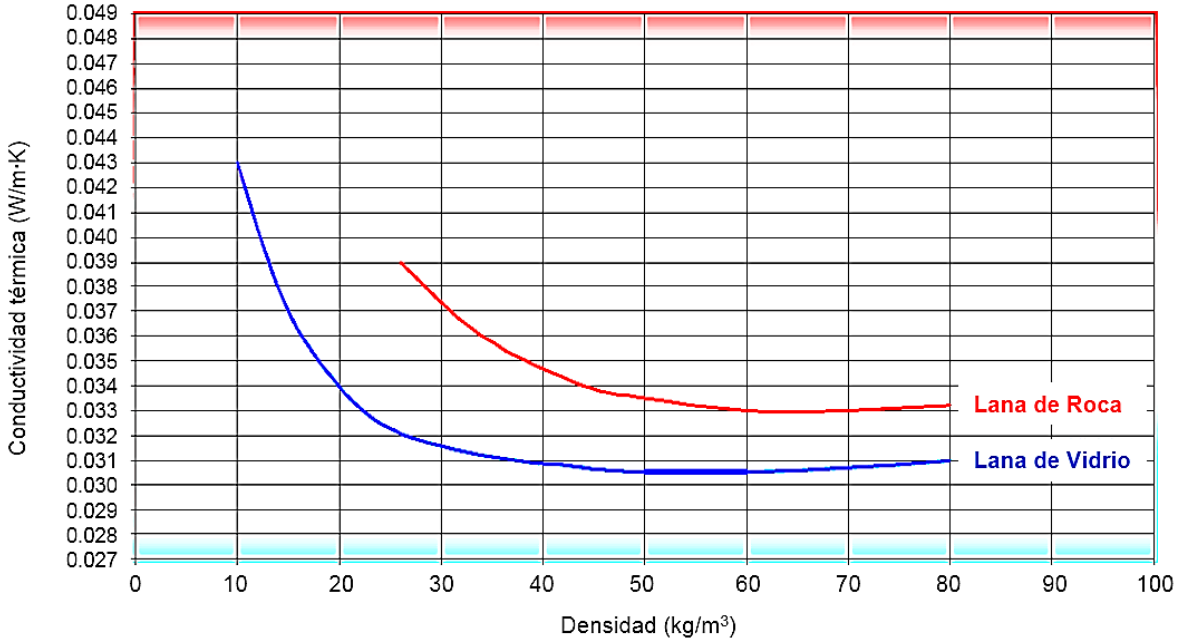


Figura 2.3. Comparación de la conductividad térmica para diferentes densidades de la lana de vidrio y la lana de roca (ISOVER, 2008).

2.2.4 Celulosa.

La celulosa (polisacárido, $(C_6H_{10}O_5)_n$) comprende el aislamiento térmico hecho de papel reciclado o de fibra de madera. El proceso de producción da al material de aislamiento una consistencia algo similar al de la lana. El ácido bórico (H_3BO_3) y el bórax (borato de sodio, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ o $Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O$) se añaden para mejorar las propiedades del producto. El aislamiento de celulosa se utiliza como un material de relleno para llenar varias cavidades y espacios, pero también se producen los paneles y alfombras de aislamiento de celulosa. Los valores de conductividad térmica típicas para el aislamiento de celulosa son entre 0.040 y 0.050 W/mK.

La conductividad térmica del aislante de celulosa varía con la temperatura, contenido de humedad y densidad de masa. Como un ejemplo, la conductividad térmica del aislamiento de celulosa puede aumentar de 0.040 W/mK a 0.066 W/mK con el aumento de contenido de humedad de 0 % a 5 % del volumen, respectivamente (Jelle, 2011).

2.2.5 Poliuretano (PUR).

Poliuretano (PUR) es un polímero que se forma por una reacción entre isocianatos y polioles (alcoholes que contienen múltiples grupos hidroxilo). Durante el proceso de expansión de los poros cerrados se llenan con un gas de expansión, HFC, CO_2 o C_6H_{12}.

El material de aislamiento es producido como placas o de forma continua en una línea de producción. El PUR también puede ser utilizado como una espuma de expansión en el sitio de construcción, por ejemplo, para sellar alrededor de puertas y ventanas o llenar varias cavidades. Los valores de conductividad térmica típicas para el PUR son entre 0.020 y 0.030 W/mK, es decir, considerablemente inferior a la lana mineral, poliestireno y productos de celulosa.

La conductividad térmica del PUR varía con la temperatura, contenido de humedad y densidad de la masa. Como un ejemplo, la conductividad térmica del

PUR puede aumentar de 0.025 W/mK a 0.046 W/mK con el aumento de contenido de humedad de 0 % en volumen a 10 % en volumen, respectivamente.

Cabe señalar que incluso si el PUR es seguro en su uso previsto se eleva las preocupaciones de salud graves y peligros en caso de un incendio. Durante un incendio el PUR al ser quemado libera cianuro de hidrógeno (HCN) e isocianatos, los cuales son muy venenosos.

La toxicidad del HCN se deriva del anión cianuro (CN-) que impide la respiración celular. Generalmente, el cianuro de hidrógeno se puede encontrar en el humo de nitrógeno (N) que contiene el plástico (Jelle, 2011).

2.2.6 Otros materiales de construcción

Las conductividades térmicas de otros materiales de construcción, incluyendo los que soportan carga, normalmente son considerablemente más altos que los valores de conductividad térmica de los materiales de aislamiento térmico. A modo de comparación, los ejemplos típicos pueden ser la madera (0.01-0.02), el acero de carbón (55), el acero inoxidable (17), el aluminio (220), el hormigón (0.15-2.50), los agregados ligeros (0.10-0.70), el ladrillo (0.40-0.80), la piedra (1000-2000) y el vidrio (0.80), todos los valores entre paréntesis indicados en W/mK (Jelle, 2011).

2.3 Modos de transferencia de calor.

Las distintas formas de transferencia de calor que intervienen en un sistema son la conducción, la convección y la radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren que exista una diferencia de temperatura, al existir este gradiente de temperatura en el medio, la segunda ley de la termodinámica establece que la transferencia de calor se lleva a cabo desde la región de mayor temperatura hacia otra menor.

2.3.1 Conducción.

La conducción en un elemento sólido es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de este elemento hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de sus interacciones, es decir, se debe a la combinación de la vibración de las moléculas en una red y el transporte de energía mediante electrones libres.

La tasa de conducción o flujo de calor $\dot{Q}_{\text{cond}}$ por una capa de espesor constante Δx es proporcional a la diferencia de temperatura ΔT en la capa y el área A normal a la dirección de transferencia de calor, mientras que es inversamente proporcional al espesor de la capa (Figura 2.4). Por lo tanto:

$$\dot{Q}_{cond} = \lambda\, A\, \frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{2.1}$$

donde la constante de proporcionalidad λ es la conductividad térmica del material que atraviesa el flujo de calor, la cual es una medida de la capacidad del material para conducir calor, sus unidades son W/m°C en el Sistema Internacional de unidades. Los materiales que tienen baja conductividad térmica se les denomina aislantes (Manrique, 2005).

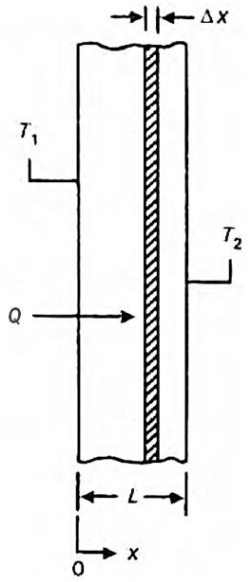


Figura 2.4. Pérdida de calor a través de una pared (Manrique, 2005).

En el caso cuando límite de $\Delta x \longrightarrow 0$, la ecuación anterior (2.1) se reduce a la forma diferencial:

$$\dot{Q}_{cond} = -\lambda\, A\, \frac{dT}{dx} \qquad \text{ó} \qquad q = -\lambda\, \frac{dT}{dx} \tag{2.2}$$

esta ecuación se conoce como ley de Fourier de conducción de calor (simplificación unidimensional), e indica que la tasa de conducción de calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa misma dirección, donde q denota el flujo de calor por unidad de área $\left(q = \dot{Q}_{\text{cond}}/A\right)$. El calor es conducido en la dirección de temperatura decreciente, y el gradiente de temperatura (dT/dx) se vuelve negativo cuando la temperatura disminuye con x creciente (Figura 2.5). Por consiguiente, se agrega un signo negativo en la ecuación anterior (2.2) para hacer de la transferencia de calor en la dirección positiva de x una cantidad positiva (Çengel y Boles, 2009).

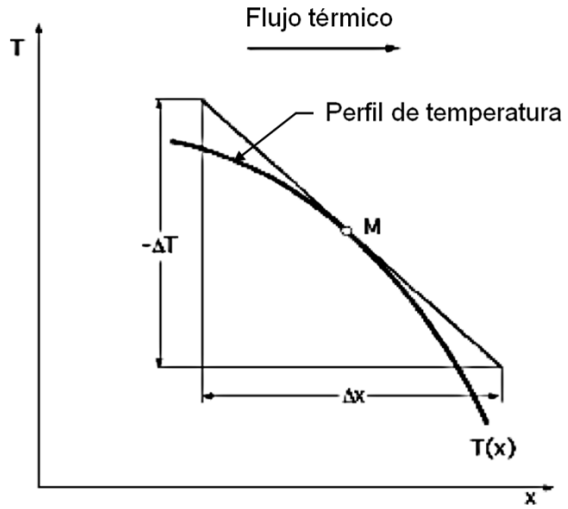


Figura 2.5. Dirección del flujo de calor.

Entonces se puede aplicar la conducción de calor unidimensional en estado estable, para calcular el flujo de calor o pérdida de calor de cualquier sección de una pared.

Así, resolviendo la ecuación 2.2 (integrando ambos términos, de acuerdo a las condiciones de frontera), se tiene:

$$\dot{Q} \int_{0}^{L} dx = -\lambda A \int_{T_1}^{T_2} dT \tag{2.3}$$

$$\dot{Q}\, L = \lambda A\, (T_1 - T_2) \tag{2.4}$$

Finalmente despejando y reemplazando $(T_1 - T_2) = \Delta T$, se obtiene:

$$\dot{Q} = \lambda A \frac{\Delta T}{L} \tag{2.5}$$

donde $\dot{Q}$ es la pérdida de calor, λ es la conductividad térmica del material, A es el área normal a la dirección de transferencia de calor, ΔT es la diferencia de temperaturas al interior y exterior de la superficie (cara caliente y cara fría) de la pared y L es el espesor de la pared.

La ecuación anterior (2.5) indica que el flujo de calor a través de una pared es directamente proporcional a la conductividad térmica del material, al área de sección transversal perpendicular al flujo de calor, a la diferencia de temperatura, e inversamente proporcional al espesor de la pared. La misma expresión puede interpretarse de manera alternativa recurriendo a la ley de Ohm de circuitos eléctricos, que relaciona la corriente con la resistencia y la diferencia de potencial eléctrico, entonces la resistencia térmica queda relacionada como sigue:

$$R_{\text{cond}} = \frac{L}{\lambda A} \tag{2.6}$$

2.3.2 Convección.

El fenómeno de transferencia de calor por convección es un proceso de transferencia de energía entre una superficie sólida y el fluido (aire) adyacente que está en movimiento, y tiene que ver con los efectos combinados de conducción y movimiento del fluido: mientras más rápido sea éste, mayor es la transferencia de calor por convección. La presencia de movimiento en masa del fluido incrementa la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las tasas de transferencia de calor.

La convección libre (o natural) se origina cuando el movimiento del fluido es ocasionado por las fuerzas de flotación inducidas por diferencias de densidad debidas a la variación de temperatura en el fluido.

La tasa de transferencia de calor por convección se determina a partir de la ley de enfriamiento de Newton, expresada como:

$$\dot{Q}_{conv} = h\,A\left(T_s - T_f\right) \tag{2.7}$$

donde h es el coeficiente local de transferencia de calor por convección o coeficiente de convección térmica (film coefficient), A es el área superficial en la cual tiene lugar la transferencia de calor, T_s es la temperatura de la superficie y T_f es la temperatura del fluido lejos de la superficie. (En la superficie, la temperatura del fluido es igual a la temperatura superficial del sólido).

El coeficiente de transferencia de calor por convección h, es un parámetro determinado de forma experimental cuyo valor depende de todas las variables que afectan la convección, como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades del fluido y la velocidad volumétrica del fluido. Los valores representativos de h, en W/m^2°C, se encuentran en el intervalo de entre 5 y 25 para la convección libre en aire (Çengel y Boles,

2009). Sin embargo, Szokolay (1996) propone evaluar los coeficientes de convección de una vivienda de acuerdo a la velocidad exterior del aire, como sigue:

$$h_e = 5.8 + 4.1v \qquad ; \qquad h_i = \frac{h_e}{3} \tag{2.8}$$

donde h_e es el coeficiente de convección exterior, h_i es el coeficiente de convección interior y v es la velocidad del aire.

Por otro lado, de la misma forma que se obtuvo la resistencia térmica por conducción (ecuación 2.6), un análisis de la ley de Newton de enfriamiento permite también establecer una analogía eléctrica en donde la resistencia térmica por convección es:

$$R_{\text{conv}} = \frac{L}{h\,A} \tag{2.9}$$

2.3.3 Radiación.

Por otra parte, a diferencia de la conducción y la convección, el fenómeno de transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio, es decir puede ocurrir entre dos cuerpos, incluso cuando están separados por un medio más frío que ambos.

La radiación para este trabajo se centra en la energía que emite el sol en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) y es recibida en importantes ganancias de calor por los diferentes elementos que componen las envolventes de la vivienda. Este tipo de transferencia de calor es la más rápida y es un fenómeno que afecta en mayor medida a las partes transparentes (ventanas, domos, etc.) de la vivienda.

2.4 Coeficiente global de transferencia de calor.

Entonces relacionando todos los conceptos anteriores, la norma mexicana NOM-020-ENER-2011 propone calcular la resistencia térmica total de un muro o techo con capas homogéneas, mediante el método simplificado, el cual es la suma de las resistencias térmicas parciales de cada capa:

$$R_T = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \cdots + \frac{L_n}{\lambda_n} \tag{2.10}$$

donde R_T es la resistencia térmica (aislamiento térmico) total de una porción de la envolvente de la vivienda, de superficie a superficie, en m^2°C/W; h_i es la conductancia superficial (coeficiente fílmico) interior en W/m^2°C, según la norma para muros su valor es 8.1; h_e es la conductancia superficial exterior, su valor según la norma es 13 W/m^2°C; n es el número de capas que forman la porción de la envolvente; L es el espesor de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente, en m. y λ es el coeficiente de conductividad térmica de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente de la vivienda, en W/m°C.

Por lo tanto, para conocer el coeficiente global de transferencia de calor es necesario conocer los espesores y conductividades térmicas de cada uno de los materiales que forma la porción de la envolvente (coeficiente de transmisión térmica), se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{R_T} \tag{2.11}$$

donde K es el flujo de calor que pasa a través de 1 m^2 de una porción de la envolvente con espesor de 1 m. durante una hora, cuando entre las dos caras hay una diferencia de 1 °C, sus unidades son W/m^{2}C (NMX-C-460-ONNCE, 2009).

Así, la norma considera que la ganancia o pérdida por conducción a través de la componente es:

$$\phi_c = \sum_{j=1}^{n} \left[K_j \text{ x } A_j \text{ x } (t_e - t) \right] \tag{2.12}$$

donde ϕ_{pc} es la ganancia o pérdida de calor por conducción a través de la componente; j son las diferentes porciones que forman la componente de la envolvente; K_j es el coeficiente global de transferencia de calor de cada porción; A_j es el área de la porción j, en m^2; t_e es el valor de la temperatura equivalente promedio en °C (temperatura exterior); t es el valor de la temperatura interior del edificio para uso habitacional, en °C (NOM-020-ENER, 2011).

2.5 Análisis transitorio unidimensional.

La ecuación transitoria unidimensional de la conducción del calor en una pared de varias n capas paralelas en contacto (Figura 2.6), está dada por:

$$k_j \frac{\partial^2 T_j}{\partial x^2} = \rho_j c_j \frac{\partial T_j}{\partial t}, \qquad j = 1, 2, \dots, N \tag{2.13}$$

en donde x y t son las coordenadas de espacio y tiempo, respectivamente. T_j es la temperatura, ρ_j, c_j y k_j son la densidad, el calor específico y la conductividad térmica de la capa j, respectivamente (Ozel, 2012).

En la Figura 2.6 se muestra una pared con capas homogéneas acopladas (componentes de un elemento de la envolvente), en donde interviene la temperatura exterior T_o dependiente del tiempo y la temperatura interior T_i, el coeficiente de transferencia de calor (convección térmica) interior h_i y exterior h_o, la radiación solar sobre la superficie I, la longitud de cada capa (o material) L y el flujo de calor q.

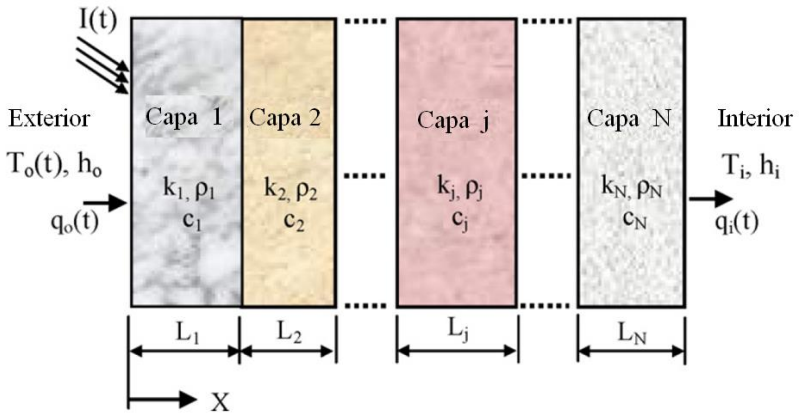


Figura 2.6. Pared compuesta con N-capas acopladas (Ozel, 2012).

El retraso térmico, en ocasiones llamado desfase, hace referencia al tiempo que tarda en pasar el calor (la temperatura exterior al interior) a través de un elemento de la envolvente (muro o techo). Dicho en otros términos, es el tiempo transcurrido entre los momentos en que se dan las temperaturas máximas en cada una de las superficies (interior y exterior) del elemento. Mientras mayor sea el espesor y la capacidad térmica, y menor la conductividad, más tiempo requerirá la energía calórica para atravesarlo. Además cuanto mayor sea el valor del desfase, mejor será el comportamiento térmico de la envolvente. Por otro lado, el amortiguamiento térmico, mide la reducción de la temperatura cíclica de una superficie (generalmente la interior) respecto a la temperatura cíclica de la superficie contraria. Se puede visualizar este fenómeno mediante dos curvas que representen la oscilación diaria de la temperatura en cada superficie (Figura 2.7). Mientras más pequeño sea el valor del factor de amortiguamiento (oscilación interior / oscilación exterior) más estables tenderán a ser las temperaturas interiores (Ruivo et al., 2013). Otro concepto importante es el umbral de confort térmico, el cual son las temperaturas entre los 21°C (70°F) y los 26°C (79°F) y humedades comprendidas entre el 30 y el 60 por ciento, en los que el cuerpo humano estará en armonía y equilibrio con el entorno, y se sentirá cómodo en la vivienda, recurriendo a un menor uso de las calefacciones y aires acondicionado, con el consiguiente ahorro económico (Emery, 2008).

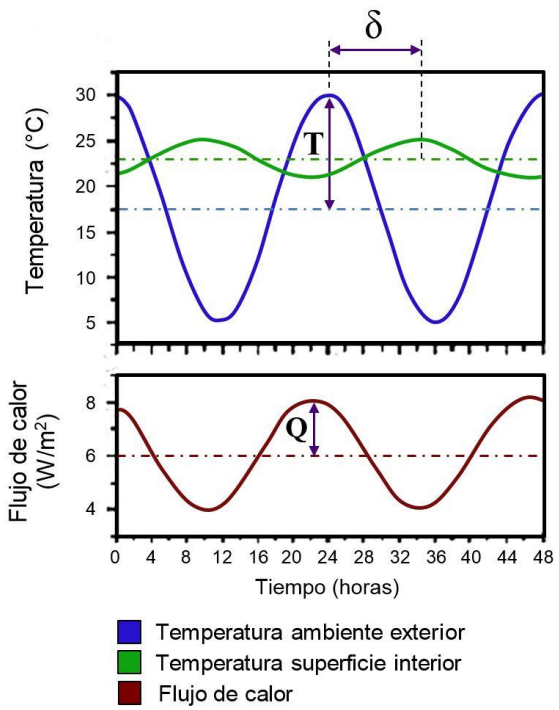


Figura 2.7. Representación gráfica de la amplitud del flujo de calor Q (W/m^2), la amplitud de la temperatura exterior (°C) y el desfase o retardo δ (horas), (Ruivo et al., 2013).

2.6 Ecuación de calor para cuerpos tridimensionales.

En el análisis de la transferencia de calor de cualquier sistema, la ecuación 2.14 tiene que ser satisfecha debido al principio de la conservación de la energía:

$$E_i + E_g = E_s + \Delta U \qquad (2.14)$$

en donde E_i es la energía que ingresa al sistema, E_g es la energía generada al interior del sistema, E_s es la energía que sale del sistema, y ΔU es el cambio de energía del sistema.

La tasa de energía generada (E_g) en un sólido se rige por la ecuación:

$$E_g = q^* V \qquad (2.15)$$

en donde q^* es la fuerza de la fuente de calor (tasa de calor generada por unidad de volumen por unidad de tiempo), y V es el volumen del cuerpo.

Siempre que la temperatura de un cuerpo sólido aumenta, la energía térmica se almacenará en él. La ecuación que describe este fenómeno está dada por:

$$E_a = \rho\, c\, V \frac{\partial T}{\partial t} \tag{2.16}$$

en donde E_s es la tasa de energía almacenada en el cuerpo, ρ es la densidad del material, c es el calor específico del material, V es el volumen del cuerpo, T es la temperatura del cuerpo y t es el parámetro de tiempo.

Entonces sea el volumen de control indicado en la Figura 2.8, el cual representa un pequeño elemento de un cuerpo solido con lados *dx*, *dy* y *dz*, en donde A es el área por donde se transfiere el calor, la ecuación de balance de energía puede expresarse como sigue:

$$\begin{pmatrix}\text{Flujo de calor} \\ q_x \text{ que ingresa}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Calor generado} \\ \text{por una fuente} \\ \text{interna } q^*\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Flujo de calor} \\ q_{x+dx} \text{ que sale}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Energía calorifica} \\ \text{requerida para} \\ \text{calentar la masa del} \\ \text{volumen de control}\end{pmatrix} \tag{2.17}$$

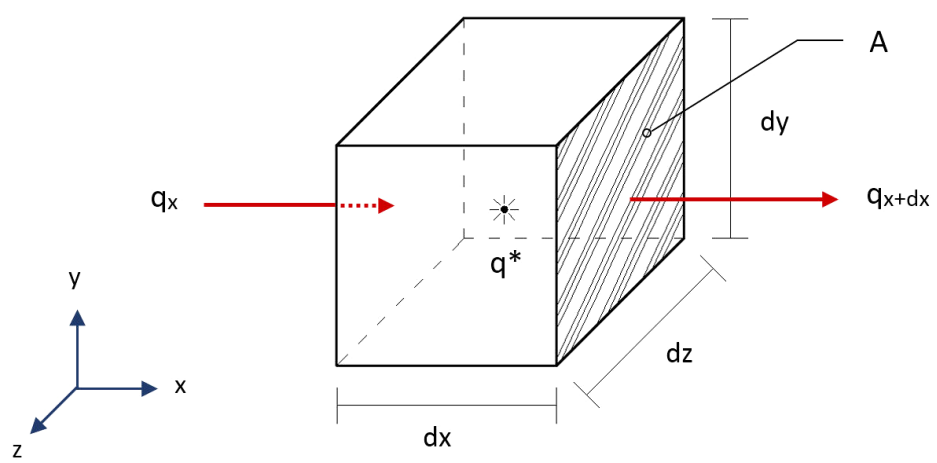


Figura 2.8. Volumen de control.

O bien se puede expresar mediante las ecuaciones que describen la tasa de flujo de energía para un pequeño lapso de tiempo dt, como:

$$q_x\, dt + q^*\, A\, dx\, dt = q_{x+dx}\, dt + c\, \rho\, dT\, A\, dx \qquad (2.18)$$

La tasa a la cual el calor deja la cara derecha puede ser expesado mediante una expansión en series de Taylor conservando solo dos términos, como:

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial\, q_x}{\partial x} dx + \frac{\partial^2 q_x}{\partial x^2} \cdot \frac{(dx)^2}{2!} + \cdots + \frac{\partial^n q_x}{\partial x^n} \cdot \frac{(dx)^n}{n!} \qquad (2.19)$$

$$q_{x+dx} \approx q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \qquad (2.20)$$

Así se obtiene la ecuación del flujo de calor saliente q_{x+dx}, en donde el primer término q_x indica el flujo de calor entrante mientras que el segundo término $\frac{\partial q_x}{\partial x} dx$ indica la variación del flujo de calor en la dirección x.

Reemplazando la ecuación 2.20 en la ecuación 2.18 y simplificando se obtiene:

$$q_x\, dt + q^*\, A\, dx\, dt = \left(q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx\right) dt + c\, \rho\, dT\, A\, dx \qquad (2.21)$$

$$q^*\, A\, dx\, dt = \frac{\partial q_x}{\partial x} dx\, dt + c\, \rho\, dT\, A\, dx \qquad (2.22)$$

La tasa a la cual el calor entra en la cara izquierda del volumen de control en la dirección x, está dada por la ley de Fourier de conducción del flujo de calor:

$$q_x = -k_x\, A\, \frac{\partial T}{\partial x} \qquad (2.23)$$

en donde k_x es la conductividad térmica del material en la dirección x y $\frac{\partial T}{\partial x}$ es el gradiente de temperatura y A es el área normal en la dirección x.

Sustituyendo la ecuación 2.23 en la ecuación 2.22 se obtiene:

$$q^* \, A \, dx \, dt = \frac{\partial}{\partial x}\left(-k_x \, A \, \frac{\partial T}{\partial x}\right) dx \, dt + c \, \rho \, dT \, A \, dx \qquad (2.24)$$

Reduciendo al dividir la ecuación 2.24 entre $(A \, dx \, dt)$ se tiene:

$$q^* = \frac{\partial}{\partial x}\left(-k_x \frac{\partial T}{\partial x}\right) + c \, \rho \frac{\partial T}{\partial t} \qquad (2.25)$$

Despejando y simplificando, se obtiene la ecuación diferencial unidimensional de conducción de calor:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x \frac{\partial T}{\partial x}\right) + q^* = c \, \rho \frac{\partial T}{\partial t} \qquad (2.26)$$

$$k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q^* = c \, \rho \frac{\partial T}{\partial t} \qquad (2.27)$$

Ahora, extendiendo la ecuación 2.26 para el caso tridimensional se obtiene la ecuación diferencial que rige la conducción de calor de un cuerpo solido ortotrópico:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x \frac{\partial T}{\partial v}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k_y \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k_y \frac{\partial T}{\partial z}\right) + q^* = c \, \rho \frac{\partial T}{\partial t} \qquad (2.28)$$

Si las conductividades térmicas en las direcciones x, y, y z se consideran iguales, $k_x = k_x = k_x = k = \text{constante}$, la ecuación 2.28 puede ser escrita como:

$$k \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right] + q^* = c \, \rho \frac{\partial T}{\partial t} \qquad (2.29)$$

Simplificando con el término de difusividad $\alpha = \frac{k}{c \, \rho}$ se tiene:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{q^*}{k} = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t} \tag{2.30}$$

Despejando, se tiene la ecuación que rige la distribución de temperaturas y la conducción del flujo de calor en un sólido, teniendo un material con propiedades uniformes (cuerpo isotrópico):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right) + \frac{q^*}{c\,\rho} \tag{2.31}$$

Si no existe una fuente de calor en el cuerpo, la ecuación 2.31 se reduce a la ecuación de Fourier:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right) \tag{2.32}$$

2.7 Método de elementos finitos.

El método de elemento finito (MEF) es un método numérico que es usado para calcular la solución de problemas complejos (Cook, 1995) sustituyendo estos por unos más simples. Dado que el problema real es reemplazado por uno más simple se encontrará sólo una solución aproximada en lugar de una solución exacta. Las herramientas matemáticas existentes no son suficientes para encontrar la solución exacta (y algunas veces, incluso una solución aproximada) de la mayoría de los problemas prácticos. Por lo tanto, en ausencia de cualquier otro método conveniente incluso para encontrar una solución aproximada de un problema dado, se recomienda utilizar el método de los elementos finitos.

En el MEF, la región de solución (dominio) es considerada construida por muchas subregiones pequeñas, interconectadas llamadas elementos finitos.

2.7.1 Proceso de discretización del dominio.

En la mayoría de los problemas de ingeniería, se tienen que encontrar los valores de una variable de campo, tales como la temperatura en función de las coordenadas espaciales (*x*, *y*, *z*). En el caso de problemas de estado transitorio, la variable de campo tiene que ser encontrado como una función no sólo de las coordenadas espaciales (*x*, *y*, *z*), sino también del tiempo (*t*). La geometría (dominio o región de solución) del problema es a menudo irregular. La primera etapa del análisis de elementos finitos implica la discretización del dominio irregular en subdominios más pequeños y regulares, conocido como elementos finitos (Figura 2.9). Esto es equivalente a reemplazar el dominio que tiene un número infinito de grados de libertad por un sistema que tiene un número finito de grados de libertad (Rao, 2011).

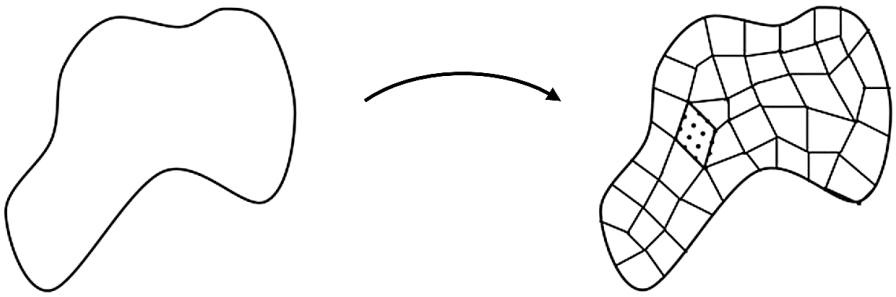


Figura 2.9. Discretización del MEF (Cook, 1995).

Una variedad de métodos se puede utilizar para modelar un dominio con elementos finitos. Diferentes métodos al dividir el dominio en elementos finitos implican diferentes cantidades de tiempo computacional y a menudo conducen a diferentes aproximaciones a la solución del problema físico.

Las formas, los tamaños, la cantidad y las configuraciones de los elementos tienen que ser elegidos cuidadosamente de tal manera que el cuerpo o dominio original sea simulado lo más cercano posible sin aumentar el esfuerzo de cálculo computacional necesario para la solución. Sobre todo la elección del tipo

de elemento está dictada por la geometría del cuerpo y el número de coordenadas independiente necesaria para describir el sistema.

En la mayoría de los problemas físicos, como en el caso del análisis de vigas, placas y cascarones, los limites están claramente definidos. Por lo tanto, todo el cuerpo puede ser considerado para la idealización y están formados por una cantidad finita de elementos claramente identificables y conectados en los nodos (modelo discreto). Sin embargo, en algunos casos, como en el caso del análisis de las presas, cimentaciones (Figura 2.10) y cuerpos semi-infinitos, los límites o fronteras no están claramente definidos y no se pueden identificar una cantidad finita de elementos por separado ya que cada parte del sistema está rodeado por una infinidad de elementos (modelo continuo).

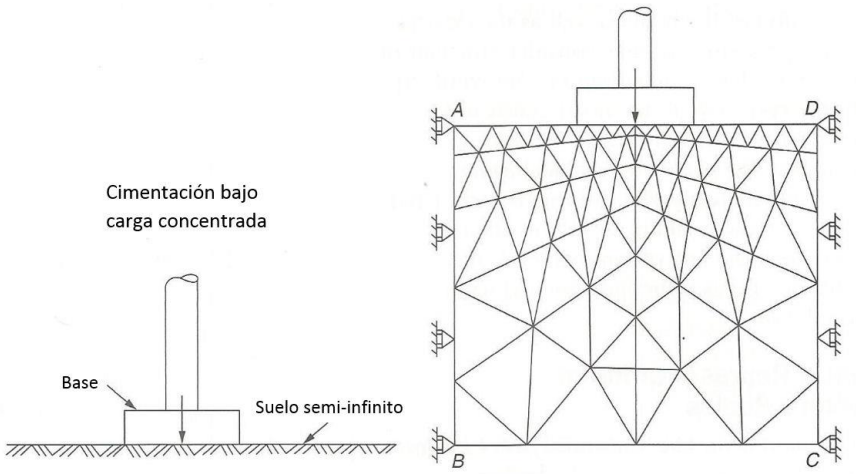


Figura 2.10. Idealización del medio semi-infinito (Rao, 2011).

2.7.2 Tipo de elemento finito.

Por lo regular, el tipo de elementos que se utilizará será evidente a partir del problema físico. El programa computacional ANSYS (Analyze System) cuenta con una librería de más de 100 tipos de elementos finitos con diferentes características para cada problema físico en cuestión.

El elemento SOLID70 tiene una capacidad de conducción térmica tridimensional. En la Figura 2.11 se muestra la geometría, la ubicación de los nodos y el sistema global de coordenadas *x, y, z*. Este elemento tiene forma hexaédrica (brick), tiene 8 nodos, es lineal (1° orden) y cuenta con un solo grado de libertad en cada nodo, la temperatura, y está definido por las propiedades del material ortotrópico. El elemento también puede compensar el transporte de masa de un flujo de calor de un campo de velocidad constante. Las propiedades del material a introducir son la conductividad térmica (KXX), la densidad (DENS) y el calor específico (C), en una solución de análisis estacionario se omiten estas dos últimas propiedades.

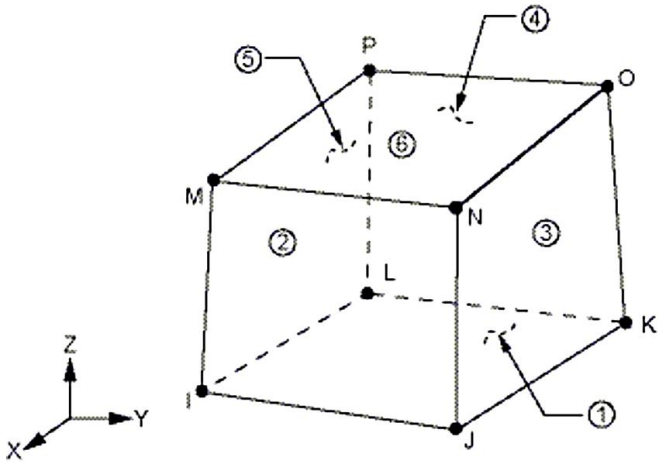


Figura 2.11. Elemento finito hexaédrico con 8 nodos (ANSYS, 2011).

En la Figura 2.12 se representa este elemento hexaédrico en el sistema de coordenadas naturales (local) *r*, *s*, *t,* con origen del sistema en el centroido del elemento y las cuales están asociadas con un par de caras opuestas. En el sistema coordenado local (natural), el elemento es un cubo, aunque en el sistema coordenado global cartesiano este puede ser arbitrariamente deformado en los seis lados del sólido.

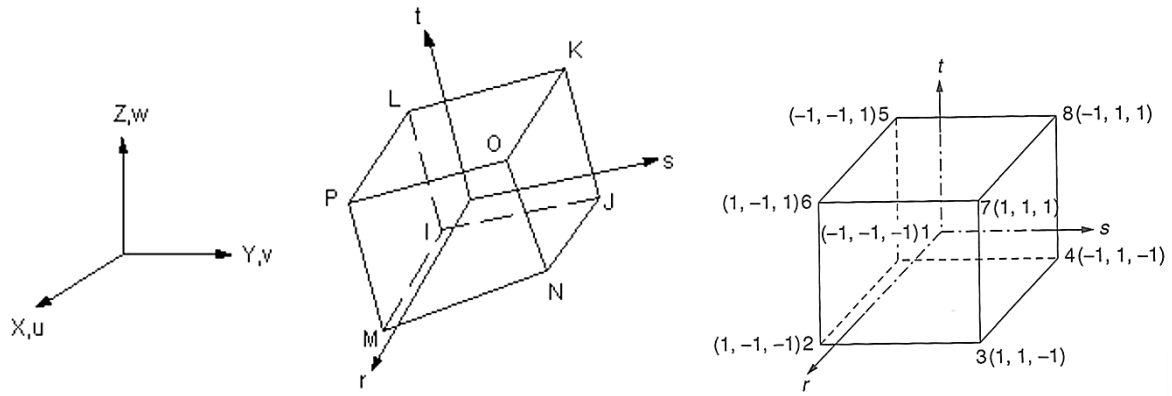


Figura 2.12. Sistema de coordenadas locales r, s, t (ANSYS, 2011).

La función de forma que se utiliza, en el que la matriz de conductividad y de calor específico ambos con un esquema de integración de 2x2x2, mientras que la convección en la superficie tiene un esquema de integración de 2x2, es:

$$
\begin{aligned}
T = \frac{1}{8}[\, & T_I(1-\mathrm{s})(1-\mathrm{t})(1-\mathrm{r}) + T_J(1+\mathrm{s})(1-\mathrm{t})(1-\mathrm{r}) \\
& + T_k(1+\mathrm{s})(1+\mathrm{t})(1-\mathrm{r}) + T_L(1-\mathrm{s})(1+\mathrm{t})(1-\mathrm{r}) \\
& + T_M(1-\mathrm{s})(1-\mathrm{t})(1+\mathrm{r}) + T_N(1+\mathrm{s})(1-\mathrm{t})(1+\mathrm{r}) \\
& + T_O(1+s)(1+t)(1+r) + T_P(1-s)(1+t)(1+r)] \qquad (2.33)
\end{aligned}
$$

2.7.3 Tamaño de los elementos finitos.

El tamaño de los elementos influye en la convergencia de la solución directamente y por lo tanto tiene que ser escogido con cuidado. Si el tamaño de los elementos es pequeño, se espera que la solución final sea más exacta. Sin embargo, el uso de elementos de menor tamaño también significará más tiempo de cálculo. A veces se requiere utilizar elementos de diferentes tamaños en el mismo cuerpo. Otra característica relacionada con el tamaño de los elementos que afecta la solución de elemento finito es la relación de aspecto. La relación de aspecto describe la forma del elemento en el arreglo de estos. Para elementos bidimensionales, la relación de aspecto se toma como la relación de la dimensión más grande del elemento con respecto a la dimensión más pequeña. Los

elementos con relación de aspecto cercanos a la unidad generalmente obtienen mejores resultados.

2.7.4 Número de los elementos finitos.

El número de elementos a ser elegidos para la idealización está relacionado con la precisión deseada, el tamaño de los elementos, y el número de grados de libertad que intervienen. Aunque un aumento en el número de elementos generalmente significa resultados más precisos, para cualquier problema dado, habrá un cierto número de elementos más allá del cual la precisión no puede ser mejorada significativamente (Rao, 2011). En la Figura 2.13 se muestra gráficamente este comportamiento.

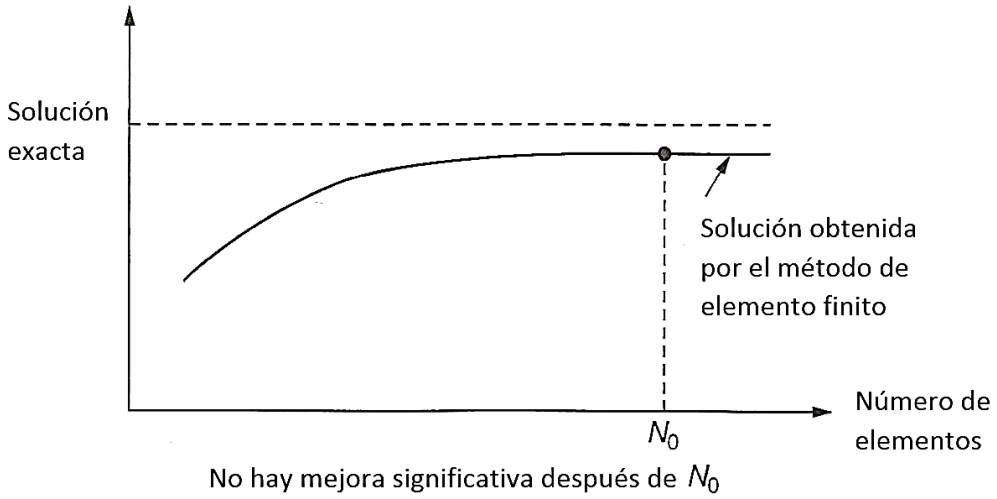


Figura 2.13. Efecto de la variación en el número de elementos (Rao, 2011).

2.7.5 Mallado

La generación de la malla es el proceso de dividir un dominio físico en pequeños subdominios (llamados elementos) para facilitar una aproximación de la solución de la ecuación diferencial ordinaria o parcial. La generación automática de la malla implica la subdivisión de un dominio dado, el cual puede estar en forma de una curva, superficie, o solido dentro de un conjuntos de nodos (o vértices) y elementos (subdominios) para representar el dominio lo más cercano posible

sujeto a lo especificado en la forma del elemento y las restricciones del tamaño (Rao, 2011).

El mallado automático del programa ANSYS puede producir una malla que es adecuada para el modelo que se está analizando. Se deben establecer las características y factores de la malla tales como la forma de elemento, y el tamaño del elemento que se utilizará en mallado del modelo sólido. Este paso es uno de los más importantes del análisis, y dispone de dos tipos de mallado, el libre y el mapeado, como se muestra en la Figura 2.14.

En el tipo de mallado libre, no hay requisitos especiales que restringen el modelo sólido. Cualquier geometría del modelo, incluso si es irregular, puede ser mallada. Las formas de los elementos utilizados dependerán de si se está mallando áreas o volúmenes. Para el caso de que se esté mallando un área, una malla libre puede consistir en sólo elementos cuadriláteros, sólo elementos triangulares, o una mezcla de los dos. Para el caso de que se esté mallando un volumen de mallado, una malla libre suele estar restringida a los elementos tetraédricos.

El mallado mapeado requiere que un área o volumen sea "regular", es decir, se debe cumplir con ciertos criterios. El tipo de mallado mapeado de un área consiste en todos los elementos cuadriláteros o todos los elementos triangulares y el cual se deberá especificar al programa. En el tipo de mallado mapeado de un volumen consiste en todos los elementos (brick) hexaédricos (ANSYS, 2011).

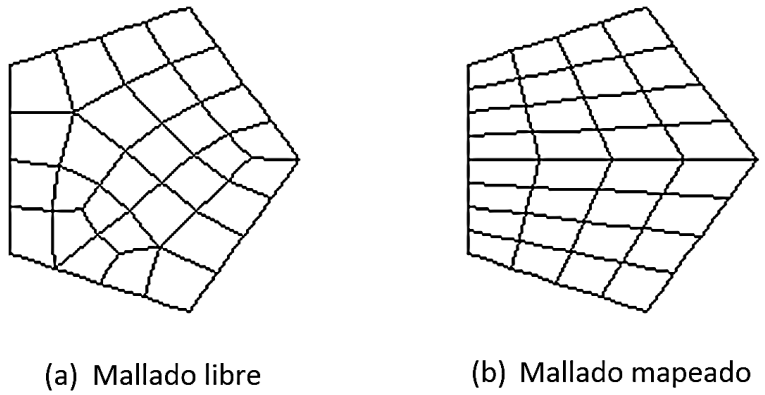


Figura 2.14. Tipos de mallados (ANSYS, 2011).

2.8 Consideraciones en el modelo computacional.

A continuación se describe el procedimiento que se propuso para la evaluación de las conductividades térmicas equivalentes y el cual fue aplicable al modelo computacional sobre las envolventes estructurales bajo un material homogéneo, para cuando el espesor real de la envolvente fuera diferente al espesor del modelo computacional. Por lo tanto, se muestra además un desarrollo análogo pero referido a la densidad y al calor específico, de las envolventes estructuradas.

Por lo que, el objetivo fue establecer los lineamientos que permitieran generar un algoritmo que evaluara dichas propiedades equivalentes en el modelo computacional, además de una congruencia en las unidades empleadas.

Así, se indican a continuación los resultados paramétricos obtenidos para cada propiedad.

2.8.1 Conductividad térmica.

La resistencia térmica sin considerar los coeficientes de convección es:

$$R = \frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \cdots + \frac{h_n}{\lambda_n} \tag{2.34}$$

$$R = \sum_i \frac{h_i}{\lambda_i} = \sum_i \left(\frac{h}{\lambda}\right)_i \tag{2.35}$$

El coeficiente de transmisión térmica entonces es:

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{\sum_i \frac{h_i}{\lambda_i}} \tag{2.36}$$

En la ecuación 2.37 se expresa el espesor total real del elemento estructurado, en la que se indica que la suma de todos los espesores de los

materiales o capas que integran al elemento estructurado es el espesor real de éste:

$$h_r = \sum_i h_i \tag{2.37}$$

La conductividad térmica total real del elemento estructurado de la envolvente es:

$$\lambda_r = \frac{h_r}{R} \tag{2.38}$$

$$\lambda_r = K \cdot h_r \tag{2.39}$$

La conductividad térmica equivalente entonces se obtiene de la igualdad de ambas resistencias totales tanto la del elemento real como la del elemento computacional, como se indica:

$$R_T = \sum_i \frac{h_i}{\lambda_i} = \frac{H_{\text{modelo}}}{\lambda_{eq.}} \tag{2.40}$$

$$\frac{h_r}{\lambda_r} = \frac{H_{\text{modelo}}}{\lambda_{eq.}} \tag{2.41}$$

Despejando la conductividad térmica equivalente resulta:

$$\lambda_{eq.} = \lambda_r \cdot \frac{H_{\text{modelo}}}{h_r} \tag{2.42}$$

Sustituyendo la ecuación 2.39 en la ecuación 2.42 y simplificando, se obtiene:

$$\lambda_{eq.} = (K \cdot h_r) \cdot \left(\frac{H_{\text{modelo}}}{h_r}\right) \tag{2.43}$$

$$\lambda_{eq.} = K \cdot H_{\text{modelo}} \tag{2.44}$$

Por lo que, la conductividad térmica equivalente final utilizada en el modelo computacional es:

$$\lambda_{eq.f} = \frac{H_{\text{modelo}}}{\sum_i \frac{h_i}{\lambda_i}} \tag{2.45}$$

2.8.2 Densidad.

La densidad (ρ) es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de un material (Halliday et al., 2001). Así, para obtener la densidad equivalente de un elemento estructurado de la envolvente se utiliza la ecuación 2.46, que expresa la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa, como sigue:

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{2.46}$$

en donde la masa total es la suma de las masas de cada material o capa del elemento estructurado, en el que se analizó la masa y el volumen de 1m^2 (área) de dicho elemento:

$$m_T = \sum_i (1)\, h_i\, \rho_i \tag{2.47}$$

$$V_T = \sum_i (1)\, h_i \tag{2.48}$$

La densidad total real del elemento estructurado de la envolvente es:

$$\rho_r = \frac{m_T}{V_T} = \frac{\sum_i\ (1)\, h_i\, \rho_i}{\sum_i\ (1)\, h_i} \tag{2.49}$$

$$\rho_r = \frac{\sum_i\ h_i\, \rho_i}{\sum_i\ h_i} \tag{2.50}$$

Sustituyendo la ecuación 2.37 en la ecuación 2.50, se obtiene:

$$\rho_r = \frac{\sum_i\ h_i\, \rho_i}{h_r} \tag{2.51}$$

La densidad equivalente entonces se obtuvo a partir de la igualdad de las masas totales, la de la masa real del elemento con la de la supuesta en el modelo, como se muestra:

$$m_T = \sum_i h_i \, \rho_i = \rho_{eq.} \cdot H_{\text{modelo}} \tag{2.52}$$

$$h_r \cdot \rho_r = \rho_{eq.} \cdot H_{\text{modelo}} \tag{2.53}$$

Despejando la densidad equivalente, se obtiene:

$$\rho_{eq.} = \rho_r \cdot \frac{h_r}{H_{\text{modelo}}} \tag{2.54}$$

Sustituyendo la ecuación 2.51 en la ecuación 2.54, se tiene que:

$$\rho_{eq.} = \left(\frac{\sum_i h_i \, \rho_i}{h_r} \right) \cdot \frac{h_r}{H_{\text{modelo}}} \tag{2.55}$$

Así, se obtiene la densidad equivalente final para el elemento o porción de la envolvente utilizada en el modelo computacional:

$$\rho_{eq.f} = \frac{\sum_i h_i \, \rho_i}{H_{\text{modelo}}} \tag{2.56}$$

2.8.3 Calor específico.

El calor específico es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa del material para elevar su temperatura en una unidad. Es decir, se refiere a la capacidad de un cuerpo para almacenar calor (Salazar, 2003) y se expresa como el cociente entre la capacidad calorífica y la masa, como sigue:

$$c = \frac{C}{m} \tag{2.57}$$

en donde c es el calor específico, C es la capacidad calorífica capacidad calorífica que de forma análoga se define como la cantidad de calor que hay que suministrar

a toda la masa del material para elevar su temperatura en una unidad y m es la masa de la sustancia o material.

De la ecuación 2.57 se despeja la capacidad calorífica C, y se procede a obtener la capacidad calorífica total real para las distintas capas o materiales del elemento estructurado o porción de la envolvente.

$$C = c \cdot m \tag{2.58}$$

La capacidad calorífica total real del elemento estructurado de la envolvente es:

$$C_r = \sum_i c_i \, m_i \tag{2.59}$$

Reemplazando la ecuación 2.26 en la ecuación 2.38, se obtiene:

$$C_r = \sum_i c_i \, V_i \, \rho_i = \sum_i c_i \, (1) \, h_i \, \rho_i \tag{2.60}$$

El calor específico equivalente entonces se obtiene de la igualdad de ambas capacidades caloríficas tanto la del elemento real como la del elemento computacional, como se muestra:

$$C_T = C_r = C_{eq.} \tag{2.61}$$

$$\sum_i c_i \, h_i \, \rho_i = c_{eq.} \cdot m_{eq.} \tag{2.62}$$

$$\sum_i c_i \, h_i \, \rho_i = c_{eq.} \cdot H_{\text{modelo}} \cdot \rho_{eq.} \tag{2.63}$$

Despejando se obtiene:

$$c_{eq.} = \frac{\sum_i c_i \, h_i \, \rho_i}{H_{\text{modelo}} \cdot \rho_{eq.}} \tag{2.64}$$

Como se conoce la densidad equivalente simplemente se reemplaza la ecuación 2.56 en la ecuación 2.64, como sigue:

$$c_{eq.} = \frac{\sum_i c_i \, h_i \, \rho_i}{H_{\text{modelo}} \cdot \left(\frac{\sum_i \, h_i \, \rho_i}{H_{\text{modelo}}}\right)} \tag{2.65}$$

Simplificando se obtiene el calor específico equivalente final del elemento del modelo computacional:

$$c_{eq.f} = \frac{\sum_i \, c_i \, h_i \, \rho_i}{\sum_i \, h_i \, \rho_i} \tag{2.66}$$

en donde:

h_i es el espesor real de la capa del material (componente) i de la envolvente estructurada, en metros.

λ_i es la conductividad térmica del material i, en $\frac{\text{cal}}{\text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{K}}$.

ρ_i es la densidad del material i, en $\frac{\text{g}}{\text{m}^3}$.

c_i es el calor especifico del material i, en $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{K}}$.

H_{modelo} es el espesor total de la envolvente en estudio, en metros. Este dato es indicado al inicio del programa.

Para el caso en el que se probó el comportamiento térmico de la losa de techo tipo vigueta y bovedilla, se muestra en la Figura 2.15 los materiales que se consideraron en el modelo. Para este elemento estructurado el ancho de la bovedilla de poliestireno es variable pero se supuso que en promedio es de 0.60 m. libres. La base de las viguetas son del orden de 0.10 m. Tanto las viguetas como la bovedilla de poliestireno corren a todo lo largo por igual.

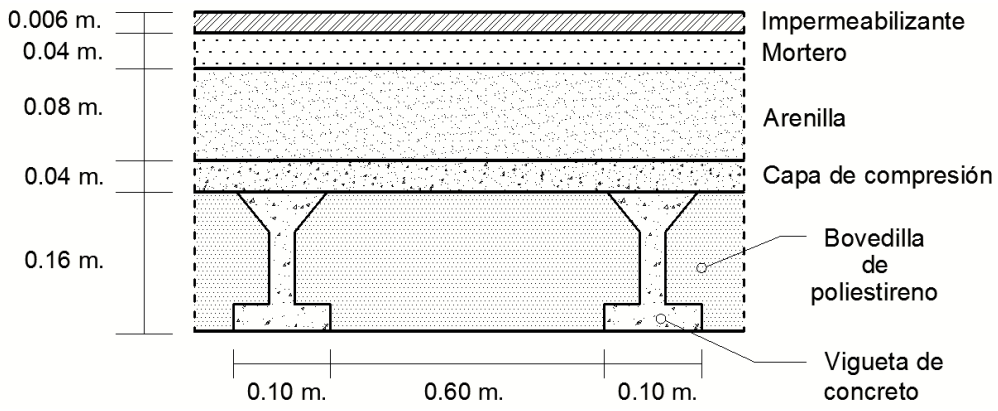


Figura 2.15. Materiales que componen la losa tipo vigueta y bovedilla.

Para el número requerido de viguetas, se supuso una habitación de 3.0 x 3.0 m. (típica de vivienda de interés social) como se muestra en la Figura 2.16, lo que implica que se requerirían 4 viguetas al interior (a cada 0.6 m.), de manera que si el ancho de una vigueta es de 0.10 m., entonces sería ocupado un ancho aproximado de 0.40 m. de los 3 m., por lo que el total de concreto reforzado por participación de las viguetas en esa área es del 13.3% $\left(\frac{0.4}{0.3}\right)$, mientras que el resto 86.7% lo ocupa la bovedilla de poliestireno o de cemento-arena según sea el caso.

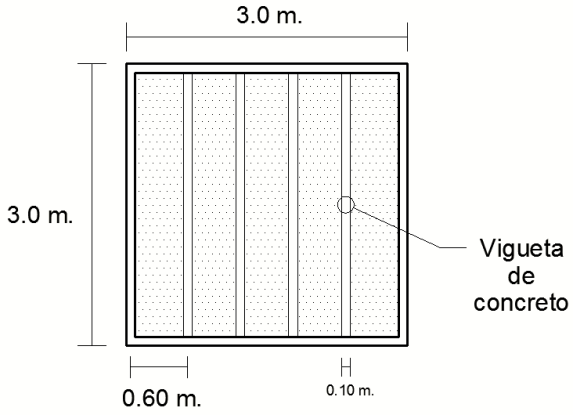


Figura 2.16. Habitación con cuatro viguetas al interior.

Por lo tanto, se propuso esta forma para considerar la participación conjunta de los dos materiales en la resistencia térmica *"R"* de este elemento

estructurado que forma parte de la envolvente (además de los otros materiales que se indican en la Figura 2.15) sería en base al porcentaje de participación de cada uno de ellos, es decir, se deben aplicar los porcentajes de cada material al valor $\left(\frac{\mathrm{h}}{\lambda}\right)$ correspondiente y sumarlos:

$$R = \left(\frac{h_v}{\lambda_v}\right) \cdot 0.133 + \left(\frac{h_b}{\lambda_b}\right) \cdot 0.867 + \cdots + \frac{h_n}{\lambda_n} \qquad (2.67)$$

en donde:

R es la resistencia térmica del elemento estructurado, en $\frac{\mathrm{h \cdot m^2 \cdot °K}}{\mathrm{cal}}$.

h_v es el espesor de la vigueta de concreto, en metros.

λ_v es la conductividad térmica de la vigueta de concreto, en metros.

h_b es el espesor de la bovedilla de poliestireno o de cemento-arena según sea el caso, en metros.

λ_v es la conductividad térmica de la bovedilla de poliestireno o de cemento-arena según sea el caso, en $\frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{h \cdot m \cdot °K}}$.

h_n es el espesor real correspondiente a las demás capas de materiales (componentes) n que conforman la envolvente estructurada, en metros.

λ_n es la conductividad térmica de los demás materiales n que conforman a la envolvente estructurada, en $\frac{\mathrm{cal}}{\mathrm{h \cdot m \cdot °K}}$.

3. METODOLOGÍA.

En este capítulo se describe la metodología empleada para la realización de este trabajo, partiendo de lo más general como la caracterización del modelo experimental hasta la generación del modelo numérico, su validación y su utilización para la evaluación del confort térmico y de la eficiencia energética. La forma general de la metodología se puede apreciar en la Figura 3.1.

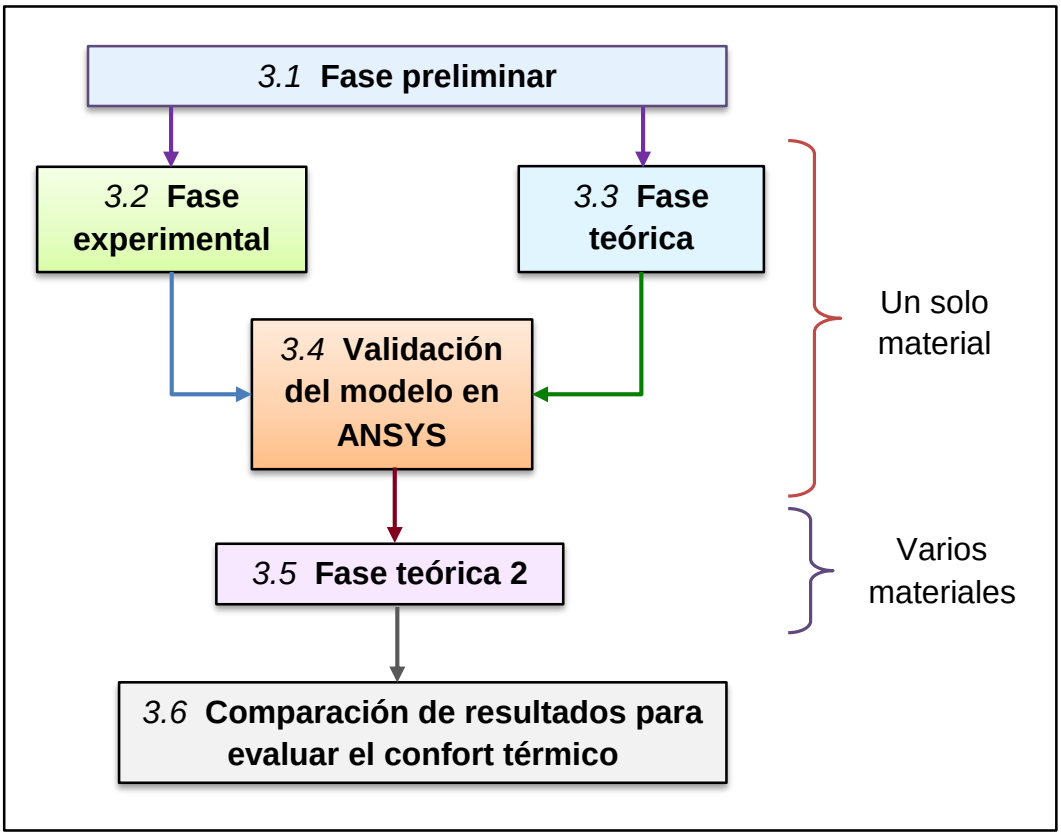


Figura 3.1. Esquema general de la metodología.

En la Figura 3.2 se muestra el diagrama de flujo que describe el seguimiento de estas actividades realizadas de una forma más detallada.

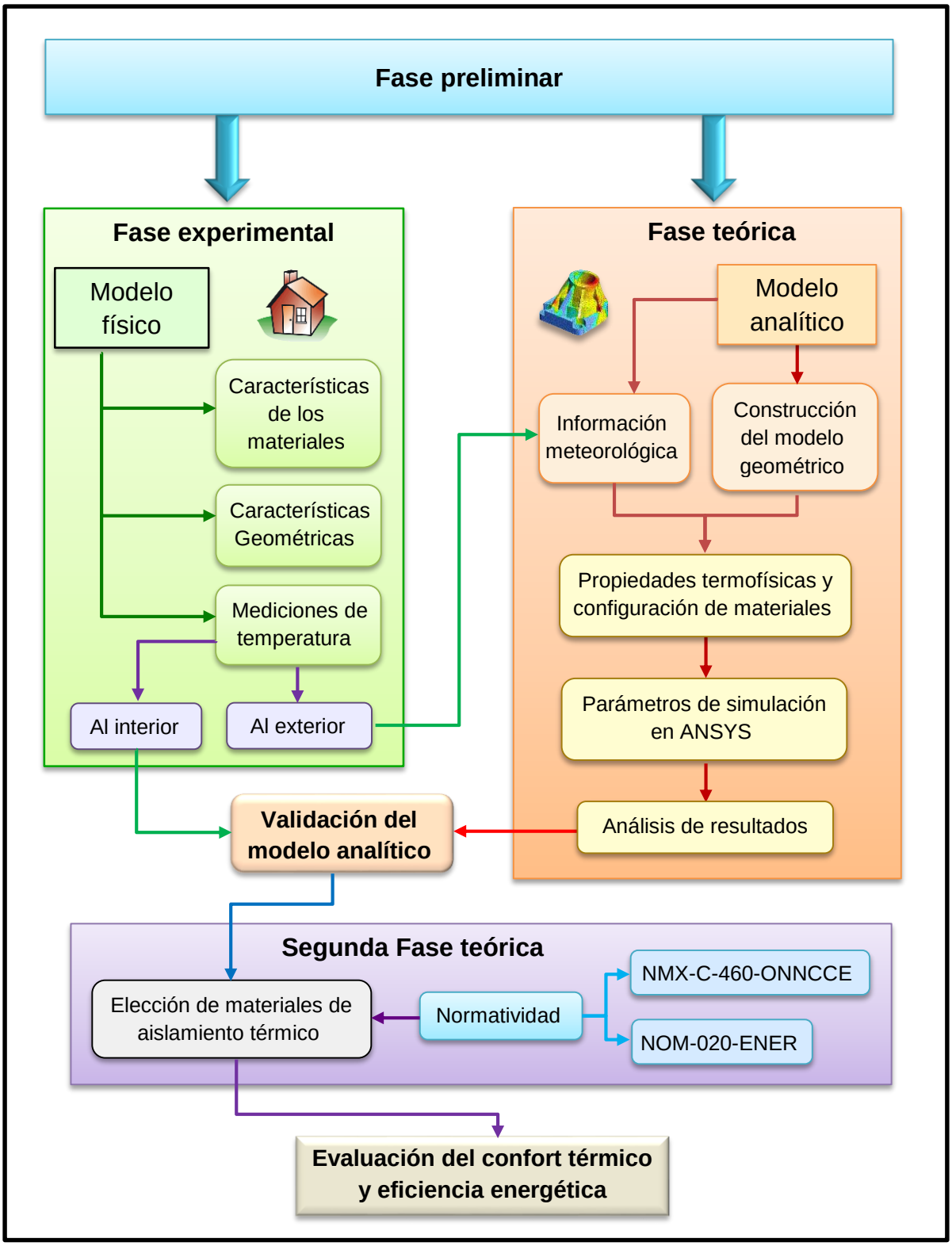


Figura 3.2. Diagrama de flujo de la metodología.

3.1 Fase preliminar.

En la parte preliminar se realizó la revisión bibliográfica, se determinó la fenomenología y los parámetros a caracterizar (estado del arte con normativa), después se determinó el modelo analítico para la solución y se estableció la forma en la cual el método analítico se va a validar de manera experimental.

3.2 Fase experimental.

La fase de experimentación consistió en la medición de la temperatura al interior y exterior (tanto a sol como a sombra) de una vivienda tipo ubicada en la ciudad de Querétaro, México. Estas mediciones de temperatura en el interior y exterior de la vivienda tipo fueron considerados para la validación del modelo numérico y utilizadas como condiciones de frontera para el modelos realizado.

En esta fase se plantaron las características geométricas y de los materiales reales de la vivienda, mediante el desarrollo del modelo analítico se simularon estos parámetros para después de acuerdo a los resultados obtenidos de las temperaturas al interior validar y acoplar el modelo. A continuación se describen a detalle estas actividades.

3.2.1 Caracterización de los materiales.

A continuación se describen los elementos estructurados que conforman la envolvente de la vivienda real y que fueron empleados en el primer análisis del modelo computacional.

Para el caso de la losa de piso de concreto de la vivienda (Figura 3.3) se analizó con los siguientes materiales:

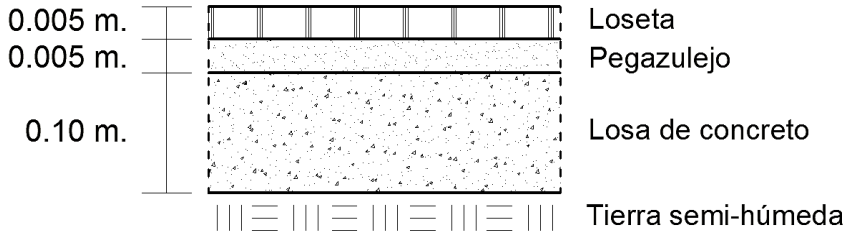


Figura 3.3. Losa de piso de la vivienda tipo.

Los muros exteriores de la vivienda, se analizaron con los materiales mostrados en la Figura 3.4.

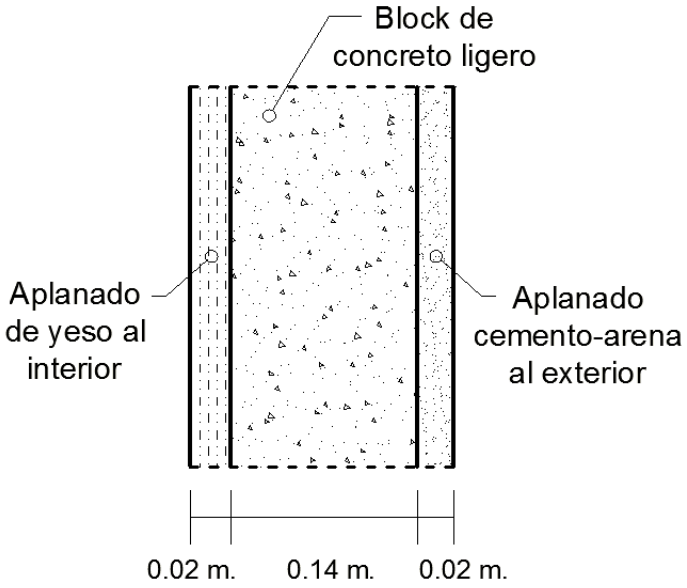


Figura 3.4. Muro exterior de la vivienda.

Mientras que para los muros interiores se analizaron como se muestra en la Figura 3.5:

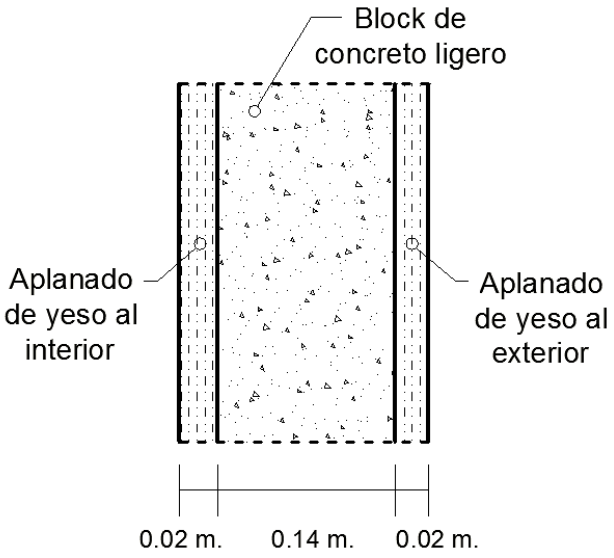


Figura 3.5. Muro interior de la vivienda.

En la Figura 3.6 se muestran las capas o materiales que se consideraron para el elemento estructurado de la losa maciza de techo en el modelo computacional.

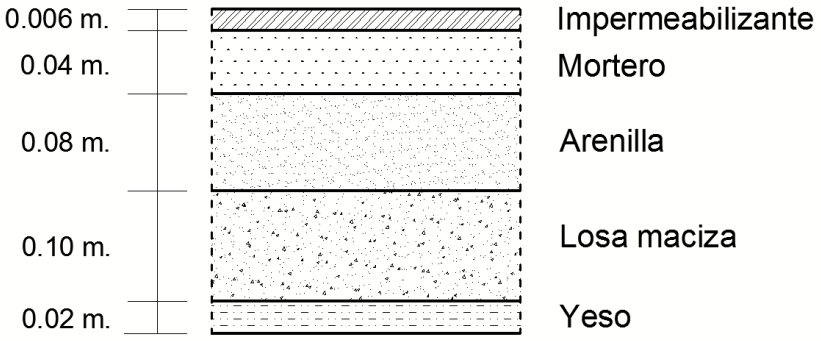


Figura 3.6. Losa de techo maciza.

Las puertas se consideraron de madera con un espesor de 4 cm. y en las ventanas se utilizaron vidrios normales de 3 mm. de espesor.

3.2.2 Equipo de medición de temperatura.

Los sensores utilizados para la medición de temperatura en el interior y exterior de la vivienda, fueron dos Data Logger WatchDog uno modelo 1525 y otro modelo 1425.

En la Figura 3.7 se muestra el tipo de Data Logger de la Serie 1000 y un sensor externo de temperatura de 6 metros de longitud.

Figura 3.7. Data Logger Watchdog Serie 1000 y sensor externo de temperatura.

Las especificaciones técnicas de los sensores de temperatura se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Especificaciones técnicas de los Data Loggers.

Modelo	Sensor interno	Rango de medición	Precisión	Capacidad de medición	Puertos externos
1525	Temperatura	–20 °C a 70 °C	± 0.6 °C	10,584 intervalos	4
1425	Temperatura	–20 °C a 70 °C	± 0.6 °C	10,584 intervalos	3

El Data Logger WatchDog 1525 con el que sea realizó la medición contaba con un sensor interno y tres sensores externos de temperatura (cuatro mediciones), mientras que el Data Logger WatchDog 1425 contaba con un sensor

interno y solo dos sensores externos de temperatura (tres mediciones), por lo que se tuvieron un total de 7 mediciones de temperatura en distintos puntos.

En ambos Data Loggers es posible seleccionar intervalos de medición desde 1 minuto a 60 minutos, por lo que se realizó para este trabajo el registro de las mediciones de temperaturas con el máximo intervalo permitido de una hora.

Estos sensores fueron ubicados en una habitación de la vivienda como se muestra en la Figura 3.8.

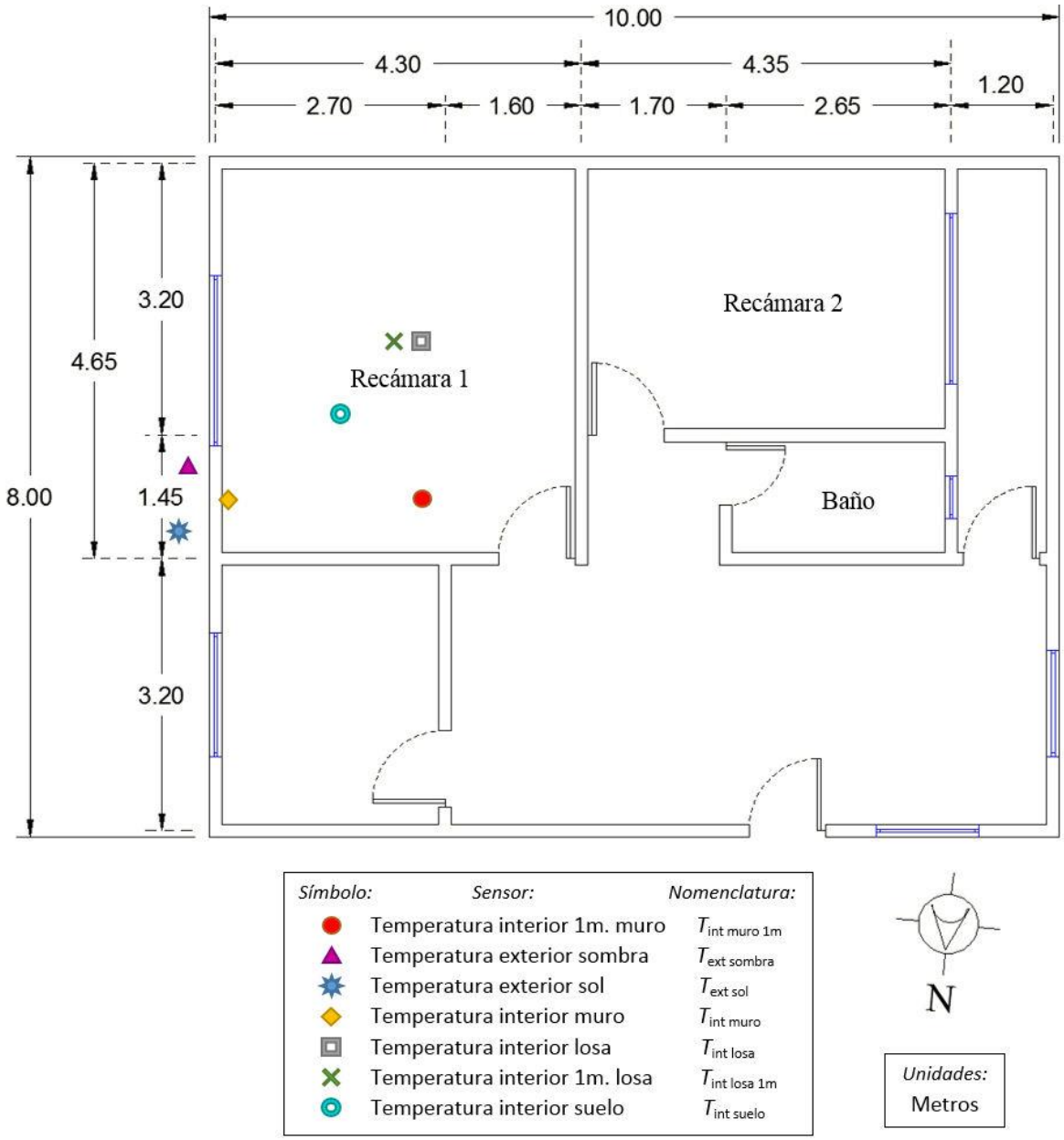


Figura 3.8. Ubicación de los sensores en el interior y exterior de la vivienda.

Se consideró llamarle “temperatura interior 1m. muro” ($T_{\text{int muro 1m}}$) al sensor que estaba a 1 m. separado del muro y a una altura de 1.4 m. al interior de la vivienda; “temperatura exterior sombra” ($T_{\text{ext sombra}}$) a aquel sensor que estaba al exterior de la vivienda pero resguardado del sol; “temperatura exterior sol” ($T_{\text{ext sol}}$) al sensor que quedó totalmente a la intemperie, es decir, totalmente descubierto o desprotegido; “temperatura interior muro” ($T_{\text{int muro}}$) al sensor que estaba pegado en el muro al interior y a una altura de 1.4 m.; “temperatura interior losa” ($T_{\text{int losa}}$) al sensor que estaba al interior pegado en la parte inferior de la losa de techo; “temperatura interior 1m. losa” ($T_{\text{int losa 1m}}$) al sensor que estaba a 1 m. de distancia separado de la losa al centro de la habitación; “temperatura interior suelo” ($T_{\text{int suelo}}$) al sensor que estaba sobre el piso al interior de la vivienda.

En Figura 3.9 se muestra la colocación de uno de estos sensores ($T_{\text{int muro}}$) al interior de la vivienda mediante cinta aislante.

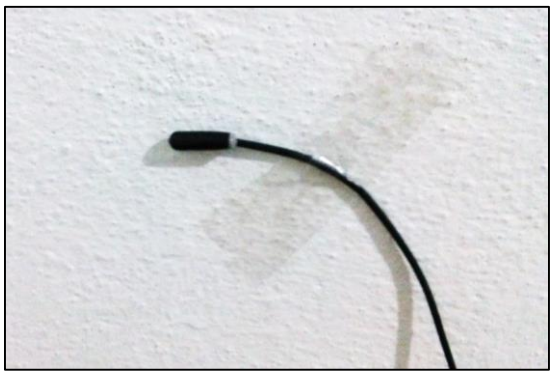


Figura 3.9. Colocación del sensor de temperatura a la pared.

Las mediciones de temperatura se registraron continuamente a lo largo de 5 meses, iniciando el 13 de enero de 2014 y finalizando el 12 de junio de 2014.

3.3 Fase teórica.

La fase teórica de esta investigación fue descrita en el capítulo anterior, en donde, se presentó el concepto del confort térmico, los aspectos de eficiencia energética, las características termofísicas de distintos materiales de aislamiento térmico y las evaluaciones más importantes empleadas para la realización de este estudio, también, se mencionaron las bases teóricas del fenómeno de análisis térmico y por lo tanto del empleo del elemento finito utilizando el software ANSYS como herramienta computacional para el cálculo de la distribución de las temperaturas al interior de la vivienda, además de la obtención de la ganancia y perdida de calor de la envolvente.

3.3.1 Modelo analítico.

La parte numérica es la parte principal de este trabajo.

En la Figura 3.10 se muestra el diagrama de flujo del modelo realizado en ANSYS para el análisis del térmico de la vivienda.

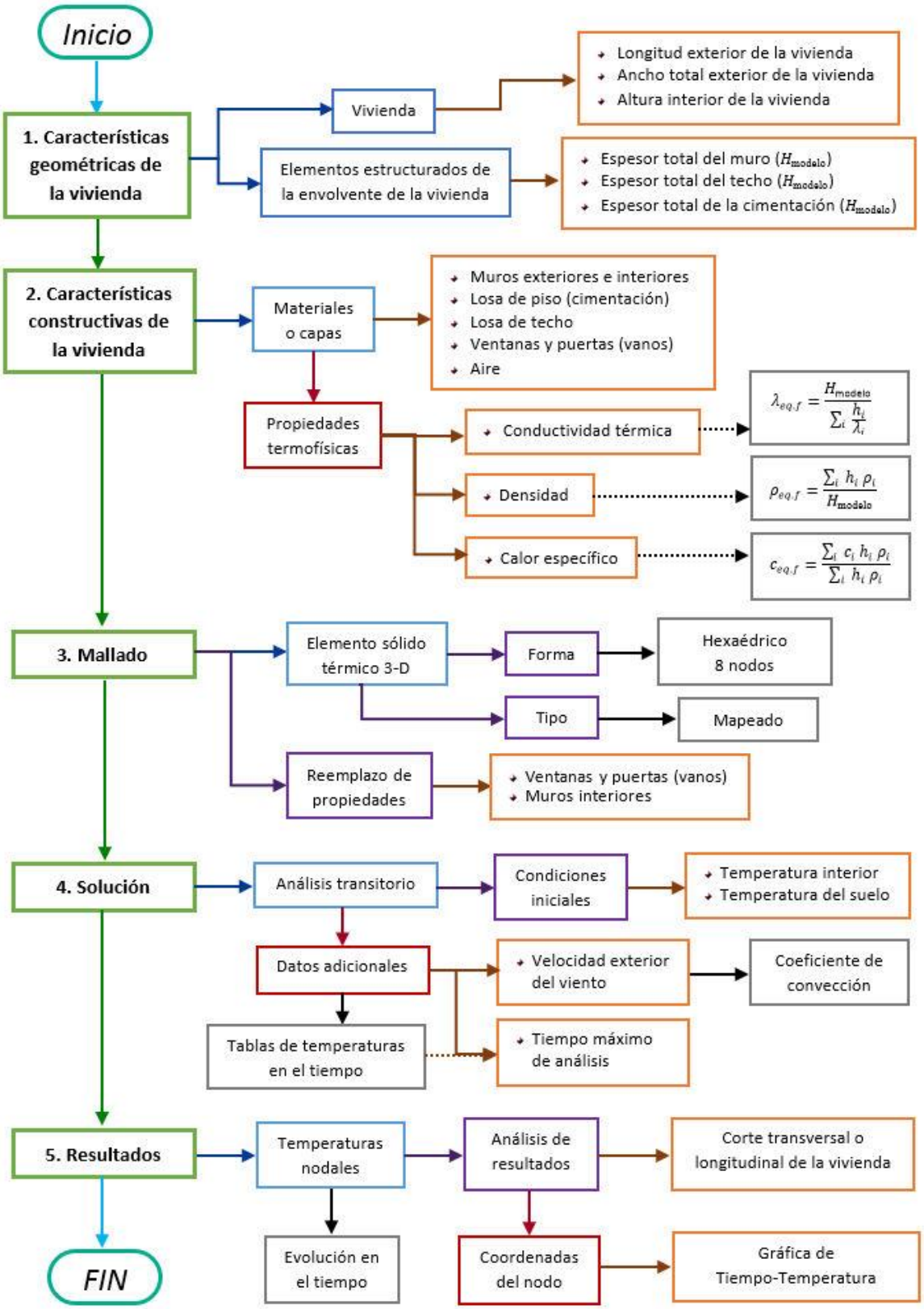


Figura 3.10. Diagrama de flujo del programa en ANSYS.

El modelo computacional creado despliega ventanas para asignar el valor de las distintas variables que intervienen en el análisis. La primera ventana corresponde a las características geométricas (Figura 3.11), por lo que se indicaron las medidas exteriores de la vivienda modelada y las dimensiones de los elementos estructurados de la envolvente.

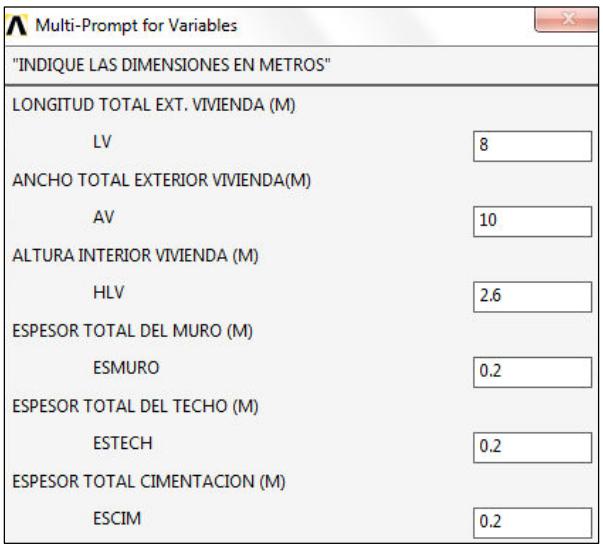


Figura 3.11. Ventana de geometría de la vivienda y envolventes.

En la Figura 3.12 se muestra un corte en perfil del modelo (vivienda), en el que se visualizan las dimensiones de los elementos estructurados (alturas y espesores) de acuerdo al valor introducido previamente de cada variable al programa.

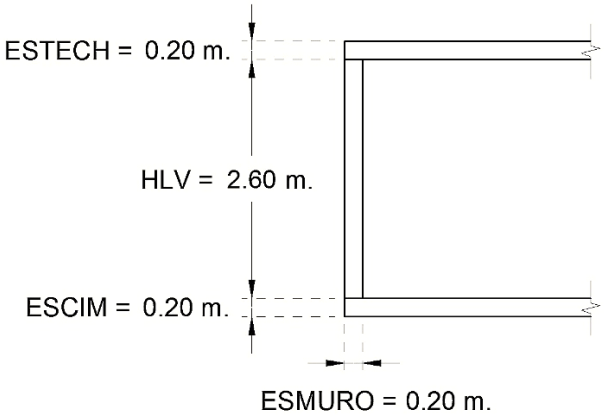


Figura 3.12. Vista en perfil del modelo.

Posteriormente se indicaron las capas o materiales que componen cada porción de la envolvente de la vivienda, a los cuales el programa asignó sus propiedades termofísicas y evaluó las conductividades térmicas, densidades y calores específicos finales. Además, se asignó la propiedad por default del aire al interior de la vivienda. En la Figura 3.13 se muestra la forma en que se asignaron los distintos materiales que componen al muro exterior de la vivienda. En la que se ingresó en el recuadro de la derecha un “1” cuando el elemento estructurado analizado estaba conformado con ese material en cuestión y un “0” cuando no lo estaba.

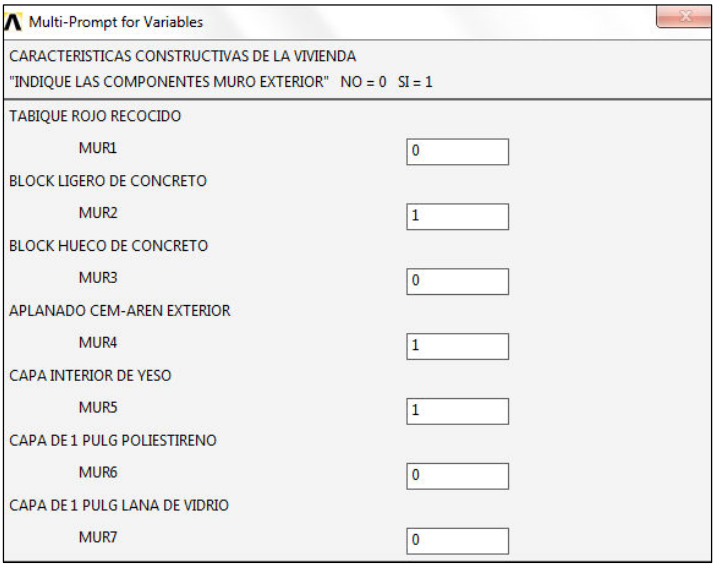


Figura 3.13. Ventana de materiales para el muro exterior.

En la Figura 3.14 se muestra la forma en que se asignaron los diferentes materiales que componen a la cimentación de la vivienda.

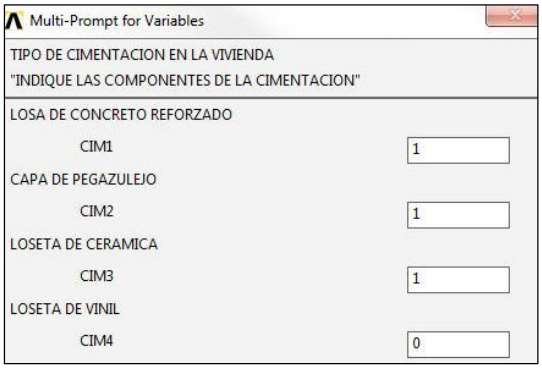


Figura 3.14. Materiales para la cimentación.

En la Figura 3.15 y Figura 3.16 se muestra la forma de asignación de los materiales que componen al muro interior y al techo, respectivamente.

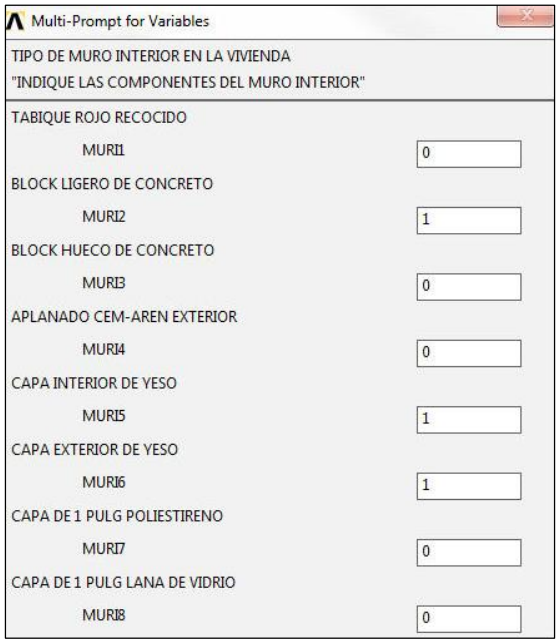


Figura 3.15. Materiales para el muro interior.

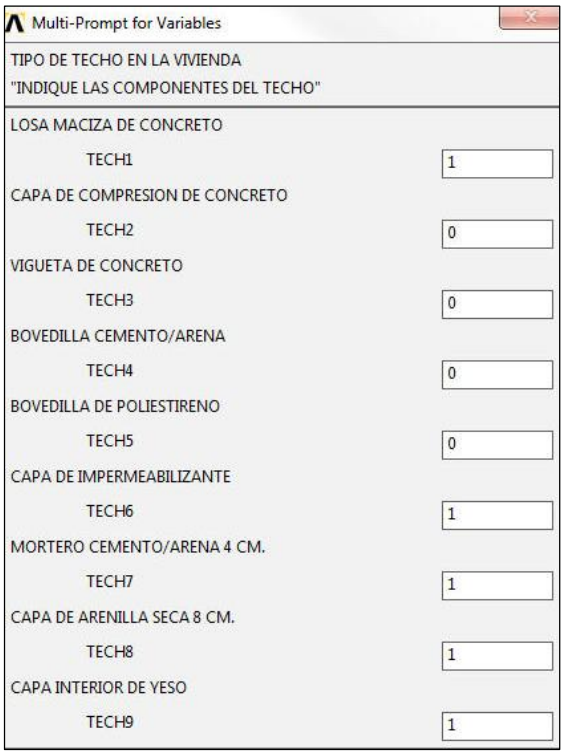


Figura 3.16. Materiales para el techo.

Posteriormente, en la Figura 3.17 se muestra la forma en que se indicó el tipo de ventana y puerta que se analizó para la vivienda, después se ingresó el espesor del vidrio y el de la puerta. Se dejó el recuadro en blanco al momento de indicar los espesores para las puertas y para los vidrios de las ventanas, ya que se asignó al programa un valor por default de 3 mm. para el espesor de las ventanas (Figura 3.18) y de 4 cm. para el espesor de las puertas (Figura 3.19).

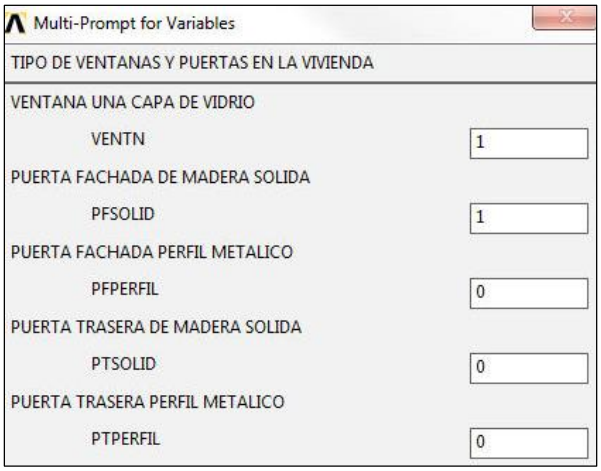


Figura 3.17. Tipo de ventana y puerta.

Figura 3.18. Espesor del vidrio.

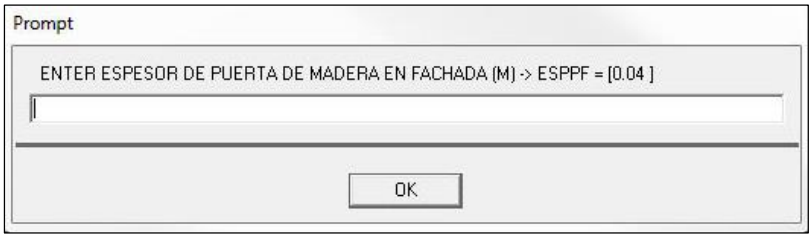


Figura 3.19. Espesor de la puerta.

En la Tabla 3.2 se muestran las propiedades termofísicas de los materiales utilizados en el análisis térmico volumétrico, estos valores fueron obtenidos a partir de una recopilación de varias fuentes bibliográficas de estudios previos del material.

Tabla 3.2. Propiedades termofísicas de los materiales utilizados en el modelo.

Material	***Conductividad térmica***		***Densidad***		***Calor especifico***	
	W/(m K)	cal/(h m K)	kg/m^3	g/m^3	J/(kg K)	cal/(g K)
Aire Seco	0.025	21.50	1.23	1.23E+03	1000	0.239
Aplanado de cemento	0.872	749.96	1900	1.9E+06	840	0.201
Aplanado de yeso	0.372	319.94	800	8.0E+05	920	0.220
Arenilla seca	0.407	350.04	1700	1.7E+06	795	0.190
Block hueco de concreto	0.49	421.42	1200	1.2E+06	1050	0.251
Block ligero de concreto	0.7	602.04	1200	1.2E+06	1000	0.239
Bloque de adobe	0.93	799.85	1600	1.6E+06	920	0.220
Bovedilla de cemento-arena	1.5	1290.08	1040	1.04E+06	900	0.215
Concreto Reforzado	2	1720.10	2400	2.4E+06	1000	0.239
Lana de vidrio (GW)	0.038	32.68	24	2.4E+04	837	0.200
Impermeabilizante	0.174	149.65	1050	1.1E+06	920	0.220
Ladrillo	0.872	749.96	2000	2.0E+06	1330	0.318
Loseta cerámica	1.3	1118.07	2300	2.30E+06	920	0.220
Madera	0.13	111.81	840	8.4E+05	1381	0.330
Mortero de cemento-arena	1.3	1118.07	2100	2.1E+06	1050	0.251
Pegazulejo	0.17	146.21	1800	1.8E+06	837	0.200
Poliestireno expandido (EPS)	0.033	28.38	30	3.0E+04	1215	0.290
Suelo húmedo	0.8	688.04	1800	1.8E+06	800	0.191
Vidrio sencillo	0.93	799.85	2200	2.2E+06	836	0.200

Fuentes: (NMX-C-460-0NNCCE, 2009), (NOM-020-ENER, 2011), (NBE-CT-79), (IRAM-11601, 2002), (IDAE, 2007) y (CALENER, 2002).

En el modelo transitorio tridimensional se emplearon elementos finitos lineales tipo SOLID70 para simular el comportamiento térmico de las envolventes de la vivienda. Se realizó un mallado mapeado, para ajustar cada elemento finito a la geometría de las envolventes.

Posteriormente se dibujó y se reemplazó las propiedades de los vanos (puertas y ventanas) y la de los muros interiores.

En la Tabla 3.3 se muestran los indicadores de los distintos materiales que se utilizaron en el modelo computacional.

Tabla 3.3. Indicadores de los distintos materiales.

Indicador:	Tipo de material:
1	Muros exteriores
2	Cimentación
3	Techo
4	Aire
5	Ventanas
6	Puerta fachada
7	Puerta trasera
8	Muros interiores

En la Figura 3.20 se muestra el modelo que se utilizó para el análisis térmico transitorio, mientras que en la Figura 3.21 se desactivaron los indicadores que corresponden a los materiales de techo (3), ventanas (5), puertas (6) y el aire (4), para apreciar el interior de la vivienda modelada.

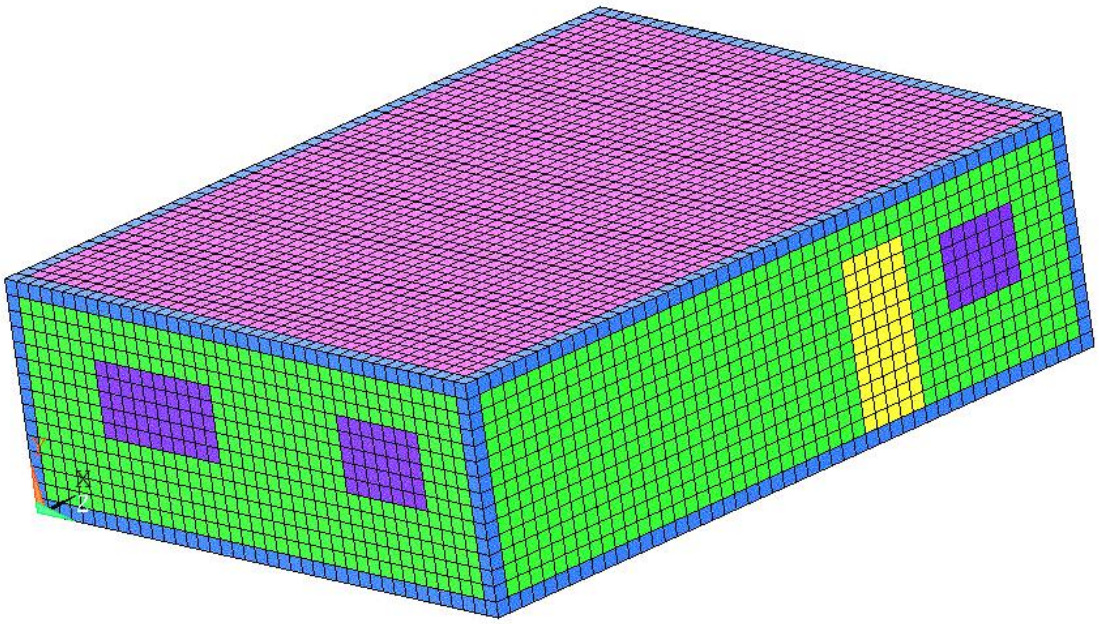


Figura 3.20. Modelo computacional de la vivienda.

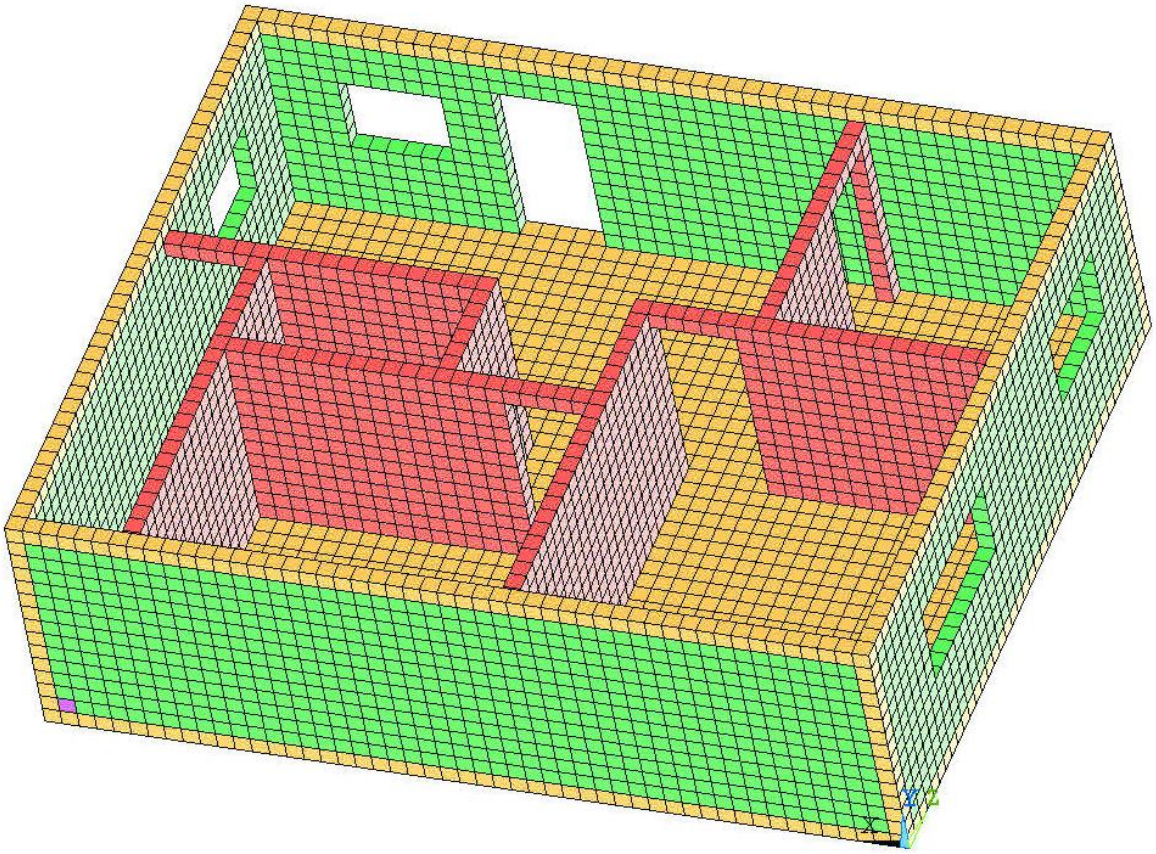


Figura 3.21. Interior del modelo de la vivienda.

Después, para la solución del problema transitorio se analizaron los datos experimentales de las mediciones registradas de los 5 meses (del 13 de enero al 12 de junio del 2014), en donde se identificaron picos altos de temperatura tanto al exterior como al interior, por lo que se ingresaron al programa las mediciones de un mes representativo para época de calor (11 de abril – 10 de mayo), en forma de tablas de temperaturas en intervalos de 3 horas para un total de 240 datos (Tabla 7.1), asignando al programa un tiempo máximo de análisis de 720 horas (30 días). Se indicaron condiciones iniciales (Figura 3.22) en la que la temperatura al interior se propuso de 25 °C, la velocidad exterior del viento se consideró de quietud con una velocidad baja de 2 m/s (7.2 km/h), que de acuerdo a la relación de Szokolay para esta velocidad de viento el coeficiente de convección asignado a la áreas exteriores del modelo fue de 14.0 W/m^{2}K, mientras que el coeficiente de convección interior fue de 4.66 W/m^{2}K.

La temperatura del suelo se consideró de 22 °C en donde no existe convección y el único efecto a considerar fue la conducción.

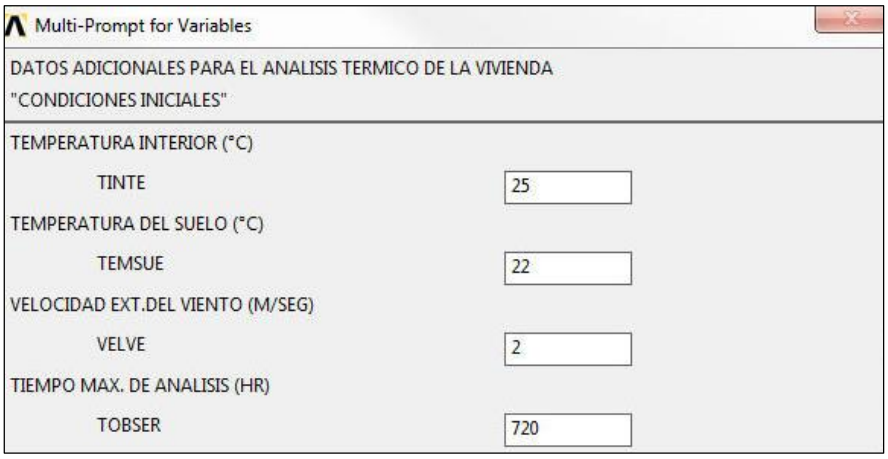


Figura 3.22. Condiciones iniciales del análisis térmico transitorio.

Los resultados de la modelación del análisis transitorio de la vivienda se analizaron mediante gráficas de temperatura contra tiempo y mediante cortes para observar la evolución de las temperaturas al interior de esta.

3.4 Validación del modelo.

Por otro parte, la validación del modelo de análisis térmico consistió en la comparación de los valores observados de temperatura para distintos puntos al interior del prototipo de vivienda, con los valores predichos por la simulación.

Un modelo ya en condiciones completamente simuladas sirvió para la estimación del confort térmico y su comportamiento al interior, así como para revisar y ensayar las distintas opciones de elementos estructurados para las envolventes con base en materiales de uso de la región.

3.5 Fase Teórica 2.

La segunda parte analítica consistió primeramente en la resolución de un modelo de transferencia de calor por conducción en estado estacionario en el muro de la vivienda, en la cual de acuerdo con la normatividad de México, se revisó el aspecto de resistencia térmica estableciendo los acotamientos específicos para los elementos de las envolventes (muros y techos), considerándolos como capas homogéneas acopladas y el flujo de calor normal al elemento estructurado. Por lo que entonces en el desarrollo de la simulación del dominio de las temperaturas al interior de la construcción se utilizaron diferentes materiales que la norma sugiere como adecuados para formar diferentes arreglos en las envolventes de la vivienda.

3.6 Comparación de los resultados.

Por último se compararon los resultados de las diferentes propuestas de materiales utilizados para las envolventes de la vivienda, cabe mencionar que dichos resultados se verificaron conforme a la norma. Así, se realizó la comparativa de cada uno de estos elementos estructurados en cuanto a la eficiencia energética y al confort que ofrecen al interior de la vivienda.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de las mediciones de temperatura de la vivienda tipo para los distintos puntos al interior y exterior de esta, los resultados de la modelación, la comparativa de validación del modelo y los resultados de las diferentes propuestas de materiales para mejor el confort al interior de la vivienda.

4.1 Mediciones de temperatura.

La ubicación de los sensores de temperatura al interior y exterior de la vivienda se muestra en la Figura 4.1.

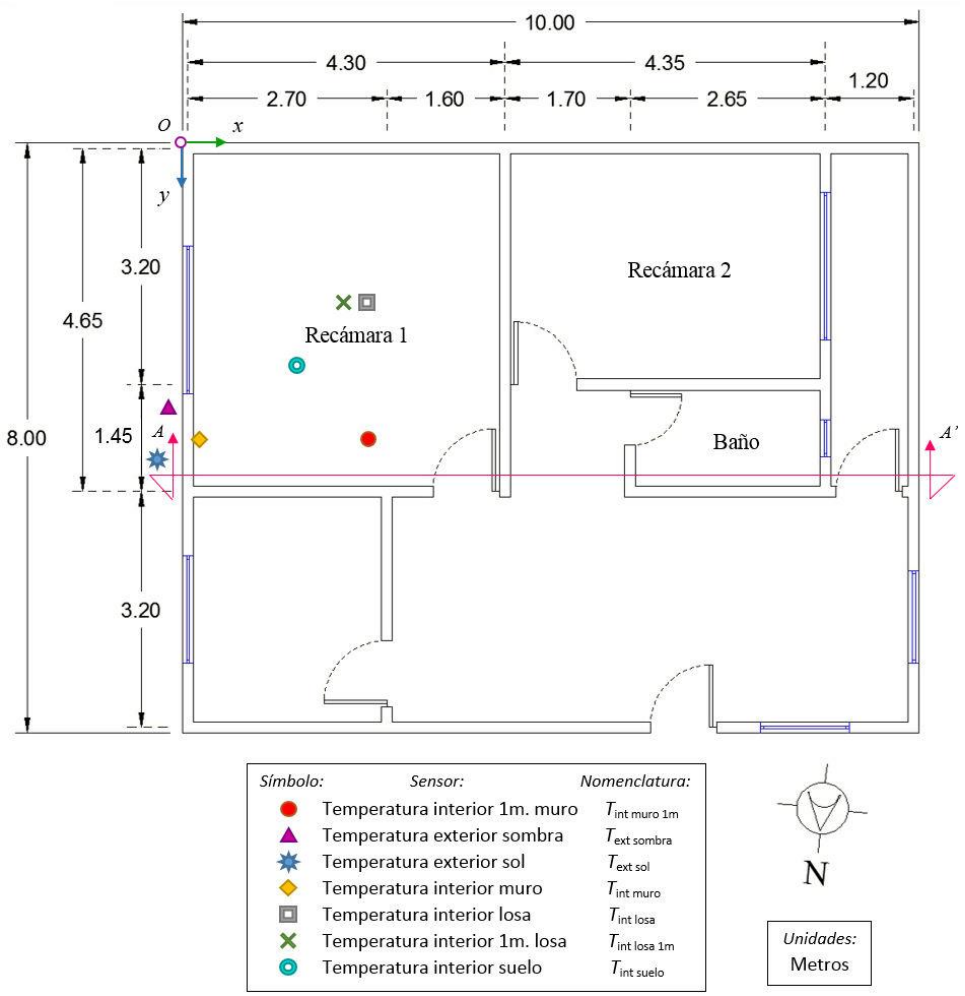
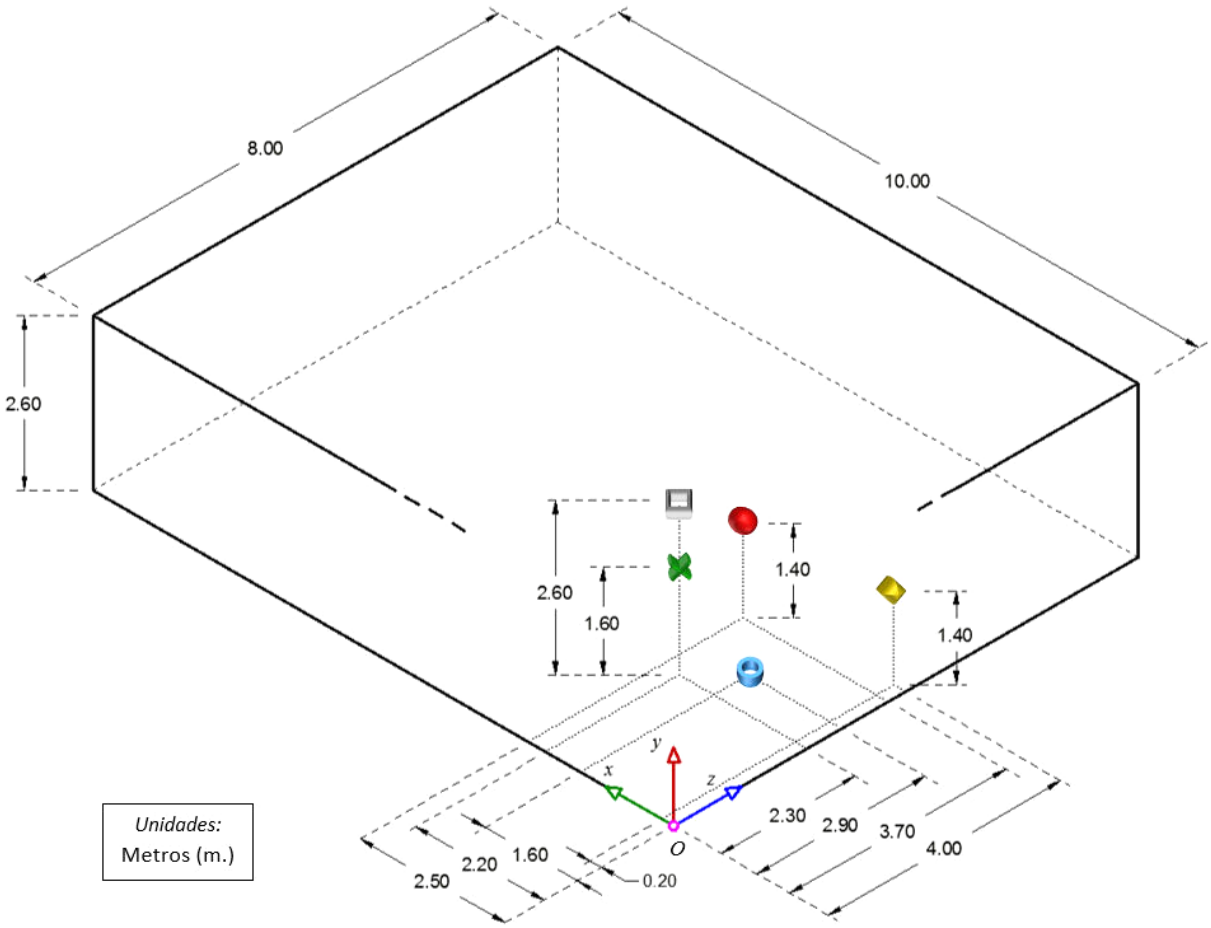


Figura 4.1. Ubicación de los sensores de temperatura.

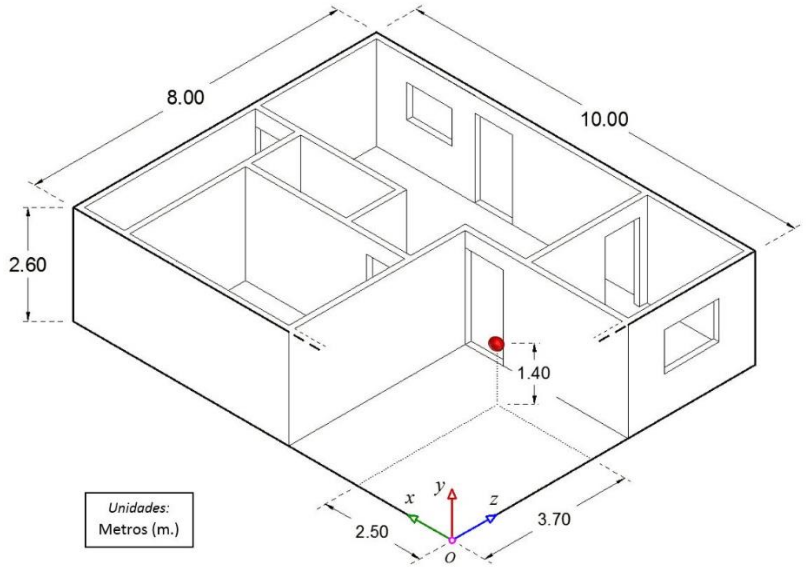
En la Figura 4.2 se muestra la ubicación espacial de los sensores de temperatura al interior de la vivienda, en la que se tomó como referencia el nivel de piso con una altura libre de 2.60 m. y el origen O mostrado en el plano de la Figura 4.1.



Sensor	Símbolo	Coordenadas		
		x	y	z
$T_{int\ muro\ 1m}$		2.50 m.	1.40 m.	3.70 m.
$T_{int\ muro}$		0.20 m.	1.40 m.	4.00 m.
$T_{int\ losa}$		2.20 m.	2.60 m.	2.30 m.
$T_{int\ losa\ 1m}$		2.20 m.	1.60 m.	2.30 m.
$T_{int\ suelo}$		1.60 m.	0.00 m.	2.90 m.

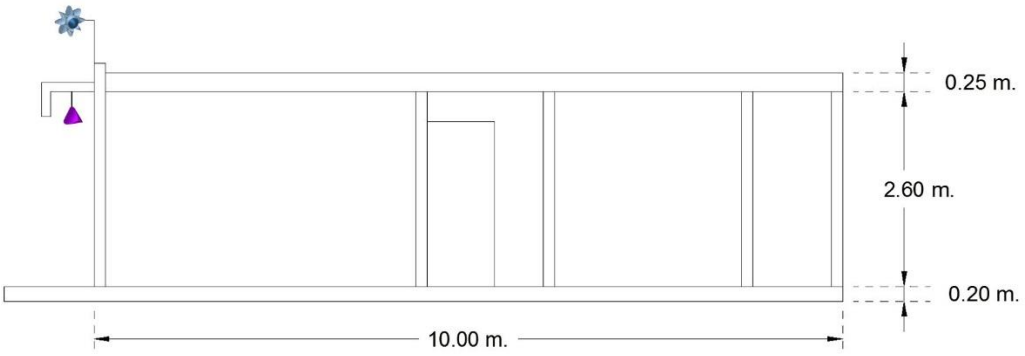
Figura 4.2. Ubicación espacial de los sensores al interior de la vivienda.

En la Figura 4.3 se muestra la ubicación espacial del sensor de temperatura "$T_{int\ muro\ 1m}$" al interior de la vivienda, los registros de este sensor sirvieron más adelante de comparación con los solucionados por el programa. Mientras que en la Figura 4.4 se muestra la ubicación de los sensores de temperatura "$T_{ext\ sombra}$" y "$T_{ext\ sol}$" al exterior, mediante un corte transversal de la vivienda ilustrado en la Figura 4.1.



Sensor	Símbolo	Coordenadas		
		x	y	z
$T_{int\ muro\ 1m}$	●	2.50 m.	1.40 m.	3.70 m.

Figura 4.3. Ubicación del sensor de temperatura $T_{int\ muro\ 1m}$.



Sensor	Símbolo
$T_{ext\ sombra}$	▲
$T_{ext\ sol}$	

Figura 4.4. Corte transversal A – A'.

Las temperaturas registradas de estos sensores al interior ($T_{\text{int muro 1m}}$) y al exterior ($T_{\text{ext sombra}}$) de la vivienda, a lo largo de los 5 meses (del 13 de enero al 12 de junio del 2014) se muestran en la gráfica de la Figura 4.5 y Figura 4.6, respectivamente. Estos valores de temperaturas se encuentran en intervalos de una hora y corresponden a 3,624 horas de registro continuas (151 días).

En la Figura 4.7 se sobreponen estas dos gráficas anteriores (Figura 4.5 y Figura 4.6), en la que se observó el comportamiento de la temperatura al interior de la vivienda. En la gráfica de la Figura 4.7 se muestra un amplio panorama en la evolución de las temperaturas, en la que se observó una temperatura mínima al exterior en época de invierno de 4°C, la cual se presentó el día 16 de enero a las 6:00 hrs., mientras que al interior la temperatura mínima de ese mismo día fue de 15.4°C a las 10:00 hrs., sin embargo, conforme transcurrió el tiempo se fueron presentando días con temperaturas más altas al exterior y por consecuencia su repercusión al interior. Se presentó una temperatura máxima al exterior el día 6 de mayo de 35.9°C a las 16:00 hrs. y una máxima al interior correspondiente para a ese día de 28.4°C a las 20:00 hrs. El promedio de temperatura al exterior durante los 5 meses de registro fue de 21.6°C mientras que al interior fue de 24.3°C. El rango de la temperatura diaria promedio durante estos 5 meses, osciló en 16.4°C al exterior y de 2.7°C al interior.

Se utilizó para el estudio y modelación solamente las temperaturas registradas durante un mes (11 de abril al 10 de mayo), en donde se presentaron días con altas temperaturas tanto al exterior como al interior, por lo que se consideró como una zona representativa de época de calor, la cual correspondió del dato 2112 al 2832 (720 horas) de la gráfica de la Figura 4.7.

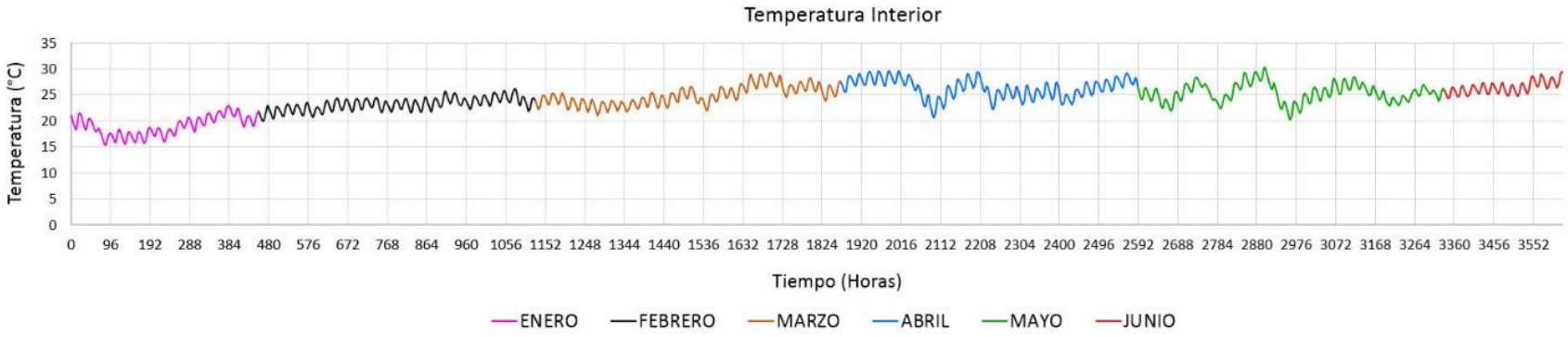


Figura 4.5. Gráfica de temperaturas al interior de la vivienda durante 5 meses.

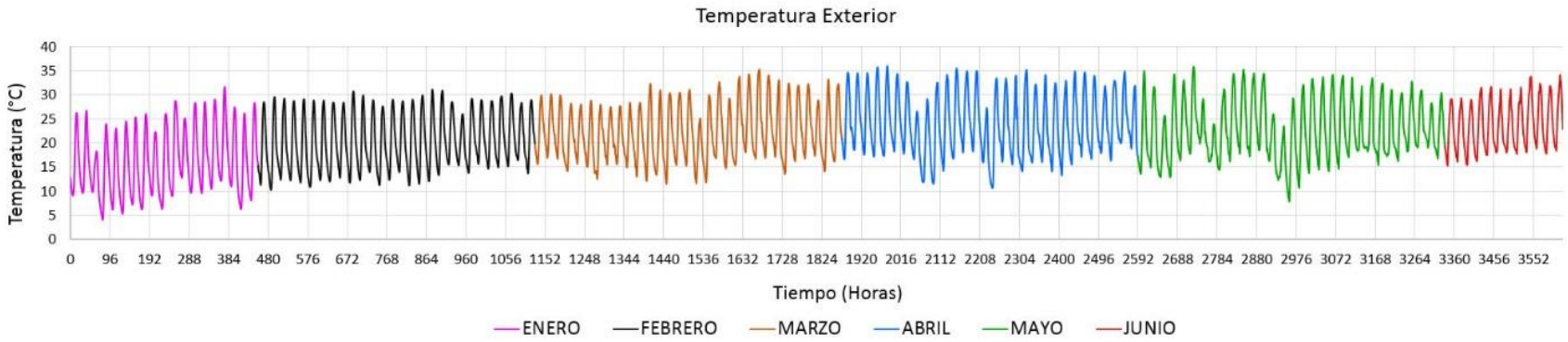


Figura 4.6. Gráfica de temperaturas al exterior de la vivienda durante 5 meses.

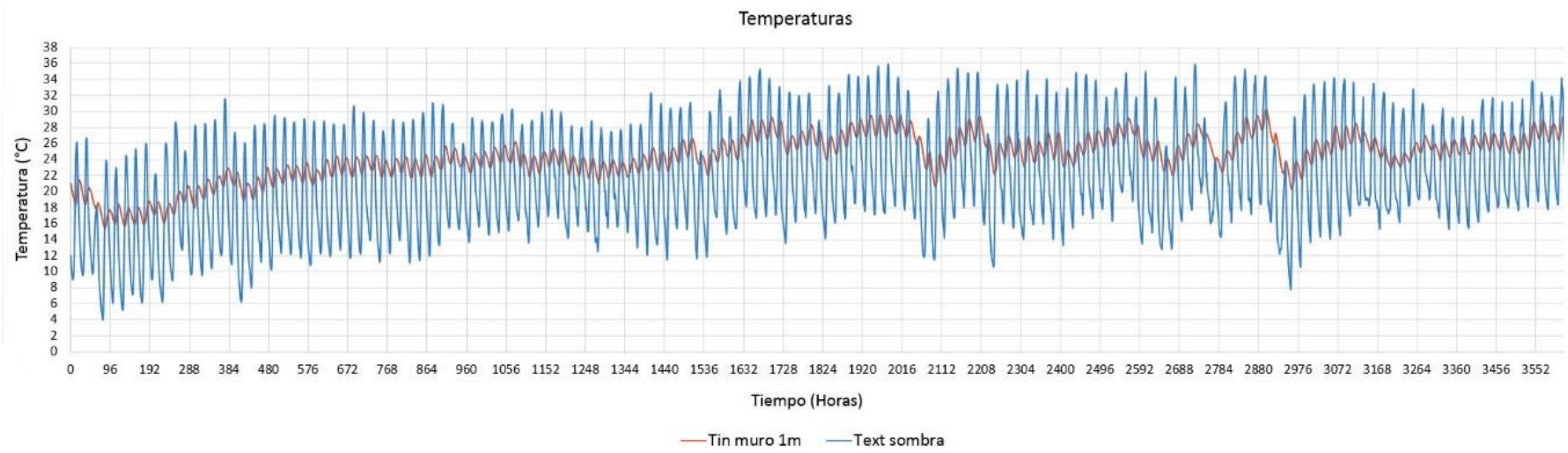


Figura 4.7. Gráfica de temperaturas al interior y exterior durante 5 meses.

Las temperaturas registradas por los sensores de temperatura al interior de la vivienda durante este periodo de análisis de un mes se presentan en la Figura 4.8, Figura 4.9, Figura 4.10, Figura 4.11 y Figura 4.12, mientras que las temperaturas registradas al exterior de la vivienda se muestran en la Figura 4.13 y Figura 4.14.

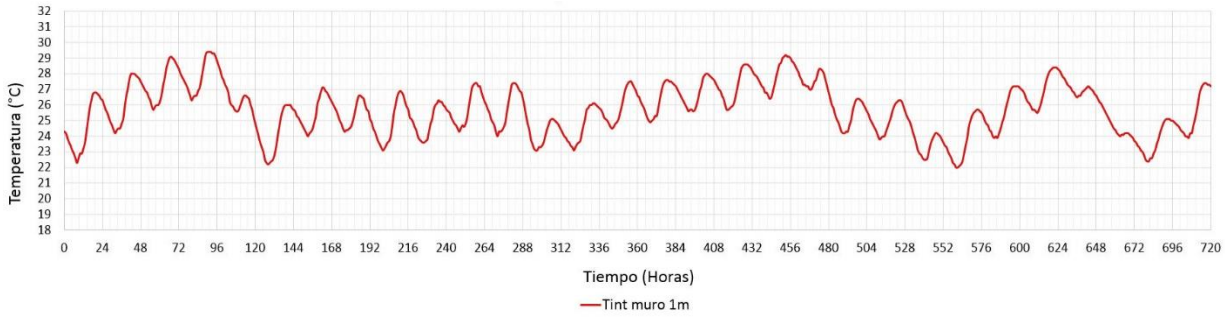


Figura 4.8. Gráfica del sensor de “temperatura interior 1m. muro”.

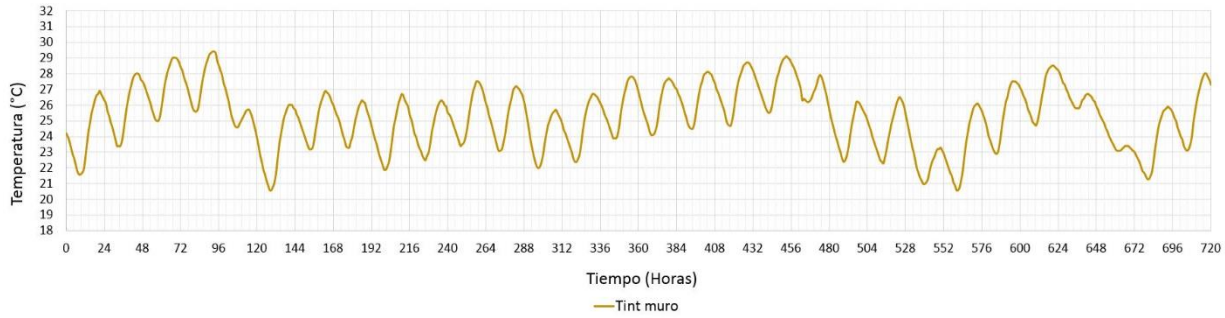


Figura 4.9. Gráfica del sensor de “temperatura interior muro”.

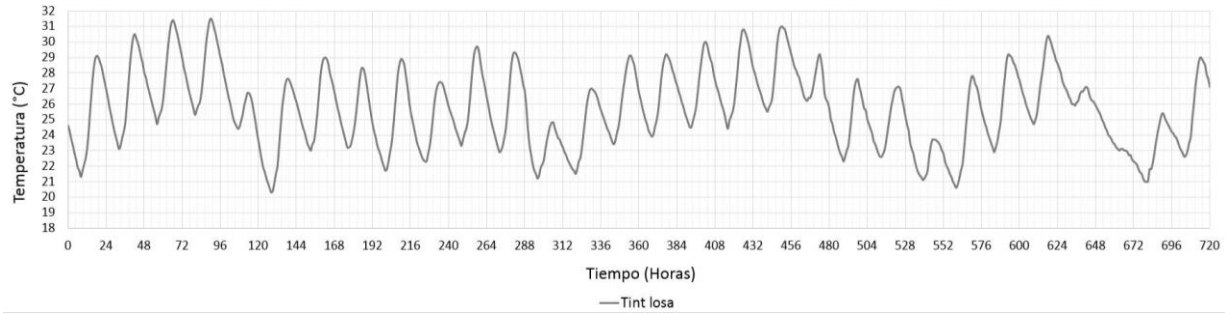


Figura 4.10. Gráfica del sensor de “temperatura interior losa”.

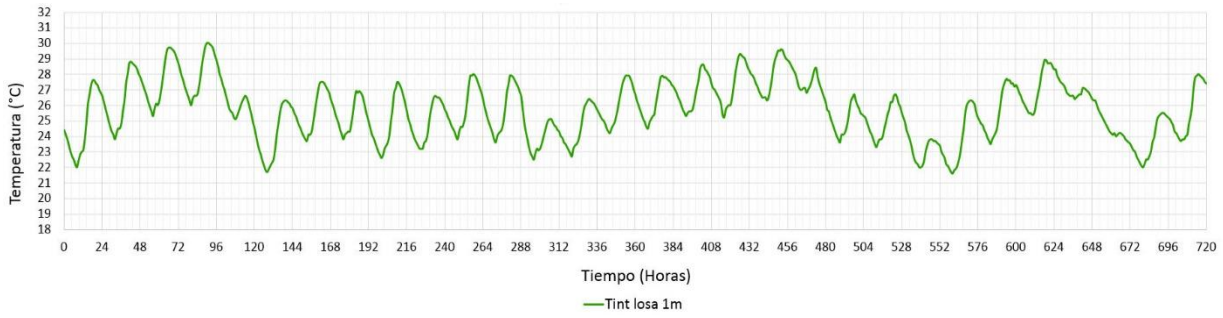


Figura 4.11. Gráfica del sensor de “temperatura interior 1m. losa”.

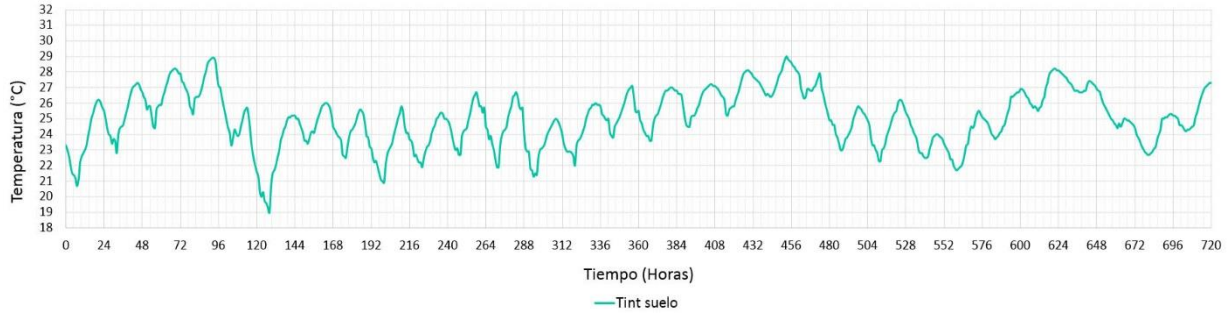


Figura 4.12. Gráfica del sensor de “temperatura interior suelo”.

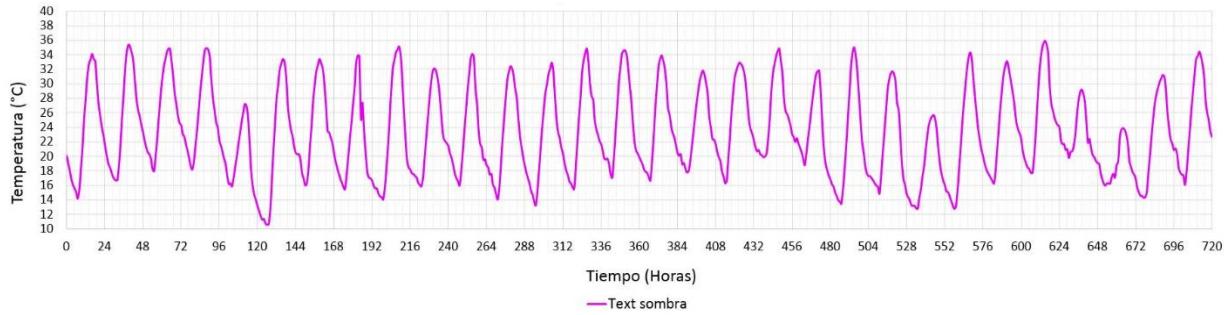


Figura 4.13. Gráfica del sensor de “temperatura exterior sombra”.

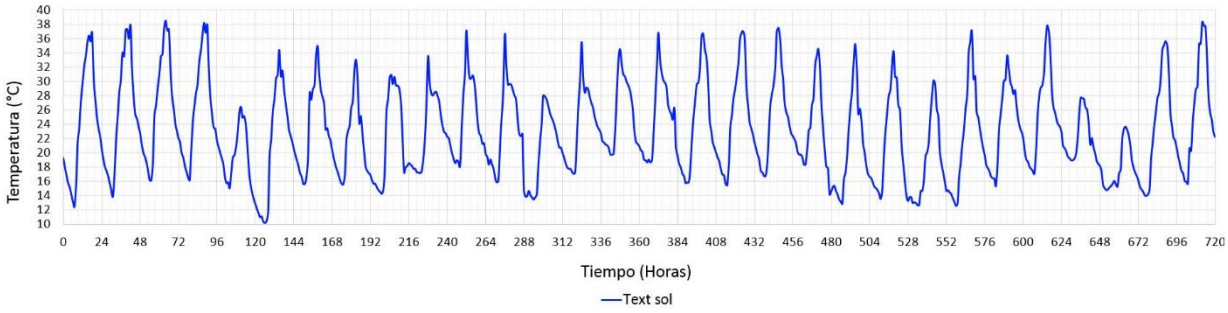


Figura 4.14. Gráfica del sensor de “temperatura exterior sol”.

En la Figura 4.15 se muestran graficadas las mediciones de temperaturas para los días 27, 28 y 29 de abril de 2014, que corresponden de la hora 384 a la 456 del mes analizado (11 de abril al 10 de mayo), en la que se visualizan las diferentes temperaturas que se tienen al exterior y al interior de la vivienda.

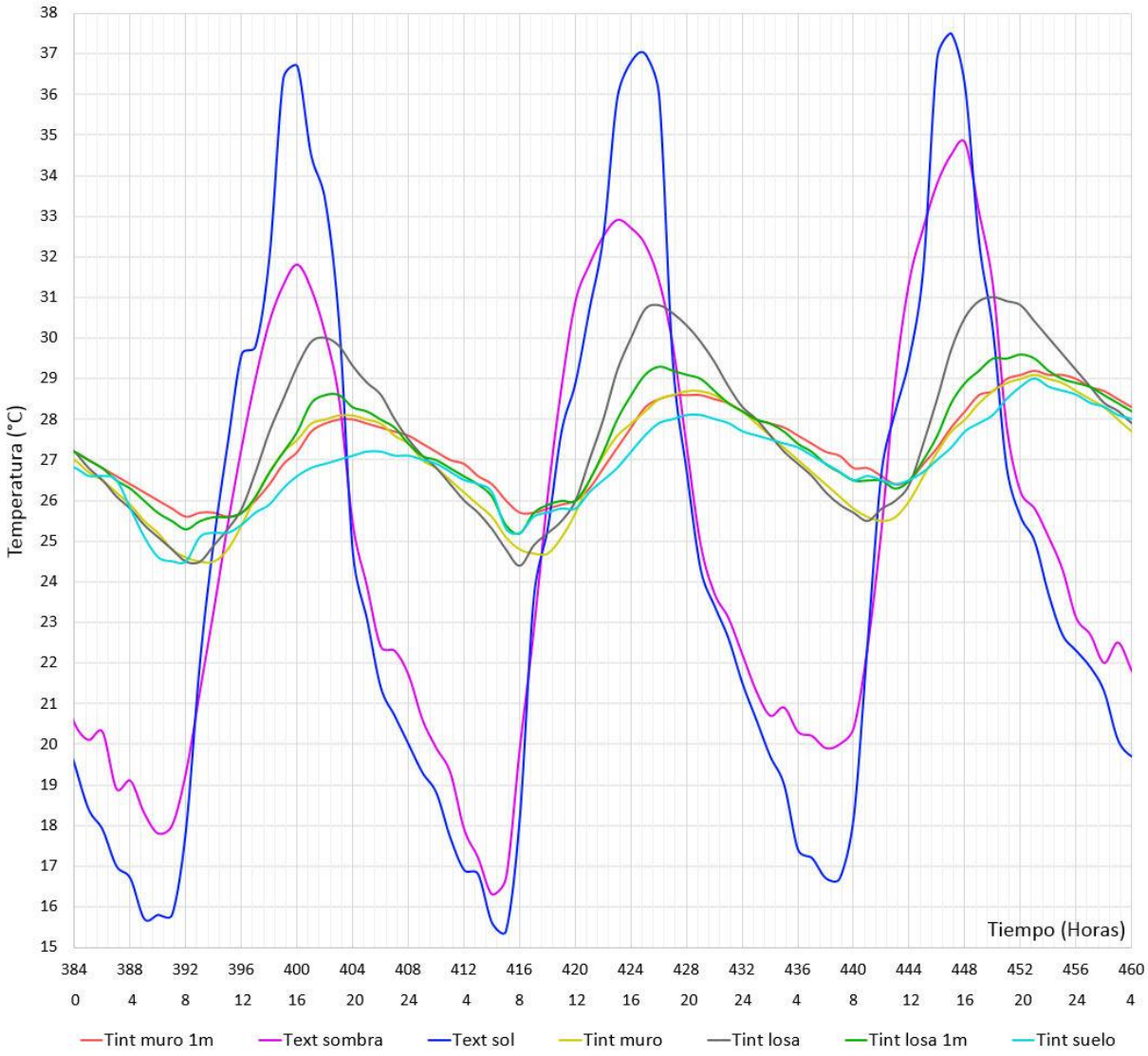


Figura 4.15. Gráfica de temperaturas del 27, 28 y 29 de abril.

Se analizó la gráfica de la Figura 4.20 y se encontró como el flujo de calor al interior de la vivienda era ascendente (de piso a techo), entre más altura de un sensor se registraba una mayor variación y temperatura, como se observa en el registro de temperaturas del sensor que estaba colocado en la losa ($T_{\text{int losa}}$).

Para el día 27 de abril se presentó una temperatura máxima a las 16 hrs. de 36.7°C y al interior de 28°C a las 20 hrs., para el día 28 de abril se presentó una máxima de 37°C a las 17 hrs. y en el interior de 28.6°C a las 21 hrs., y para el día 29 de abril se presentó una máxima de 37.5°C a las 15 hrs. y al interior de 29.2°C a las 19 hrs., teniéndose un retardo térmico de aproximadamente 4 horas. Las diferencias de temperaturas del exterior al interior en el volumen interno de 48.5 m^3 de la habitación, fueron de aproximadamente de 9.5°C cuando se registraba la temperatura máxima al exterior y de 10.5°C cuando se presentaba una mínima. Además, se observó que entre los sensores "$T_{int\ muro\ 1m}$", "$T_{int\ muro}$", "$T_{int\ losa\ 1m}$" y "$T_{int\ suelo}$", sólo existió una pequeña diferencia de hasta 1°C; lo que indicó que las temperaturas al interior no variaban significativamente. Por lo que, se consideró al sensor "$T_{int\ muro\ 1m}$" como representativo de las temperaturas que se registraron al interior de la vivienda, debido a que se tuvo un comportamiento oscilatorio semejante de las demás curvas al interior de la esta. Se consideró al sensor "$T_{ext\ sol}$" como representativo de las temperaturas que se registraron al exterior y el cual se empleó más adelante como dato de entrada en el proceso de modelación. En la gráfica de la Figura 4.16 se muestran las temperaturas en intervalos de 3 horas que se registraron durante el mes analizado (del 11 de abril al 10 de mayo de 2014), en la que se obtuvo una temperatura promedio por el sensor al exterior "$T_{ext\ sol}$" de 23.3°C y de 25.7°C al interior "$T_{int\ muro\ 1m}$", además de un rango de temperatura diaria promedio de 18.7° al exterior y de 3°C al interior.

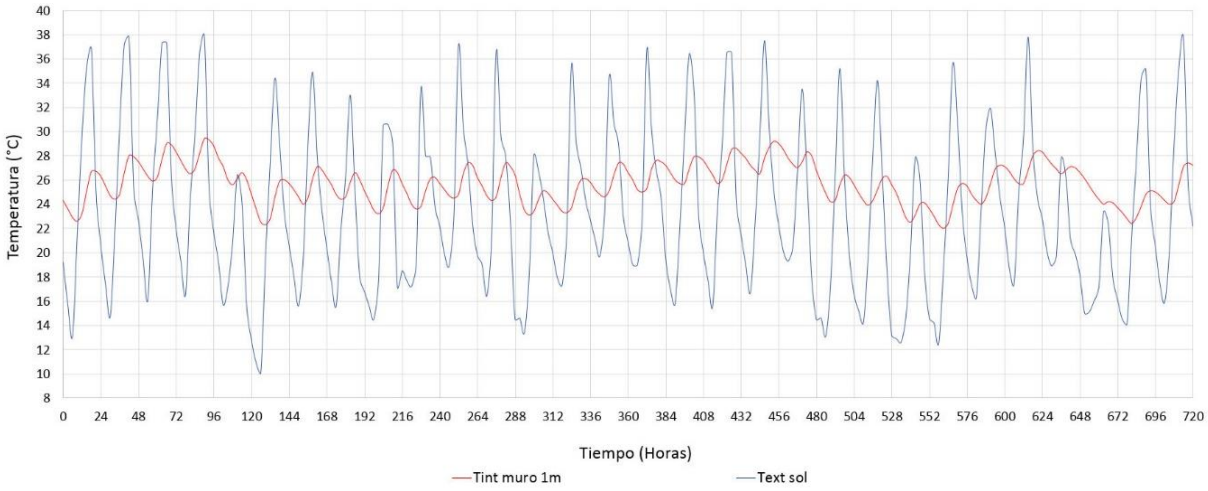


Figura 4.16. Temperaturas representativas para un mes.

4.2 Modelación computacional.

En la primera etapa de la modelación, se simularon los materiales de la vivienda real, descritos en la Figura 3.3 (cimentación), Figura 3.4 (muro exterior), Figura 3.5 (muro interior) y Figura 3.6 (losa de techo), en donde se emplearon sus propiedades termofísicas equivalentes a partir de la ecuación 2.45 (conductividad térmica), ecuación 2.56 (densidad) y ecuación 2.66 (calor específico).

En la Tabla 4.1 se presentan las propiedades de los materiales utilizados en el primer análisis térmico de la vivienda a partir de su indicador en el programa.

Tabla 4.1. Propiedades termofísicas de los materiales reales de la vivienda.

Indicador	*Material*	***Conductividad térmica***		***Densidad***		***Calor especifico***	
		W/(m K)	cal/(h m K)	kg/m^3	g/m^3	J/(kg K)	cal/(g K)
1	**MURO EXTERIOR:**						
	Block ligero de concreto	0.7	**602.04**	1200	**1.2E+06**	1000	**0.239**
	Aplanado de cemento	0.872	**749.96**	1900	**1.9E+06**	840	**0.201**
	Aplanado interior de yeso	0.372	**319.94**	800	**8.0E+05**	920	**0.220**
2	**CIMENTACION:**						
	Losa de Concreto Reforzado	2	**1720.10**	2400	**2.4E+06**	1000	**0.239**
	Pegazulejo	0.17	**146.21**	1800	**1.8E+06**	837	**0.200**
	Loseta cerámica	1.3	**1118.07**	2300	**2.30E+06**	920	**0.220**
3	**TECHO:**						
	Losa de Concreto Reforzado	2	**1720.10**	2400	**2.4E+06**	1000	**0.239**
	Impermeabilizante	0.174	**149.65**	1050	**1.1E+06**	920	**0.220**
	Mortero de cemento-arena	1.3	**1118.07**	2100	**2.1E+06**	1050	**0.251**
	Arenilla seca	0.407	**350.04**	1700	**1.7E+06**	795	**0.190**
	Aplanado de yeso	0.372	**319.94**	800	**8.0E+05**	920	**0.220**
4	**AIRE:**						
	Aire Seco	0.025	**21.50**	1.23	**1.23E+03**	1000	**0.239**
5	**VENTANAS:**						
	Vidrio sencillo	0.93	**799.85**	2200	**2.2E+06**	836	**0.200**
6	**PUERTA FACHADA:**						
	Madera	0.13	**111.81**	840	**8.4E+05**	1381	**0.330**
7	**PUERTA TRASERA**						
8	**MURO INTERIOR:**						
	Block ligero de concreto	0.7	**602.04**	1200	**1.2E+06**	1000	**0.239**
	Aplanado interior de yeso	0.372	**319.94**	800	**8.0E+05**	920	**0.220**
	Aplanado exterior de yeso	0.372	**319.94**	800	**8.0E+05**	920	**0.220**

La elección de los valores de las propiedades termofísicas de los materiales de la vivienda real, fue realizada a partir de una consulta de varias fuentes, de las cuales se extrajo la información requerida de estudios previos del material, como lo indica la Tabla 3.2.

En la Tabla 4.2 se presentan las propiedades termofísicas equivalentes que el programa en ANSYS calculó a partir de las ecuaciones equivalentes obtenidas para cada propiedad (ecuación 2.45, ecuación 2.46 y ecuación 2.47) y de los distintos materiales que fueron asignados a cada envolvente que conformaba la vivienda en estudio. En la simulación realizada en ANSYS se indicó la conductividad térmica como KXX, debido a que se especificó el sentido de esta propiedad en las últimas dos letras, en el que para este caso fue la dirección x perpendicular al elemento analizado.

Tabla 4.2. Propiedades termofísicas equivalentes de los distintos materiales utilizados en la modelación de la vivienda en ANSYS.

Indicador	***Material***	***Conductividad térmica (KXX)***	***Densidad (DENS)***	***Calor especifico (C)***
		cal/(h m K)	g/m^3	cal/(g K)
1	MURO EXTERIOR:	621.65	0.111E+07	0.23113
2	CIMENTACION:	1913.2	0.1323E+07	0.23642
3	TECHO:	470.52	0.2413E+07	0.22639
4	AIRE:	21.5	1230	0.239
5	VENTANAS:	53323	33000	0.2
6	PUERTA FACHADA:	559.05	0.168E+06	0.33
7	PUERTA TRASERA:	0	0	0
8	MURO INTERIOR:	559.34	0.1E+07	0.23596

En el proceso de modelación de la vivienda en ANSYS, todos los volúmenes fueron mallados en elementos hexaédricos regulares de 0.20 m. de lado, por lo que se consideró un espesor mínimo de 0.20 m. para representar a las envolventes de la vivienda, incluyendo a los vanos como puertas y ventanas.

Es por ello que se obtuvo una diferencia mayor cuando se compararon las propiedades reales de la ventana (Tabla 4.1) con sus propiedades equivalentes (Tabla 4.2), debido a la diferencia de su espesor real de 3 mm. con el supuesto de 0.20 m. utilizado en el modelo.

En el proceso de la solución transitoria, el programa en ANSYS utilizó los datos tabulados de las mediciones de temperatura que se registraron a través del tiempo con el sensor "$T_{ext\ sol}$" y el cuál se aplicó a las caras exteriores de la vivienda.

Posteriormente, para el proceso de análisis de resultados se indicó las coordenadas del nodo (x = 2.50 m., y = 1.60 m., z = 3.70 m.) en donde se colocó el sensor de temperatura "$T_{int\ muro\ 1m}$", como se muestra en la Figura 4.17. Además, se incrementó la distancia de las coordenadas del nodo en el eje "y" en 0.20 m. debido a que en la modelación se consideró el espesor de la losa de cimentación.

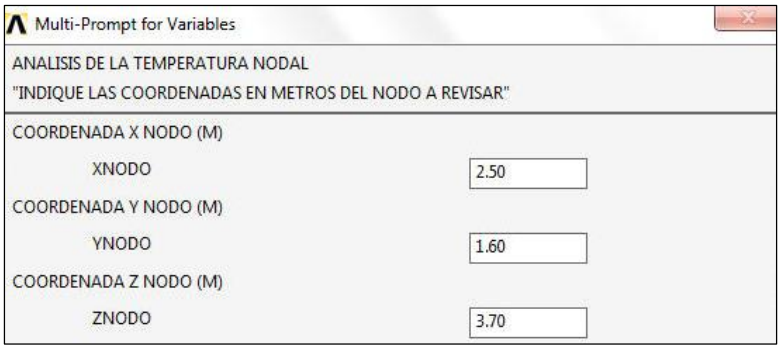


Figura 4.17. Análisis de la temperatura nodal.

En la Figura 4.18 se muestra la ubicación del nodo al interior de acuerdo a las coordenadas que se indicaron, el cual correspondió al nodo número 17,712. La forma de extracción de datos se realizó mediante un archivo en formato ".csv" (Figura 4.19), se utilizó la herramienta de EXCEL para su lectura, en el que se mostraban tabuladas las temperaturas con respecto al tiempo.

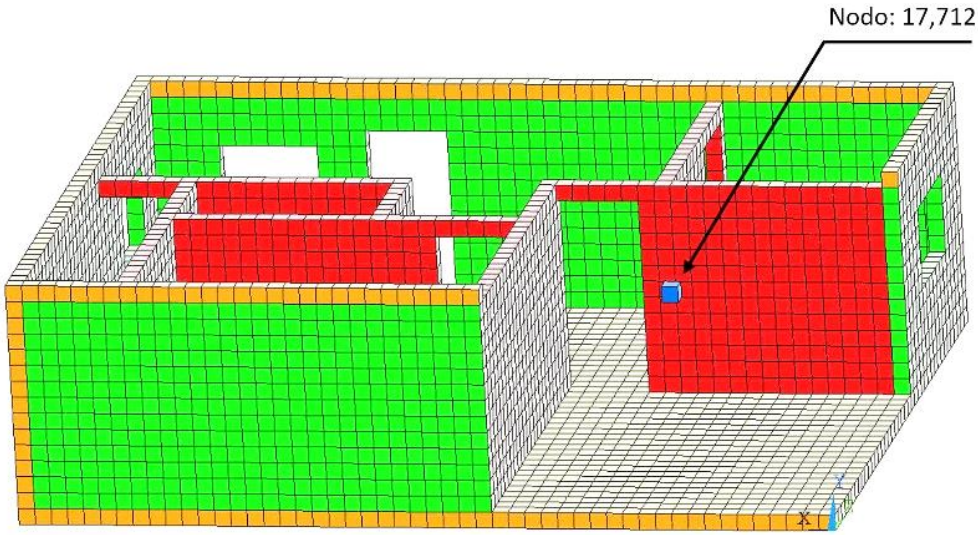


Figura 4.18. Nodo de estudio al interior de la vivienda modelada.

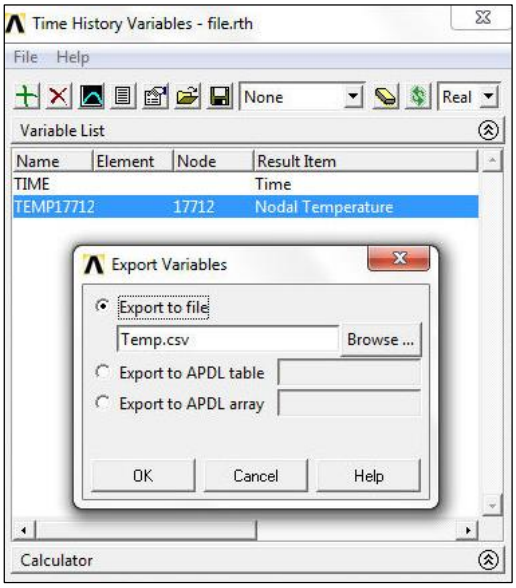


Figura 4.19. Extracción de datos de la temperatura nodal.

4.3 Validación del modelo computacional.

Para la validación del modelo computacional, se comparó la curva de temperatura que se registró con el sensor "$T_{int\ muro\ 1m}$" al interior de la vivienda, con la solucionada por la modelación en el nodo donde se colocó este sensor de temperatura.

En la gráfica comparativa de la Figura 4.20 se muestra en rojo la curva de temperatura registrada por el sensor "$T_{int\ muro\ 1m}$" y en azul la curva que la simulación realizada en ANSYS presentó como solución.

Por lo que, de acuerdo a esta comparación, se consideró que el modelo estaba correctamente calibrado y era confiable para el uso de otros materiales en las envolventes de la vivienda, ya que se presentaron diferencias de temperatura de máximo 0.8°C entre las curvas y de acuerdo a un análisis estadístico se obtuvo un porcentaje de precisión del 94.3%, de lo calculado en el programa contra lo medido experimentalmente.

.

Además, se observó en esta gráfica (Figura 4.20) que el inicio del proceso de convergencia del programa fue alrededor de la hora 48 (2 días), es decir, en este tiempo la simulación alcanza su estado estable, debido a las condiciones iniciales y al procedimiento iterativo seleccionado.

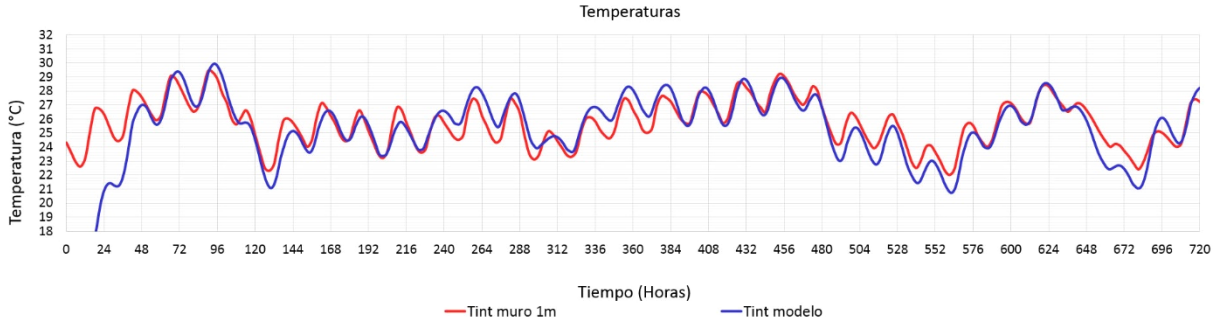


Figura 4.20. Gráfica de validación del modelo computacional.

4.4 Comportamiento de los materiales de aislamiento térmico.

En una segunda etapa, se determinaron diferentes diseños para los elementos de las envolventes de la vivienda con materiales de aislamiento térmico y se observó el comportamiento que tenían al interior de la vivienda modelada.

4.4.1 Poliestireno expandido en muros exteriores.

A continuación se describe la primera propuesta posterior a la validación de la modelación con los materiales reales de la vivienda, en donde se colocó al modelo en los muros exteriores una capa de poliestireno expandido (EPS), además se encontró que 1 pulgada de espesor era necesario para cumplir con los requisitos de aislamiento térmico de acuerdo a la normatividad NMX-C-460-ONNCCE. Después se observó en la simulación su comportamiento al interior de la vivienda modelada en el mismo punto que en el primer análisis, es decir, en donde se colocó el sensor "$T_{int\ muro\ 1m}$" correspondiente al nodo número 17,712.

En la Figura 4.21, se muestran los materiales de este elemento de la envolvente.

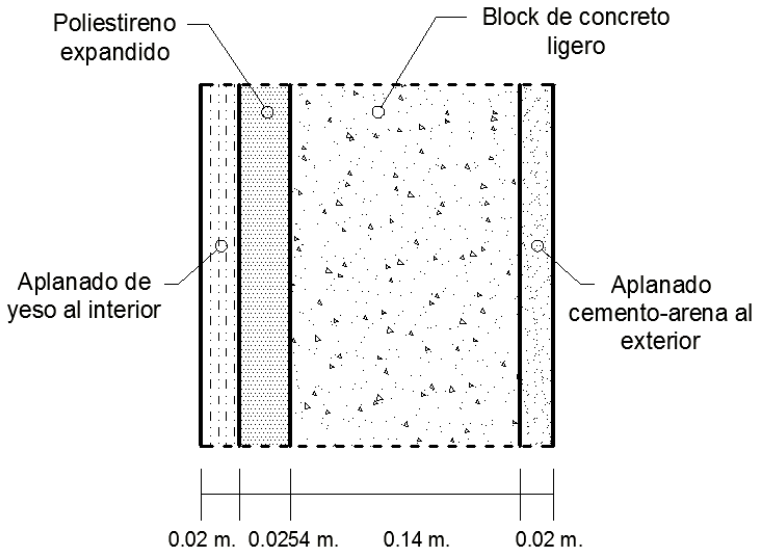


Figura 4.21. Muro exterior con poliestireno expandido utilizado en la modelación.

En la Tabla 4.3 se muestra la modificación del poliestireno que se le realizó a la envolvente del muro exterior y el valor de resistencia térmica “R” de 1.247 m^2K/W obtenido mediante la ecuación 2.10, para lo cual el espesor de 1 pulgada en el EPS fue adecuado y cumplió ya que fue mayor de 1.0 m^2K/W para muros de acuerdo con la norma NMX-C-460-ONNCCE (Tabla 2.1).

Tabla 4.3. Resistencia térmica total para el muro con poliestireno expandido.

n	**Componente**	**Espesor** ***e*** (m.)	**Conductividad térmica*** ***λ*** (W/mK)	***Resistencia térmica total del elemento de la envolvente***
1	Aplanado de yeso al interior	**0.02**	**0.372**	Valor de la resistencia térmica total o valor "***R***" calculado del **muro exterior**
2	Poliestireno expandido (EPS)	**0.0254**	**0.033**	
3	Bloque de concreto ligero	**0.14**	**0.700**	
4	Aplanado de cemento-arena al exterior	**0.02**	**0.872**	***R* = 1.247 *m²K/W***
		***e_t* =** 0.205 m.		De acuerdo a la norma NMX-C-460-ONNCCE: *Si cumple*

*Valores de conductividad térmica obtenidos de la Tabla 3.2.

Se analizó este elemento estructurado normado modificando solo los materiales para muros exteriores en el modelo, en donde se agregó la capa de 1” de poliestireno expandido (Figura 4.22).

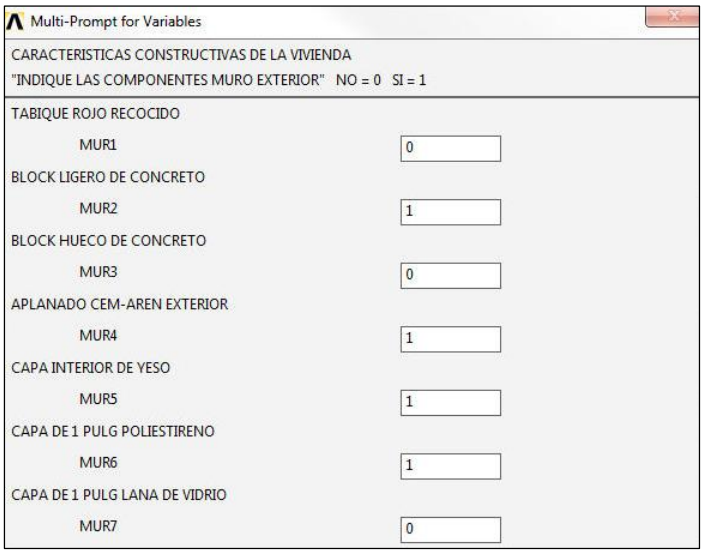


Figura 4.22. Materiales para el muro exterior.

En la Tabla 4.4 se presentan las nuevas propiedades termofísicas equivalentes que el programa en ANSYS calculó a partir de la modificación en los materiales que fueron asignados al muro exterior que conformaba la vivienda en estudio. Se utilizaron los mismos materiales para los demás elementos de la envolvente de la vivienda y las mismas condiciones iniciales que en el primer análisis.

Tabla 4.4. Propiedades termofísicas equivalentes del muro exterior con EPS.

Indicador	***Material***	***Conductividad térmica (KXX)***	***Densidad (DENS)***	***Calor especifico (C)***
		cal/(h m K)	g/m^3	cal/(g K)
1	MURO EXTERIOR:	**164.38**	**0.11138E+07**	**0.23133**

En la gráfica de temperaturas de la Figura 4.23 se muestra la solución de la modelación al interior de la vivienda utilizando EPS para los muros exteriores.

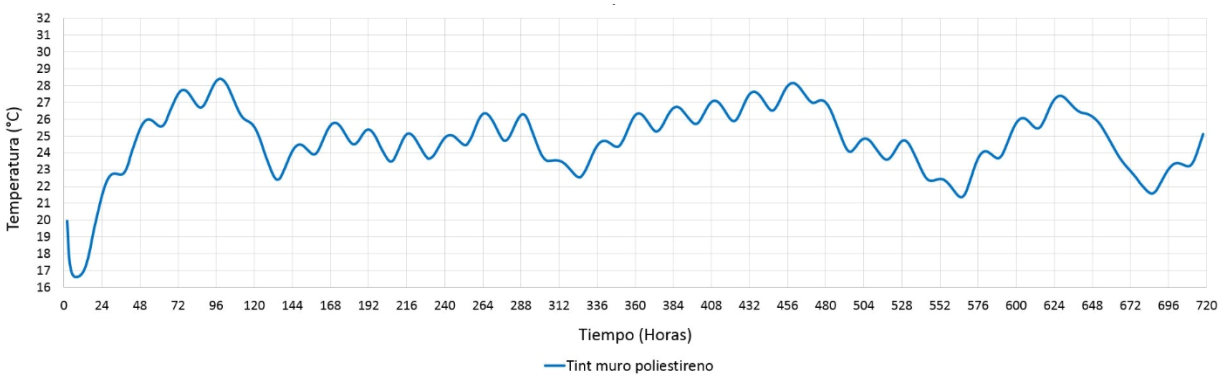


Figura 4.23. Gráfica de temperaturas utilizando EPS en el modelo.

En la Figura 4.24 se muestra una gráfica comparativa de las temperaturas al interior registradas por el sensor "$T_{int\ muro\ 1m}$" con la solucionada por la modelación empleando en muros exteriores EPS.

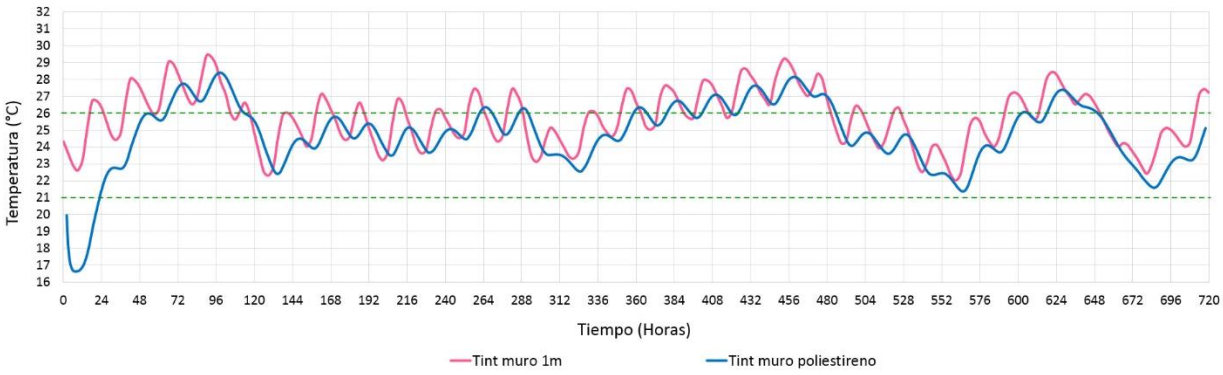


Figura 4.24. Gráfica comparativa al interior de la vivienda utilizando EPS en el modelo.

En rojo se presentan las temperaturas registradas por el sensor "$T_{int\ muro\ 1m}$", mientras que en azul se muestra la solución de la simulación en ANSYS utilizando EPS en los muros exteriores. En línea punteada verde se presentan las temperaturas límites de confort (umbral de confort térmico).

Por lo que, con el cambió en la configuración de los muros de la vivienda modelada utilizando poliestireno expandido se obtuvo un mejor comportamiento, ya que se disminuyó la amplitud de onda de la hora 144 a la 360 generando temperaturas de confort al interior, además de un desfase de 4 horas con respecto a la temperatura máxima al interior ($T_{int\ muro\ 1m}$) de la vivienda real sin EPS, para un retardo térmico de 8 horas, a partir la temperatura de calor al exterior ($T_{ext\ sol}$), como se muestra en la gráfica comparativa (Figura 4.24) de la temperatura registrada con el sensor al interior "$T_{int\ muro\ 1m}$" con la obtenida al interior en la modelación utilizando este material de EPS en la envolvente de los muros.

4.4.2 Lana de vidrio en muros exteriores.

Para una segunda propuesta, se colocó a los muros exteriores de la vivienda modelada una capa de lana de vidrio (GW) de 1 pulgada de espesor. Se encontró que 1 pulgada de espesor era necesario para cumplir con los requisitos de aislamiento térmico de acuerdo a la normatividad NMX-C-460-ONNCCE. Después de la misma forma se observó en la simulación su comportamiento al interior de la vivienda modelada en el mismo punto (nodo: 17,712) en donde se colocó el sensor "$T_{int\ muro\ 1m}$".

En la Figura 4.25 se indican los materiales de este elemento de la envolvente.

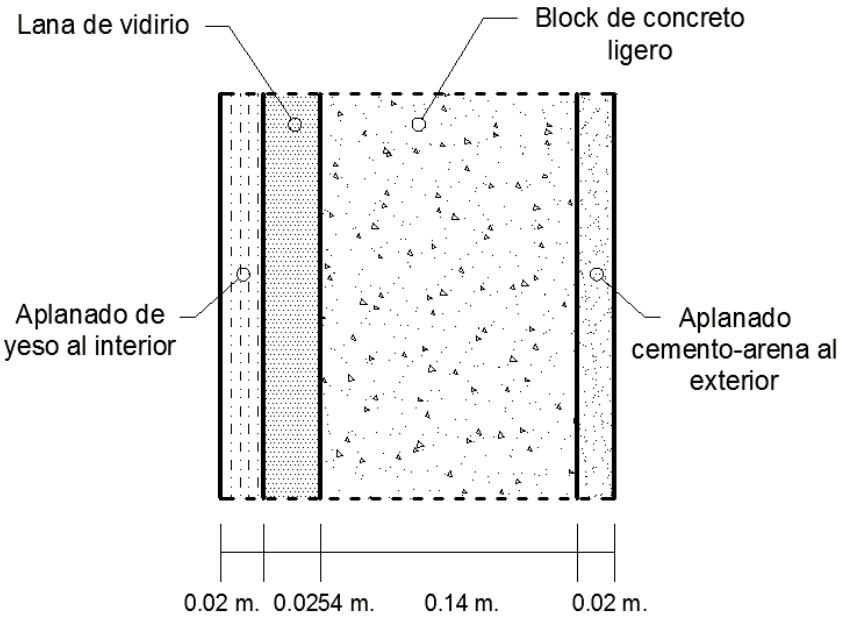


Figura 4.25. Muro exterior con lana de vidrio.

En la Tabla 4.5 se muestra la modificación de la lana de vidrio (GW) que se realizó a la envolvente del muro exterior del modelo y el valor de resistencia térmica “R” de 1.146 m^2K/W obtenido mediante la ecuación 2.10, para el cual fue mayor de 1.0 m^2K/W y de acuerdo a la norma NMX-C-460-ONNCCE cumplió como elemento de aislamiento térmico.

Tabla 4.5. Resistencia térmica total para el muro con lana de vidrio.

n	**Componente**	**Espesor** ***e*** (m.)	**Conductividad térmica*** ***λ*** (W/mK)	***Resistencia térmica total del elemento de la envolvente***
1	Aplanado de yeso al interior	**0.02**	**0.372**	Valor de la resistencia térmica total o valor "***R***" calculado del **muro exterior**
2	Lana de vidrio (GW)	**0.0254**	**0.038**	
3	Bloque de concreto ligero	**0.14**	**0.700**	
4	Aplanado de cemento-arena al exterior	**0.02**	**0.872**	***R* = 1.146 *m^2K/W***
		***e_t* =** 0.205 m.		De acuerdo a la norma NMX-C-460-ONNCCE: *Si cumple*

*Valores de conductividad térmica obtenidos de la Tabla 3.2.

Se analizó este elemento estructurado normado modificando solo los materiales para muros exteriores en el modelo, en donde se agregó la capa de 1” de lana de vidrio (Figura 4.26).

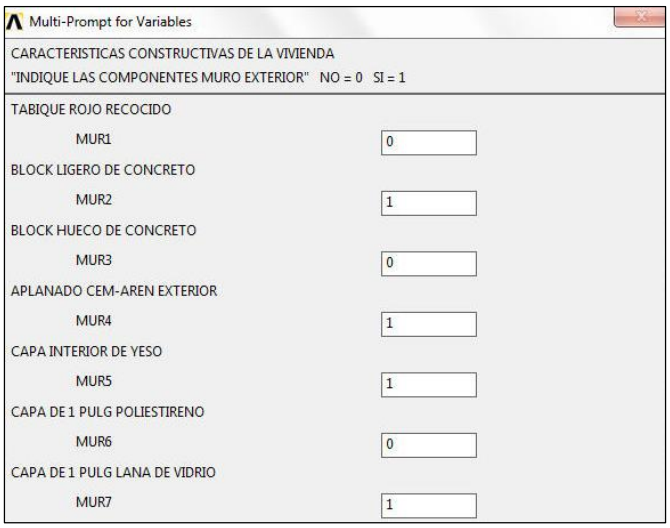


Figura 4.26. Materiales para el muro exterior.

En la Tabla 4.6 se presentan las propiedades termofísicas equivalentes que el programa en ANSYS calculó a partir de que se agregó esta capa de lana de vidrio (GW) al muro exterior en la modelación de la vivienda en estudio. Se utilizaron los mismos materiales para los demás elementos de la envolvente de la vivienda y las mismas condiciones iniciales que en el primer análisis.

Tabla 4.6. Propiedades termofísicas equivalentes del muro exterior con GW.

Indicador	***Material***	***Conductividad térmica (KXX)***	***Densidad (DENS)***	***Calor especifico (C)***
		cal/(h m K)	g/m^3	cal/(g K)
1	MURO EXTERIOR:	**181.99**	**0.1113E+07**	**0.23104**

En la gráfica de temperaturas de la Figura 4.27 se muestra la solución de la modelación al interior de la vivienda utilizando GW para los muros exteriores.

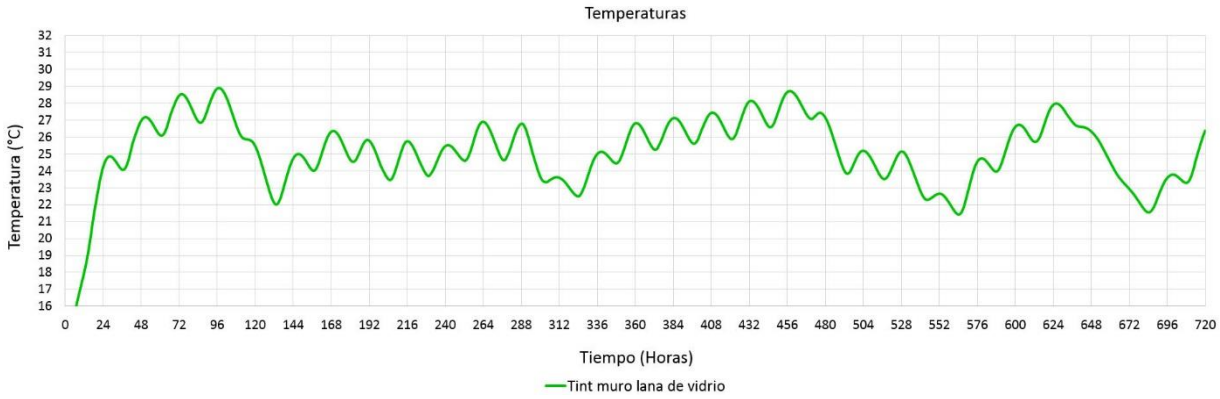


Figura 4.27. Gráfica de temperaturas utilizando GW en el modelo.

En la Figura 4.28 se muestra una gráfica comparativa de las temperaturas al interior registradas por el sensor "$T_{int\ muro\ 1m}$" con la solucionada por la modelación empleando en muros exteriores EPS.

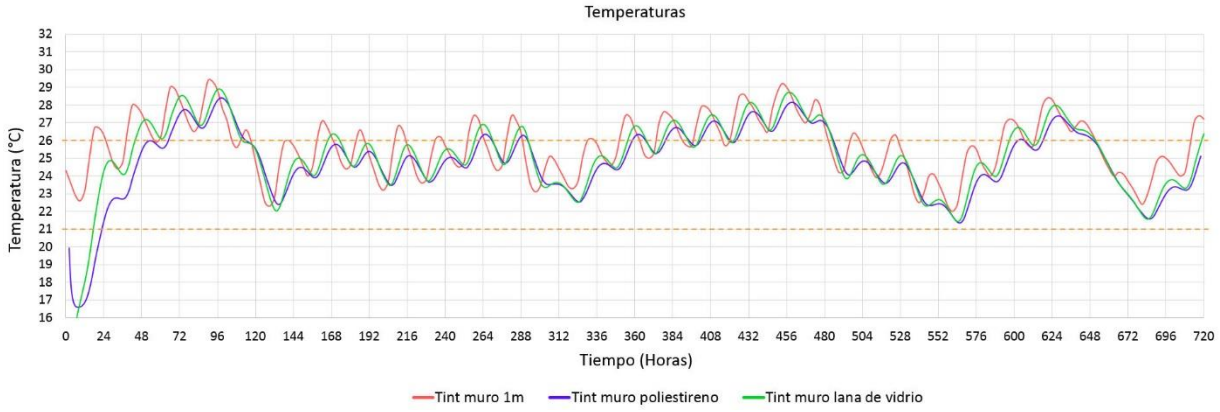


Figura 4.28. Gráfica comparativa al interior de la vivienda utilizando GW en el modelo.

En rojo se presentan las temperaturas registradas por el sensor "$T_{int\ muro\ 1m}$", mientras que en azul se muestra la curva de temperatura solucionada por la simulación en ANSYS en donde se utilizó EPS en los muros exteriores y en verde en donde se utilizó GW.

Por lo que, con el cambió en la configuración de los muros de la vivienda modelada utilizando la lana de vidrio se obtuvo un comportamiento adecuado, ligeramente inferior al del EPS debido a las propiedades de este material, aun así se disminuyó la amplitud de onda de calor generando temperaturas de confort al interior, además de un desfase de 3.5 horas con respecto a la temperatura máxima al interior ($T_{int\ muro\ 1m}$) de la vivienda real sin EPS, para un retardo térmico de 7.5 horas a partir del pico máximo de calor al exterior ("$T_{ext\ sol}$"), como se muestra en la gráfica comparativa (Figura 4.28) de la temperatura registrada con el sensor al interior "$T_{int\ muro\ 1m}$" con la obtenida en la modelación al interior utilizando este material de GW en la envolvente de los muros.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de los diferentes diseños de elementos estructurados con materiales de aislamiento térmico como el poliestireno expandido (EPS) y la lana de vidrio (GW), se observó que las propiedades de estos aminoran el impacto de las condiciones ambientales que se tienen al interior de una vivienda, como se demostró a través de la modelación, en la que al cambiar las propiedades de los muros de la vivienda tipo por soluciones de aislamiento térmico, se obtuvo una incremento en el tiempo para que el material dejara pasar el calor al interior, es decir, se tuvo un retardo térmico mayor, en el que las curvas de temperaturas presentaron crestas desfasadas y amplitudes diferentes, lo que originó temperaturas más estables al interior. Al utilizar EPS en los muros exteriores del modelo se produjo una disminución del calor al interior de 1.2°C, mientras que el GW provocó una disminución de 0.7°C, esto en la mayoría de los días del mes analizado y con respecto a la temperatura que ofrecían los muros de la vivienda real sin EPS ni GW. La temperatura promedio del mes analizado utilizando EPS fue de 24.9°C mientras que con el GW fue de 25.2°C. Además, la utilización del EPS produjo un retardo térmico en el desfase de la onda de calor de 8 horas mientras que con el GW fue de 7.5 horas, esto con respecto a la temperatura máxima de los diversos días del mes analizado (del 11 de abril al 10 de mayo de 2014) por el sensor de temperatura ("$T_{\text{int muro 1m}}$") al interior de la vivienda real.

Se comprueba que el poliestireno expandido tiene un mejor comportamiento térmico sobre algunos otros materiales de aislamiento térmico como la lana de vidrio al tener una más baja conductividad térmica sobre este último. Además de que la resistencia térmica resultó ser un parámetro útil para comparar diferentes materiales aislantes con diferente espesor y diferente conductividad térmica, ya que cuanto mayor es el valor de resistencia térmica "valor *R*" mejor es su comportamiento como aislante térmico, al ofrecer más resistencia y no dejar pasar el calor al interior de la vivienda a través de las

envolventes como los muros o techos, conservándola con un adecuado confort (arriba de los 21°C y debajo de los 26°C), sobre todo en épocas críticas del año.

Por otro lado, la modelación transitoria y espacial en ANSYS, fue usada de manera satisfactoria para simular el comportamiento térmico del prototipo experimental, propuesto en esta metodología, lo que permitió conocer las diferentes distribuciones de temperaturas al interior de la vivienda y observar aquellos puntos críticos en el confort al interior.

Se observó que una vivienda con una buena barrera contra el calor o frío, será siempre más confortable y saludable, además del ahorro en aspectos energéticos. No sólo se reducirá el gasto en el consumo de energía, sino que además se estará contribuyendo a disminuir la emisión de contaminantes a la atmósfera y se utilizaran mejor los recursos energéticos del país.

Considerando la normatividad vigente en México para la región de Querétaro, los materiales propuestos como aislantes en el elemento estructurado resultaron ser apropiados, ya que se obtuvieron espesores relativamente bajos siendo una opción viable, económica y sencilla utilizarlos como paneles y cumpliendo así con su propósito de aislamiento térmico para las envolventes de la vivienda.

Se recomienda siempre revisar las diferentes formas de aislamiento disponibles, la información técnica del material que se vaya a utilizar y determinar, de acuerdo a ello, el espesor adecuado al clima de la región (zona térmica). Así, en este trabajo se ofrecieron distintas posibilidades para realizar viviendas estructuralmente confiables, más económicas y confortables que las resueltas con materiales y sistemas convencionales.

6. BIBLIOGRAFÍA

ANSYS Inc. Software. 2011. Version 14.0 (Análisis de sistemas). Pittsburgh, USA.

ASHRAE. 2009. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. International Energy Conservation Code and ANSI/ASHRAE/IESNA standard 90.1. U.S.A.: ICC and ASHRAE.

Barrios, G., R. Rechtman, J. Rojas, R. Tovar, 2005. Lattice Boltzmann equation for natural convection in a two-dimensional cavity with a partially heated wall. J. Fluid Mech 522, pp 91-100.

Calderón, R., J. A. Arredondo, R. Gallegos, F. Mayagoitia. 2011. Reducción del Consumo Eléctrico y CO_2 mediante Sistemas de Ahorro y de Aislamiento Térmico aplicados a Viviendas en Zonas Áridas de México. Información Tecnológica. Vol. 22(2), 69-78.

CALENER. 2002. Calificación energética de edificios. Grupo de Termotecnia. Universidad de Sevilla.

Çengel, Y. A. y M. A. Boles. 2009. Termodinámica. Sexta edición. Editorial McGraw-Hill, México.

Cook, R. D. 1997. Finite Element Modeling for Stress Analysis University of Wisconsin. Madison John Wiley & Sons, Inc.

Communities. 2010. Department for communities and local government. Code for Sustainable Homes a step-change in sustainable home building practice, <www.Communities.gov.uk>.

CONAFOVI. 2008. Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda. Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda. ISBN: 968-7729-34-1.

CONAVI. 2007. Código de Edificación de Vivienda (CEV). Comisión Nacional de Vivienda.

CONUEE. 2012. Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.

C.T.E. 2009. Documento Básico HE. Ahorro de energía. Código Técnico de la Edificación.

Daouas, N. 2011. A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Tunisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads. Applied Energy 88 156–164.

Emery, A. F. 2008. Human Comfort and Health Requirements. Chapter 1. HVAC Engineering. Mechanical Engineering Design. University of Washington Seattle, WA.

Feng Lui, A.S. 2010. Mainstreaming Building Energy Efficiency Codes in Developing Countries, Global Experiences and Lessons from Early Adopters, The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank, Washington, DC, pp. 144–162.

Griego, D., M. Krarti y A. Hernández-Guerrero. 2012. Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico. Energy and Buildings 54 540–549.

Halliday, D., R. Resnick y J. Walker. 2001. Fundamentals of physics, vol. 1. 6th ed. John Wiley & Son, Inc. ISBN: 970-24-0121-6.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. IDAE. 2007. Guía técnica para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios. Soluciones con aislamiento de poliestireno expandido (EPS).

Instituto Argentino de normalización y certificación. IRAM 11601. 2002. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de componentes. Correspondiente a la revisión de la norma IRAM 11601:1996.

Instituto Argentino de normalización y certificación. IRAM 11603. 2011. Acondicionamiento Térmico de edificios. Clasificación ambiental de la Republica argentina. Correspondiente a la revisión de la norma IRAM 11603:1996.

Instituto Argentino de normalización y certificación. IRAM 11605. 1996. Acondicionamiento Térmico de edificios. Valores máximos admisibles de transmitancia térmica aplicables a muros y techos.

ISOVER. 2008. Las Lanas Minerales en la Edificación. Saint-Gobain Cristalería. División Aislamiento. España.

Jelle, B. P. 2011. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. Energy and Buildings.

Manrique, J. A. 2005. Termodinámica. Tercera edición. Editorial Oxford University Press. México.

Norma Básica de la Edificación. NBE CT-79. Condiciones térmicas en los edificios.

Norma Mexicana. NMX-C-460-ONNCCE. 2009. Valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república Mexicana. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C.

Norma Oficial Mexicana. NOM-020-ENER. 2011. Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. ONNCCE. 2012. La importancia de la normalización y los organismos certificadores en los temas de la eficiencia energética en la edificación. BOLETÍN No. 117.

Ozel, M. 2012. Cost analysis for optimum thicknesses and environmental impacts of different insulation materials. Energy and Buildings 49 552–559.

Rao, S. 2011. The Finite Element Method in Engineering, Fifth Edition. University of Miami, Coral Gables, Florida, USA. Elsevier Inc.

Rojas, J., G. Huelsz, R. Tovar, G. Barrios, A. Lira-Oliver y A. Castillo. 2010. Energía y confort en edificaciones. Centro de Investigación en Energía. UNAM. Volumen 11 Número 10. ISSN: 1067-6079.

Rosas-Flores, J. A. 2011. Saturation, energy consumption, CO_2 emission and energy efficiency from urban and rural households appliances in Mexico, Energy and Buildings 44 10–18.

Ruivo, C., P. Ferreira and D. Vaz. 2013. On the error of calculation of heat gains through walls by methods using constant decrement factor and time lags values. Energy Buidings 60 252-261.

Salazar, A. 2003. On thermal diffusivity. European Journal of Physics 24 351 doi:10.1088/0143-0807/24/4/353.

Szokolay S.V. 1996. Thermal Design of Buildings - RAIA, Canberra.

SENER, 2010. Secretaría de Energía. Información Estadística (Statistical Information). Available from: Sistema de Información Energética (System of Energy Information) <http://sie.energia.gob.mx> [Consultado el 6 de noviembre de 2013].

Tovar, R., C. A. Campo. 2010. Stack-driven ventilation in two interconnected rooms sharing a single opening and connected to the exterior by a lower vent. International Journal of Ventilation 9 (3) paper 2.

Yu, J., C. Yang, L. Tian and D. Liao. 2009. A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter. Applied Energy. Volume 86, Issue 11, pages 2520–2529.

7. ANEXOS

7.1 Apéndice A. Registros de los sensores de temperatura.

A continuación, se presenta la Tabla 7.1 correspondiente a las mediciones registradas por los diferentes sensores de temperaturas colocados en la vivienda física analizada.

Tabla 7.1. Mediciones de los diversos sensores de temperatura.

Día	Hora	Dato	Hora del día	Temperatura del sensor (°C)						
				T_{int} muro 1m	T_{ext} sombra	T_{ext} sol	T_{int} muro	T_{int} losa	T_{int} losa 1m	T_{int} suelo
11-abr-14	0	1	12:00 AM	24.3	20.1	19.2	24.2	24.6	24.4	23.3
	3	2	3:00 AM	23.6	16.9	15.7	23.3	23.3	23.4	22
	6	3	6:00 AM	22.9	15.1	13.1	22.2	21.9	22.5	21.2
	9	4	9:00 AM	22.6	18.2	21.4	21.6	21.7	22.4	22.2
	12	5	12:00 PM	23.2	28	29.6	22.6	23.2	23.1	23
	15	6	3:00 PM	25.1	33.3	35.3	24.9	27.1	26.1	24.4
	18	7	6:00 PM	26.7	33.1	36.8	26.3	29.1	27.6	25.7
	21	8	9:00 PM	26.7	25.8	25	26.9	28.4	27.3	26.2
12-abr-14	24	9	12:00 AM	26.3	21.7	20.6	26.3	26.9	26.6	25.5
	27	10	3:00 AM	25.5	18.6	17.4	25.3	25.3	25.4	24
	30	11	6:00 AM	24.7	16.9	14.7	24.2	23.9	24.3	23.7
	33	12	9:00 AM	24.4	19	21.7	23.4	23.3	24.2	24
	36	13	12:00 PM	24.8	29.1	30.3	24.3	24.8	24.8	24.6
	39	14	3:00 PM	26.6	35.4	37.2	26.4	28.6	27.4	25.8
	42	15	6:00 PM	28	33	37.8	27.7	30.5	28.8	27
	45	16	9:00 PM	27.9	26.3	25.3	28	29.5	28.5	27.3
13-abr-14	48	17	12:00 AM	27.5	23.4	22.7	27.5	28	27.8	26.7
	51	18	3:00 AM	26.9	20.6	19.4	26.7	26.8	26.9	25.6
	54	19	6:00 AM	26.3	18.3	16.1	25.7	25.6	25.9	25.1
	57	20	9:00 AM	25.9	22.6	25.3	25	25.1	25.8	25.6
	60	21	12:00 PM	26.2	30.4	30.9	25.9	26.4	26.3	25.9
	63	22	3:00 PM	27.7	34.3	37.3	27.8	29.7	28.4	27.1
	66	23	6:00 PM	29	33	37.3	28.8	31.4	29.7	28
	69	24	9:00 PM	28.9	27.2	26.2	29	30.4	29.5	28.2
14-abr-14	72	25	12:00 AM	28.3	24.3	22	28.4	28.9	28.7	27.9
	75	26	3:00 AM	27.6	21.7	19.3	27.5	27.4	27.6	27

	78	27	6:00 AM	26.9	18.7	16.5	26.4	26.1	26.6	25.8
	81	28	9:00 AM	26.5	21.4	24.4	25.6	25.6	26.4	26.3
	84	29	12:00 PM	26.9	28.9	29.7	26.4	26.7	26.7	26.5
	87	30	3:00 PM	28.2	34.7	36.5	28.2	29.9	28.7	27.7
	90	31	6:00 PM	29.4	33.7	37.9	29.2	31.5	30	28.7
	93	32	9:00 PM	29.3	26.4	25.3	29.4	30.5	29.8	28.9
15-abr-14	96	33	12:00 AM	28.8	22.2	21.7	28.5	29	28.9	27.1
	99	34	3:00 AM	27.8	19.7	19.2	27.4	27.5	27.7	25.9
	102	35	6:00 AM	27.1	16.2	15.7	26.3	26.1	26.6	24.4
	105	36	9:00 AM	26	17.1	17.2	25	24.8	25.6	23.7
	108	37	12:00 PM	25.6	21.7	20.8	24.6	24.5	25.1	23.9
	111	38	3:00 PM	26.1	26	26.4	25.2	25.9	25.9	24.9
	114	39	6:00 PM	26.6	25.6	24.1	25.7	26.7	26.6	25.7
	117	40	9:00 PM	26	15.9	15.6	25.2	25.5	25.8	23.1
16-abr-14	120	41	12:00 AM	24.8	13.2	12.8	23.9	23.6	24.5	21.6
	123	42	3:00 AM	23.6	11.3	10.9	22.4	21.9	23.1	20
	126	43	6:00 AM	22.5	10.6	10.1	21.2	20.9	22.1	19.6
	129	44	9:00 AM	22.3	16.6	19.6	20.6	20.4	21.9	20.7
	132	45	12:00 PM	22.8	28	27.5	21.7	22	22.5	22
	135	46	3:00 PM	24.6	32.8	34.4	24.1	25.8	24.8	23.6
	138	47	6:00 PM	25.9	31	28.9	25.5	27.6	26.2	24.5
	141	48	9:00 PM	26	23.7	23.3	26	27.1	26.2	25.1
17-abr-14	144	49	12:00 AM	25.7	20.5	20.6	25.7	26.1	25.8	25.2
	147	50	3:00 AM	25.2	19.6	18.1	24.9	24.9	25	24.7
	150	51	6:00 AM	24.6	16	15.6	24	23.8	24.2	23.6
	153	52	9:00 AM	24	21.4	19.5	23.2	23	23.7	23.7
	156	53	12:00 PM	24.5	30	28.9	23.8	24.3	24.3	24.1
	159	54	3:00 PM	26.1	33.4	34.9	25.7	27.7	26.3	25.2
	162	55	6:00 PM	27.1	30.1	27.8	26.7	29	27.5	25.9
	165	56	9:00 PM	26.8	23.3	23.4	26.7	28	27.2	25.9
18-abr-14	168	57	12:00 AM	26.2	20.6	20.4	26	26.7	26.4	24.5
	171	58	3:00 AM	25.6	17.7	17.6	25.2	25.3	25.4	23.9
	174	59	6:00 AM	24.8	15.8	15.6	24.1	24	24.4	22.7
	177	60	9:00 AM	24.4	19.9	21.8	23.3	23.2	24.1	23.2
	180	61	12:00 PM	24.6	27	26.3	24	24.2	24.3	24.3
	183	62	3:00 PM	25.8	33.9	33	25.5	26.8	26.3	25.1
	186	63	6:00 PM	26.6	27.4	25.1	26.3	28.3	26.9	25.5
	189	64	9:00 PM	26	17.8	18	25.7	26.7	26.2	23.9
19-abr-14	192	65	12:00 AM	25.1	16.7	16.8	24.7	24.7	24.9	23.1
	195	66	3:00 AM	24.3	15.6	15.6	23.6	23.3	23.9	22.3
	198	67	6:00 AM	23.5	14.4	14.5	22.5	22.3	23	21.1
	201	68	9:00 AM	23.2	18.2	17.7	21.9	21.8	22.8	22
	204	69	12:00 PM	23.7	28.9	30.5	23	23.5	23.6	23.2

	207	70	3:00 PM	25.5	34.3	30.6	25.1	26.9	25.8	24.3
	210	71	6:00 PM	26.8	33.9	29	26.4	28.9	27.5	25.4
	213	72	9:00 PM	26.6	22.6	17.2	26.3	27.8	26.9	24.5
20-abr-14	216	73	12:00 AM	25.7	18.2	18.5	25.4	25.5	25.6	23.7
	219	74	3:00 AM	24.9	17.3	17.7	24.2	24	24.4	22.6
	222	75	6:00 AM	24	16.1	17.2	23.3	22.9	23.6	22.2
	225	76	9:00 AM	23.6	19.6	19	22.6	22.3	23.2	22.5
	228	77	12:00 PM	23.8	27.7	33.5	23	23.3	23.7	23.3
	231	78	3:00 PM	25.1	32.1	28	24.8	26.1	25.6	24.4
	234	79	6:00 PM	26.1	29.5	27.9	26	27.4	26.6	25.1
	237	80	9:00 PM	26.2	22.5	23.8	26.2	27	26.4	25.3
21-abr-14	240	81	12:00 AM	25.7	21.4	22.2	25.5	25.8	25.7	24.9
	243	82	3:00 AM	25.2	18.8	19.9	24.9	24.9	25	23.8
	246	83	6:00 AM	24.7	16.6	18.9	24	23.9	24.3	23.1
	249	84	9:00 AM	24.5	20.5	22.9	23.5	23.7	24.3	23.9
	252	85	12:00 PM	24.8	28.9	37.1	24.4	24.9	24.9	24.4
	255	86	3:00 PM	26.5	34.1	30.4	26.4	28.3	27.2	25.8
	258	87	6:00 PM	27.4	27.2	27.3	27.5	29.7	28	26.7
	261	88	9:00 PM	27.2	21.2	22.3	27.2	28	27.4	25.8
22-abr-14	264	89	12:00 AM	26.2	18.8	19.8	26.1	26.4	26.4	24.5
	267	90	3:00 AM	25.5	17.6	19	25	24.8	25.1	23.9
	270	91	6:00 AM	24.7	14.8	16.4	23.8	23.6	24.2	22.4
	273	92	9:00 AM	24.3	18.8	20.9	23.1	23	24	23.3
	276	93	12:00 PM	24.6	28	36.6	24.1	24.4	24.5	24.3
	279	94	3:00 PM	26.2	32.4	29.6	26	28	26.8	25.5
	282	95	6:00 PM	27.4	29.3	28	27.1	29.3	27.9	26.5
	285	96	9:00 PM	27.1	22.8	22.6	27	28.3	27.4	25.8
23-abr-14	288	97	12:00 AM	26.4	18.7	14.5	26.2	26.8	26.6	24.1
	291	98	3:00 AM	24.8	16.3	14.6	24.5	23.3	24.3	22.9
	294	99	6:00 AM	23.5	13.7	13.4	22.8	21.7	22.9	21.3
	297	100	9:00 AM	23.1	18.2	18.2	22	21.4	22.9	22.5
	300	101	12:00 PM	23.4	26.6	28	22.9	22.4	23.2	23.2
	303	102	3:00 PM	24.4	31.4	26.7	24.7	24.2	24.3	24.1
	306	103	6:00 PM	25.1	31.6	24.5	25.5	24.8	25.1	24.7
	309	104	9:00 PM	24.9	23.3	21.7	25.5	23.8	24.7	24.9
24-abr-14	312	105	12:00 AM	24.4	20.4	20	24.8	23.2	24.3	24
	315	106	3:00 AM	23.9	17.5	17.9	23.9	22.4	23.6	22.9
	318	107	6:00 AM	23.4	15.8	17.3	23	21.8	23.1	22.8
	321	108	9:00 AM	23.3	21.8	21.8	22.4	21.8	23.2	23.3
	324	109	12:00 PM	23.7	31.4	35.5	23.6	23.2	23.7	23.9
	327	110	3:00 PM	25.1	34.8	29.1	25.6	25.9	25.4	25
	330	111	6:00 PM	26	28.3	27	26.5	27	26.3	25.7
	333	112	9:00 PM	26.1	23.7	24.3	26.6	26.6	26.2	26

25-abr-14	336	113	12:00 AM	25.8	21.7	22.7	26.1	25.6	25.7	25.8
	339	114	3:00 AM	25.2	19.6	21.1	25.3	24.7	25.1	25
	342	115	6:00 AM	24.8	17.5	19.7	24.5	23.9	24.5	24.1
	345	116	9:00 AM	24.6	23.1	23.1	23.9	23.6	24.5	24.5
	348	117	12:00 PM	25.1	32.1	34.5	24.8	25.2	25.3	25.1
	351	118	3:00 PM	26.4	34.6	30.7	26.7	27.6	26.9	26
	354	119	6:00 PM	27.4	29.7	28.9	27.7	29.1	27.9	26.9
	357	120	9:00 PM	27.3	22	23	27.7	28.5	27.7	26.4
26-abr-14	360	121	12:00 AM	26.6	19.9	20.9	26.8	26.7	26.7	25.5
	363	122	3:00 AM	26	18.2	19	25.6	25.4	25.7	24.3
	366	123	6:00 AM	25.2	17.1	19	24.7	24.3	24.9	23.9
	369	124	9:00 AM	25	22.6	22.7	24.1	24	24.9	24.5
	372	125	12:00 PM	25.3	32.2	36.8	25	25.5	25.4	25.3
	375	126	3:00 PM	26.9	33.2	30.2	26.9	28.4	27.3	26.3
	378	127	6:00 PM	27.6	26.7	26.8	27.6	29.1	27.8	26.8
	381	128	9:00 PM	27.5	23.2	24.6	27.5	28.2	27.6	27
27-abr-14	384	129	12:00 AM	27.2	20.5	19.5	27	27.2	27.2	26.8
	387	130	3:00 AM	26.6	18.9	17	26.2	26.1	26.5	26.5
	390	131	6:00 AM	26	17.8	15.8	25.2	25.1	25.7	24.6
	393	132	9:00 AM	25.7	21.3	22	24.5	24.5	25.5	25.1
	396	133	12:00 PM	25.7	27.3	29.6	25.4	25.8	25.7	25.4
	399	134	3:00 PM	26.9	31.3	36.4	27.2	28.5	27.2	26.3
	402	135	6:00 PM	27.9	30.1	33.4	28	30	28.6	26.9
	405	136	9:00 PM	27.9	23.9	23.1	28	28.9	28.2	27.2
28-abr-14	408	137	12:00 AM	27.6	21.7	20	27.4	27.5	27.4	27.1
	411	138	3:00 AM	27	19.3	17.7	26.5	26.4	26.8	26.7
	414	139	6:00 AM	26.4	16.3	15.6	25.6	25.3	26.1	26.2
	417	140	9:00 AM	25.7	22.8	23.6	24.7	24.9	25.7	25.6
	420	141	12:00 PM	26	30.9	28.9	25.7	26	26	25.8
	423	142	3:00 PM	27.3	32.9	36.5	27.6	29.2	28	26.8
	426	143	6:00 PM	28.5	31.4	36.5	28.5	30.8	29.3	27.9
	429	144	9:00 PM	28.6	24.9	24.3	28.7	29.9	29	28.1
29-abr-14	432	145	12:00 AM	28.2	22.2	21.5	28.2	28.3	28.2	27.7
	435	146	3:00 AM	27.8	20.9	19	27.3	27.2	27.7	27.4
	438	147	6:00 AM	27.2	19.9	16.7	26.4	26.2	26.9	26.9
	441	148	9:00 AM	26.8	22.4	22.5	25.6	25.5	26.5	26.6
	444	149	12:00 PM	26.5	31.4	29.5	26	26.4	26.5	26.5
	447	150	3:00 PM	27.8	34.5	37.5	27.7	29.7	28.4	27.3
	450	151	6:00 PM	28.7	31.3	30.2	28.7	31	29.5	28.1
	453	152	9:00 PM	29.2	25.8	25	29.1	30.4	29.5	29
30-abr-14	456	153	12:00 AM	29	23.1	22.3	28.7	29.2	28.9	28.6
	459	154	3:00 AM	28.5	22.5	20.1	28	28.2	28.4	28.1
	462	155	6:00 AM	27.8	20.6	19.3	27	27.3	27.6	27

	465	156	9:00 AM	27.3	20.4	20.4	26.3	26.3	27	26.4
	468	157	12:00 PM	27	26.2	26.7	26.3	26.4	26.8	26.8
	471	158	3:00 PM	27.5	31.2	33.5	27	27.8	27.5	27.1
	474	159	6:00 PM	28.3	29	26.5	27.9	29.2	28.4	27.9
	477	160	9:00 PM	28	19.1	18	27.1	26.7	27.1	26.1
01-may-14	480	161	12:00 AM	26.8	16.9	14.5	25.7	25.7	26.2	24.9
	483	162	3:00 AM	25.8	15.1	14.6	24.4	24.2	25.2	24.6
	486	163	6:00 AM	24.9	13.8	13.1	23.3	23.1	24.3	23.4
	489	164	9:00 AM	24.2	18.2	17.2	22.4	22.3	23.6	23.3
	492	165	12:00 PM	24.3	28.4	26.2	23.3	23.3	24.2	24
	495	166	3:00 PM	25.6	35	35.2	25.2	26.3	25.7	25
	498	167	6:00 PM	26.4	28.5	26.1	26.2	27.6	26.7	25.8
	501	168	9:00 PM	26.2	20.6	19.9	25.7	26.2	25.8	25.4
02-may-14	504	169	12:00 AM	25.6	17.3	16.6	25	25	25.3	24.9
	507	170	3:00 AM	24.9	16.7	15.2	24	24.1	24.6	23.3
	510	171	6:00 AM	24.3	15.8	14.2	23.1	23.1	23.8	22.8
	513	172	9:00 AM	23.9	20.3	19.7	22.4	22.6	23.6	23
	516	173	12:00 PM	24.3	29	28	23.2	23.7	24	23.9
	519	174	3:00 PM	25.2	31.7	34.2	24.8	25.8	25.4	24.9
	522	175	6:00 PM	26.1	27.4	26.6	26	27	26.2	25.5
	525	176	9:00 PM	26.3	19.2	18.6	26.4	26.9	26.5	26.2
03-may-14	528	177	12:00 AM	25.6	14.9	13.2	25.4	25.2	25.5	25.4
	531	178	3:00 AM	24.9	13.3	12.9	23.9	23.5	24.4	24.6
	534	179	6:00 AM	23.9	12.9	12.6	22.5	22.3	23.4	23.9
	537	180	9:00 AM	22.9	15.5	14.6	21.4	21.4	22.3	22.8
	540	181	12:00 PM	22.5	20.8	20	21	21.2	22	22.5
	543	182	3:00 PM	23.1	25.1	27.8	21.8	22.6	23	23.1
	546	183	6:00 PM	24	25.1	26.1	22.7	23.7	23.8	23.9
	549	184	9:00 PM	24.1	18.9	18.4	23.2	23.5	23.7	23.9
04-may-14	552	185	12:00 AM	23.6	16.1	14.6	22.9	22.8	23.4	23.4
	555	186	3:00 AM	23	14.6	14.2	22	21.8	22.6	22.8
	558	187	6:00 AM	22.3	12.8	12.5	21.1	21	21.9	22
	561	188	9:00 AM	22	18.2	18.6	20.6	20.8	21.8	21.8
	564	189	12:00 PM	22.4	27.4	26.1	21.9	22.1	22.5	22.3
	567	190	3:00 PM	23.9	33.6	35.6	24.2	25.5	24.5	23.4
	570	191	6:00 PM	25.3	30.6	30.7	25.6	27.8	26.2	24.4
	573	192	9:00 PM	25.7	23.8	23.3	26.1	27.1	26.2	25.4
05-may-14	576	193	12:00 AM	25.5	20.1	19.6	25.6	25.6	25.2	25.1
	579	194	3:00 AM	24.8	17.8	17.3	24.6	24.5	24.7	24.8
	582	195	6:00 AM	24.3	16.6	16.3	23.5	23.5	23.9	24
	585	196	9:00 AM	24	21.1	23.4	22.9	23.2	23.8	23.8
	588	197	12:00 PM	24.5	29.3	30.1	24.2	24.8	24.5	24.2
	591	198	3:00 PM	25.7	33.1	31.9	26.2	28	26.7	25

	594	199	6:00 PM	26.9	29.8	28.2	27.3	29.1	27.7	26.4
	597	200	9:00 PM	27.2	24.7	24.6	27.5	28.5	27.4	26.6
06-may-14	600	201	12:00 AM	27.1	22.5	22.1	27.1	27.5	27.3	26.9
	603	202	3:00 AM	26.7	19.1	18.7	26.4	26.4	26.6	26.6
	606	203	6:00 AM	26.1	17.8	17.4	25.5	25.4	25.9	26
	609	204	9:00 AM	25.7	22.6	24.9	24.8	24.7	25.5	25.8
	612	205	12:00 PM	25.7	32.8	29.4	25.5	26.2	25.7	25.7
	615	206	3:00 PM	26.8	35.9	37.8	27.2	28.5	27.3	26.4
	618	207	6:00 PM	28	29.6	28.6	28.3	30.4	28.9	27.8
	621	208	9:00 PM	28.4	25.3	24.5	28.5	29.5	28.7	28.2
07-may-14	624	209	12:00 AM	28.3	24.1	22.8	28.2	28.6	28.3	28.1
	627	210	3:00 AM	27.8	21.7	20.1	27.4	27.5	27.7	27.8
	630	211	6:00 AM	27.3	19.8	18.9	26.8	26.8	27.3	27.4
	633	212	9:00 AM	26.9	21.3	19.7	26.1	26	26.7	27
	636	213	12:00 PM	26.5	27.6	27.7	25.8	26.1	26.6	26.8
	639	214	3:00 PM	26.8	28.7	26.3	26.3	26.8	26.6	26.7
	642	215	6:00 PM	27.1	21.9	21.1	26.7	27.1	27.1	27.2
	645	216	9:00 PM	27	20.2	19.9	26.5	26.3	26.9	27.3
08-may-14	648	217	12:00 AM	26.6	19.1	18.1	25.9	25.9	26.4	26.9
	651	218	3:00 AM	26.1	16.9	15	25.2	25.3	26	26.3
	654	219	6:00 AM	25.5	16.3	15.1	24.5	24.5	25.3	25.6
	657	220	9:00 AM	24.9	17.2	16	23.8	23.9	24.7	25
	660	221	12:00 PM	24.4	18.8	17.1	23.2	23.4	24.2	24.6
	663	222	3:00 PM	24	23.7	23.3	23.1	23	24	24.5
	666	223	6:00 PM	24.2	23.1	22.4	23.4	23	24.2	25
	669	224	9:00 PM	24.1	18.6	17.9	23.3	22.7	23.8	24.8
09-may-14	672	225	12:00 AM	23.7	17	16.1	23	22.3	23.5	24.4
	675	226	3:00 AM	23.3	14.6	14.5	22.4	21.8	23	23.6
	678	227	6:00 AM	22.8	14.4	14.1	21.7	21.2	22.3	22.9
	681	228	9:00 AM	22.4	20.2	21.4	21.3	21	22.2	22.7
	684	229	12:00 PM	22.9	27.2	27.7	22.5	22.2	22.7	23.1
	687	230	3:00 PM	23.8	30.2	34.4	24.6	24.1	23.9	24
	690	231	6:00 PM	24.8	31	35.1	25.6	25.4	25.3	25
	693	232	9:00 PM	25.1	23.9	23.8	25.9	24.8	25.5	25.2
10-may-14	696	233	12:00 AM	25	20.9	20.6	25.5	24.2	25.2	25.2
	699	234	3:00 AM	24.7	18.5	17.4	24.6	23.8	24.7	25
	702	235	6:00 AM	24.3	17.4	15.9	23.8	23	24	24.5
	705	236	9:00 AM	24	20.7	20.2	23.1	22.7	23.8	24.3
	708	237	12:00 PM	24.2	28.9	28.9	24	23.9	24.1	24.5
	711	238	3:00 PM	25.6	33.8	35.2	26.2	27.2	26	25.4
	714	239	6:00 PM	27.1	32.7	37.7	27.5	29	27.9	26.5
	717	240	9:00 PM	27.4	26	25.5	28	28.5	27.8	27.1
	720	241	12:00 AM	27.2	22.7	22.2	27.3	27.1	27.4	27.3

7.2 Apéndice B. Resultados de la modelación en ANSYS.

A continuación se presenta la Tabla 7.2, la cual contiene los resultados del primer análisis en ANSYS correspondiente a la validación del modelo computacional de la vivienda.

Tabla 7.2. Resultados de la modelación de la vivienda en ANSYS.

DATO	HORA	TEMP °C	DATO	HORA	TEMP °C	DATO	HORA	TEMP °C	DATO	HORA	TEMP °C
1	2	3.31	**151**	180.58	24.56	**301**	362.31	27.60	**451**	540.81	21.42
2	2.76	3.69	**152**	181.57	24.75	**302**	363.85	27.22	**452**	541.65	21.46
3	3.53	4.11	**153**	182.61	25.05	**303**	365.79	26.72	**453**	542.56	21.59
4	4.88	4.88	**154**	183.73	25.42	**304**	368.52	26.27	**454**	543.54	21.81
5	6.90	6.09	**155**	185.67	25.89	**305**	369.43	26.17	**455**	544.74	22.15
6	9.46	8.02	**156**	186.34	26.02	**306**	370.15	26.15	**456**	546.73	22.64
7	10.97	9.33	**157**	187.02	26.11	**307**	370.88	26.21	**457**	547.79	22.84
8	12.46	10.79	**158**	187.74	26.17	**308**	371.70	26.39	**458**	548.42	22.93
9	13.95	12.39	**159**	188.53	26.16	**309**	372.61	26.68	**459**	549.04	22.99
10	15.76	14.46	**160**	189.39	26.09	**310**	373.82	27.11	**460**	549.79	23.01
11	17.94	16.98	**161**	190.38	25.94	**311**	375.94	27.72	**461**	550.64	22.98
12	20.95	19.24	**162**	191.60	25.68	**312**	376.74	27.91	**462**	551.60	22.87
13	21.95	19.86	**163**	193.10	25.29	**313**	377.52	28.08	**463**	552.67	22.70
14	22.78	20.30	**164**	194.89	24.76	**314**	378.31	28.21	**464**	553.97	22.42
15	23.62	20.65	**165**	196.96	24.10	**315**	379.14	28.31	**465**	555.72	21.99
16	24.52	20.95	**166**	199.30	23.42	**316**	380.02	28.39	**466**	557.78	21.40
17	25.46	21.17	**167**	202.58	23.38	**317**	380.93	28.42	**467**	559.74	20.99
18	26.47	21.33	**168**	203.67	23.52	**318**	381.89	28.41	**468**	560.43	20.86
19	27.54	21.40	**169**	204.55	23.71	**319**	382.81	28.34	**469**	561.12	20.78
20	28.69	21.40	**170**	205.43	23.97	**320**	383.74	28.21	**470**	561.80	20.73
21	29.93	21.30	**171**	206.81	24.46	**321**	384.77	28.00	**471**	562.58	20.73
22	31.28	21.21	**172**	208.63	25.11	**322**	385.97	27.69	**472**	563.44	20.81
23	32.06	21.18	**173**	211.09	25.65	**323**	387.38	27.24	**473**	564.37	21.00
24	32.70	21.18	**174**	211.92	25.76	**324**	389.01	26.65	**474**	565.38	21.32
25	33.34	21.20	**175**	212.65	25.79	**325**	391.08	25.98	**475**	566.44	21.81
26	34.09	21.28	**176**	213.39	25.76	**326**	393.32	25.60	**476**	567.59	22.45
27	34.91	21.44	**177**	214.30	25.66	**327**	394.06	25.52	**477**	569.12	23.33
28	35.81	21.70	**178**	215.51	25.47	**328**	394.81	25.49	**478**	571.90	24.38
29	36.80	22.10	**179**	217.18	25.16	**329**	395.64	25.53	**479**	572.83	24.65
30	37.90	22.67	**180**	219.12	24.75	**330**	396.55	25.67	**480**	573.56	24.81

31	39.13	23.44	**181**	221.22	24.29	**331**	397.55	25.93	**481**	574.30	24.93
32	40.51	24.41	**182**	223.68	23.82	**332**	398.64	26.33	**482**	575.16	25.01
33	42.55	25.77	**183**	226.14	23.80	**333**	399.84	26.86	**483**	576.08	25.03
34	46.10	26.72	**184**	226.96	23.88	**334**	401.60	27.65	**484**	577.07	24.99
35	47.29	26.91	**185**	227.78	24.06	**335**	404.51	28.15	**485**	578.21	24.87
36	48.18	26.99	**186**	228.67	24.33	**336**	405.48	28.22	**486**	579.47	24.67
37	49.08	27.00	**187**	229.89	24.75	**337**	406.30	28.22	**487**	580.92	24.37
38	50.16	26.94	**188**	232.06	25.41	**338**	407.12	28.17	**488**	582.69	24.02
39	51.32	26.79	**189**	233.35	25.77	**339**	408.18	28.02	**489**	584.90	23.90
40	52.57	26.54	**190**	234.63	26.08	**340**	409.37	27.78	**490**	585.64	23.90
41	53.92	26.18	**191**	235.96	26.33	**341**	410.75	27.42	**491**	586.37	23.95
42	55.36	25.85	**192**	236.74	26.43	**342**	412.30	26.93	**492**	587.25	24.08
43	56.05	25.72	**193**	237.52	26.51	**343**	414.02	26.30	**493**	588.21	24.30
44	56.68	25.64	**194**	238.37	26.56	**344**	415.93	25.81	**494**	589.28	24.62
45	57.31	25.59	**195**	239.31	26.58	**345**	416.59	25.67	**495**	590.63	25.11
46	58.07	25.59	**196**	240.32	26.56	**346**	417.26	25.57	**496**	592.26	25.71
47	58.91	25.66	**197**	241.41	26.49	**347**	418.00	25.51	**497**	594.87	26.40
48	59.85	25.81	**198**	242.55	26.37	**348**	418.83	25.50	**498**	595.81	26.60
49	60.89	26.09	**199**	243.77	26.20	**349**	419.73	25.57	**499**	596.62	26.74
50	62.00	26.49	**200**	245.19	25.96	**350**	420.72	25.73	**500**	597.43	26.84
51	63.19	27.05	**201**	246.89	25.67	**351**	421.76	26.02	**501**	598.27	26.91
52	64.53	27.75	**202**	249.44	25.60	**352**	422.85	26.44	**502**	599.17	26.94
53	66.55	28.76	**203**	250.29	25.65	**353**	424.03	27.00	**503**	600.14	26.92
54	69.58	29.29	**204**	251.09	25.79	**354**	425.68	27.84	**504**	601.17	26.85
55	70.59	29.37	**205**	251.88	26.03	**355**	428.13	28.57	**505**	602.24	26.72
56	71.47	29.37	**206**	252.81	26.39	**356**	428.95	28.73	**506**	603.37	26.52
57	72.35	29.30	**207**	254.24	26.94	**357**	429.68	28.82	**507**	604.65	26.24
58	73.43	29.13	**208**	255.88	27.48	**358**	430.41	28.85	**508**	606.24	25.85
59	74.69	28.86	**209**	256.74	27.72	**359**	431.35	28.82	**509**	608.61	25.62
60	76.10	28.45	**210**	257.60	27.93	**360**	432.42	28.71	**510**	609.40	25.58
61	77.63	27.91	**211**	258.51	28.10	**361**	433.63	28.50	**511**	610.18	25.60
62	79.29	27.39	**212**	259.36	28.21	**362**	434.98	28.18	**512**	610.97	25.65
63	80.49	27.11	**213**	260.20	28.26	**363**	436.47	27.74	**513**	611.92	25.79
64	81.16	26.99	**214**	261.03	28.26	**364**	438.12	27.18	**514**	612.98	26.04
65	81.83	26.91	**215**	261.96	28.20	**365**	440.02	26.67	**515**	614.02	26.40
66	82.62	26.87	**216**	263.02	28.06	**366**	440.80	26.49	**516**	615.06	26.87
67	83.47	26.89	**217**	264.22	27.85	**367**	441.50	26.37	**517**	616.26	27.42
68	84.41	26.99	**218**	265.59	27.54	**368**	442.19	26.29	**518**	618.43	28.07
69	85.41	27.19	**219**	267.32	27.09	**369**	442.96	26.25	**519**	619.15	28.24
70	86.47	27.52	**220**	269.29	26.49	**370**	443.79	26.29	**520**	619.88	28.38
71	87.61	27.98	**221**	271.02	25.97	**371**	444.70	26.41	**521**	620.67	28.48

72	88.97	28.62	**222**	272.75	25.58	**372**	445.67	26.65	**522**	621.53	28.53
73	90.80	29.42	**223**	273.56	25.45	**373**	446.72	27.04	**523**	622.47	28.54
74	92.89	29.82	**224**	274.26	25.41	**374**	447.86	27.53	**524**	623.54	28.50
75	93.61	29.90	**225**	274.97	25.44	**375**	449.90	28.22	**525**	624.74	28.39
76	94.33	29.93	**226**	275.79	25.61	**376**	450.69	28.46	**526**	625.98	28.21
77	95.24	29.89	**227**	276.68	25.89	**377**	451.41	28.63	**527**	627.27	27.96
78	96.28	29.76	**228**	277.92	26.34	**378**	452.13	28.77	**528**	628.67	27.63
79	97.45	29.53	**229**	279.89	26.94	**379**	452.89	28.87	**529**	630.40	27.18
80	98.79	29.18	**230**	280.83	27.20	**380**	453.70	28.92	**530**	632.62	26.63
81	100.30	28.67	**231**	281.77	27.43	**381**	454.61	28.93	**531**	636.12	26.66
82	101.84	28.06	**232**	282.97	27.64	**382**	455.61	28.87	**532**	637.28	26.73
83	103.44	27.39	**233**	283.78	27.75	**383**	456.71	28.75	**533**	638.45	26.82
84	106.33	26.42	**234**	284.57	27.80	**384**	457.93	28.55	**534**	640.43	26.88
85	108.01	26.00	**235**	285.37	27.80	**385**	459.29	28.25	**535**	641.10	26.88
86	108.86	25.83	**236**	286.24	27.73	**386**	460.82	27.87	**536**	641.76	26.86
87	109.71	25.72	**237**	287.16	27.56	**387**	462.80	27.36	**537**	642.54	26.80
88	110.50	25.67	**238**	288.15	27.28	**388**	465.62	26.82	**538**	643.47	26.71
89	111.29	25.66	**239**	289.24	26.88	**389**	466.70	26.67	**539**	644.60	26.55
90	112.26	25.68	**240**	290.78	26.26	**390**	467.42	26.61	**540**	645.95	26.32
91	113.71	25.74	**241**	292.82	25.37	**391**	468.14	26.59	**541**	647.43	26.01
92	115.17	25.70	**242**	295.25	24.43	**392**	468.96	26.63	**542**	648.99	25.62
93	115.85	25.66	**243**	298.08	23.96	**393**	469.86	26.74	**543**	650.46	25.18
94	116.53	25.57	**244**	299.02	23.90	**394**	470.83	26.96	**544**	651.90	24.71
95	117.37	25.40	**245**	299.83	23.93	**395**	471.88	27.24	**545**	653.34	24.23
96	118.32	25.15	**246**	300.65	24.01	**396**	473.93	27.60	**546**	656.28	23.36
97	119.50	24.76	**247**	301.84	24.15	**397**	474.61	27.69	**547**	660.20	22.61
98	120.89	24.21	**248**	303.23	24.28	**398**	475.27	27.74	**548**	661.51	22.45
99	122.56	23.47	**249**	303.83	24.34	**399**	475.92	27.75	**549**	662.27	22.40
100	124.52	22.56	**250**	304.42	24.39	**400**	476.72	27.69	**550**	663.04	22.40
101	127.03	21.60	**251**	306.21	24.58	**401**	477.59	27.54	**551**	663.92	22.44
102	128.53	21.24	**252**	308.00	24.70	**402**	478.61	27.29	**552**	665.13	22.53
103	129.26	21.12	**253**	308.64	24.73	**403**	479.82	26.87	**553**	666.99	22.64
104	130.00	21.06	**254**	309.29	24.75	**404**	481.22	26.33	**554**	667.65	22.67
105	130.85	21.09	**255**	310.04	24.76	**405**	483.23	25.49	**555**	668.27	22.68
106	131.77	21.22	**256**	310.89	24.75	**406**	486.05	24.27	**556**	668.89	22.68
107	132.78	21.48	**257**	311.82	24.71	**407**	488.73	23.43	**557**	669.65	22.65
108	133.89	21.91	**258**	312.86	24.63	**408**	489.71	23.19	**558**	670.53	22.58
109	135.10	22.52	**259**	313.97	24.51	**409**	490.44	23.06	**559**	671.57	22.47
110	136.46	23.25	**260**	315.16	24.35	**410**	491.17	23.00	**560**	672.74	22.30
111	139.17	24.28	**261**	316.47	24.13	**411**	491.99	23.01	**561**	674.08	22.07
112	140.07	24.57	**262**	318.21	23.82	**412**	492.87	23.12	**562**	675.57	21.76

113	140.83	24.77	**263**	320.84	23.63	**413**	493.84	23.36	**563**	677.32	21.37
114	141.59	24.92	**264**	321.72	23.64	**414**	494.88	23.78	**564**	679.72	21.09
115	142.41	25.03	**265**	322.48	23.71	**415**	496.02	24.28	**565**	680.52	21.04
116	143.30	25.11	**266**	323.24	23.88	**416**	498.38	24.98	**566**	681.28	21.04
117	144.25	25.13	**267**	324.14	24.19	**417**	499.17	25.16	**567**	682.04	21.08
118	145.27	25.10	**268**	325.14	24.61	**418**	499.86	25.28	**568**	682.94	21.21
119	146.37	25.00	**269**	326.96	25.30	**419**	500.54	25.35	**569**	683.93	21.44
120	147.56	24.83	**270**	328.05	25.67	**420**	501.34	25.38	**570**	685.01	21.81
121	148.84	24.59	**271**	329.14	26.00	**421**	502.21	25.35	**571**	686.18	22.33
122	150.23	24.26	**272**	330.25	26.28	**422**	503.21	25.25	**572**	687.43	23.01
123	151.89	23.91	**273**	331.30	26.50	**423**	504.32	25.05	**573**	688.89	23.90
124	153.05	23.72	**274**	332.21	26.64	**424**	505.59	24.76	**574**	691.04	25.04
125	153.76	23.63	**275**	333.10	26.75	**425**	507.16	24.32	**575**	692.75	25.62
126	154.45	23.60	**276**	333.99	26.81	**426**	509.01	23.75	**576**	693.43	25.80
127	155.14	23.61	**277**	334.95	26.85	**427**	511.24	23.16	**577**	694.12	25.93
128	155.96	23.70	**278**	335.96	26.85	**428**	512.80	22.88	**578**	694.97	26.03
129	156.86	23.90	**279**	337.04	26.81	**429**	513.52	22.79	**579**	695.91	26.07
130	157.89	24.24	**280**	338.20	26.73	**430**	514.24	22.75	**580**	696.95	26.03
131	159.05	24.74	**281**	339.44	26.60	**431**	515.04	22.76	**581**	698.08	25.90
132	160.35	25.32	**282**	340.80	26.41	**432**	515.90	22.87	**582**	699.30	25.69
133	162.70	26.04	**283**	342.30	26.18	**433**	516.85	23.08	**583**	700.65	25.37
134	163.48	26.24	**284**	344.28	25.95	**434**	517.91	23.43	**584**	702.29	24.93
135	164.22	26.39	**285**	344.99	25.89	**435**	519.09	23.96	**585**	704.52	24.48
136	164.97	26.49	**286**	345.69	25.86	**436**	520.43	24.55	**586**	705.26	24.36
137	165.78	26.57	**287**	346.39	25.88	**437**	522.59	25.17	**587**	705.92	24.29
138	166.67	26.59	**288**	347.17	25.98	**438**	523.31	25.33	**588**	706.58	24.25
139	167.64	26.56	**289**	348.02	26.19	**439**	524.02	25.44	**589**	707.34	24.27
140	168.69	26.47	**290**	348.97	26.48	**440**	524.73	25.49	**590**	708.18	24.38
141	169.83	26.30	**291**	350.45	26.97	**441**	525.56	25.47	**591**	709.11	24.58
142	171.09	26.04	**292**	352.63	27.60	**442**	526.49	25.36	**592**	710.17	24.93
143	172.45	25.69	**293**	354.04	27.95	**443**	527.52	25.13	**593**	711.34	25.45
144	174.03	25.22	**294**	355.28	28.16	**444**	528.66	24.79	**594**	712.67	26.15
145	175.81	24.79	**295**	356.05	28.25	**445**	530.05	24.28	**595**	714.37	27.10
146	176.57	24.65	**296**	356.81	28.29	**446**	532.00	23.52	**596**	717.15	27.82
147	177.27	24.55	**297**	357.66	28.29	**447**	534.61	22.53	**597**	718.08	27.99
148	177.97	24.48	**298**	358.61	28.23	**448**	538.08	21.72	**598**	718.95	28.11
149	178.77	24.45	**299**	359.70	28.11	**449**	539.24	21.53	**599**	719.47	28.16
150	179.64	24.47	**300**	360.93	27.90	**450**	540.03	21.45	**600**	720.00	28.21

En la Tabla 7.3 se muestran los resultados del segundo análisis en ANSYS correspondiente a la utilización de EPS en los muros exteriores del modelo computacional de la vivienda.

Tabla 7.3. Resultados de la simulación utilizando EPS en la vivienda.

DATO	HORA	TEMP °C	DATO	HORA	TEMP °C	DATO	HORA	TEMP °C	DATO	HORA	TEMP °C
1	2	19.94	**151**	183.59	24.51	**301**	360.85	26.29	**451**	541.31	22.79
2	2.75	18.41	**152**	185.04	24.64	**302**	362.04	26.33	**452**	542.15	22.65
3	3.50	17.53	**153**	185.90	24.74	**303**	363.34	26.31	**453**	543.05	22.52
4	4.67	16.92	**154**	186.65	24.85	**304**	364.85	26.20	**454**	544.01	22.42
5	6.43	16.63	**155**	187.41	24.97	**305**	367.06	25.94	**455**	545.27	22.34
6	9.09	16.63	**156**	188.21	25.09	**306**	369.09	25.65	**456**	547.33	22.34
7	10.50	16.72	**157**	189.06	25.20	**307**	369.91	25.54	**457**	548.04	22.34
8	11.87	16.88	**158**	189.96	25.29	**308**	370.69	25.44	**458**	548.76	22.36
9	13.23	17.14	**159**	191.00	25.36	**309**	371.48	25.35	**459**	549.54	22.38
10	14.80	17.61	**160**	192.20	25.37	**310**	372.36	25.28	**460**	550.37	22.40
11	16.53	18.31	**161**	193.60	25.29	**311**	373.35	25.25	**461**	551.28	22.42
12	18.96	19.47	**162**	195.27	25.11	**312**	374.91	25.33	**462**	552.25	22.43
13	22.96	21.09	**163**	197.20	24.79	**313**	375.91	25.44	**463**	553.32	22.42
14	24.29	21.56	**164**	199.43	24.34	**314**	376.81	25.56	**464**	554.65	22.37
15	25.15	21.84	**165**	202.54	23.81	**315**	377.70	25.71	**465**	556.38	22.25
16	26.02	22.08	**166**	203.58	23.65	**316**	378.60	25.88	**466**	558.18	22.06
17	26.93	22.29	**167**	204.45	23.55	**317**	379.50	26.04	**467**	560.32	21.80
18	27.86	22.47	**168**	205.32	23.48	**318**	380.40	26.20	**468**	561.08	21.70
19	28.83	22.60	**169**	206.47	23.48	**319**	381.31	26.35	**469**	561.84	21.61
20	29.85	22.69	**170**	207.93	23.61	**320**	382.21	26.47	**470**	562.65	21.51
21	30.93	22.74	**171**	210.02	24.02	**321**	383.12	26.57	**471**	563.50	21.43
22	32.01	22.76	**172**	212.25	24.50	**322**	384.03	26.65	**472**	564.41	21.37
23	32.74	22.75	**173**	213.06	24.67	**323**	385.01	26.70	**473**	565.35	21.35
24	33.46	22.73	**174**	213.86	24.83	**324**	386.14	26.72	**474**	566.35	21.38
25	34.28	22.71	**175**	214.85	24.98	**325**	387.39	26.69	**475**	567.39	21.49
26	35.16	22.69	**176**	216.05	25.10	**326**	388.82	26.60	**476**	568.63	21.71
27	36.09	22.69	**177**	217.56	25.14	**327**	390.61	26.40	**477**	571.05	22.36
28	37.08	22.73	**178**	219.29	25.05	**328**	394.45	25.95	**478**	572.11	22.66
29	38.15	22.84	**179**	221.22	24.83	**329**	395.74	25.82	**479**	572.92	22.90
30	39.31	23.04	**180**	223.54	24.47	**330**	396.62	25.75	**480**	573.73	23.12
31	40.62	23.37	**181**	226.14	24.05	**331**	397.51	25.71	**481**	574.57	23.34
32	42.50	23.99	**182**	227.00	23.92	**332**	398.51	25.71	**482**	575.44	23.54
33	46.50	25.07	**183**	227.85	23.80	**333**	399.57	25.77	**483**	576.34	23.72

34	47.83	25.39	**184**	228.70	23.71	**334**	400.89	25.92	**484**	577.29	23.86
35	48.71	25.56	**185**	229.81	23.64	**335**	403.45	26.36	**485**	578.32	23.98
36	49.58	25.71	**186**	231.74	23.72	**336**	404.30	26.51	**486**	579.44	24.05
37	50.55	25.83	**187**	232.95	23.83	**337**	405.07	26.64	**487**	580.68	24.08
38	51.57	25.92	**188**	234.16	24.00	**338**	405.84	26.76	**488**	582.15	24.04
39	52.65	25.97	**189**	236.26	24.35	**339**	406.72	26.88	**489**	584.20	23.91
40	53.80	25.97	**190**	237.10	24.49	**340**	407.68	26.98	**490**	584.95	23.86
41	55.03	25.93	**191**	237.94	24.62	**341**	408.72	27.05	**491**	585.69	23.80
42	56.08	25.87	**192**	238.77	24.74	**342**	409.87	27.08	**492**	586.53	23.74
43	56.80	25.81	**193**	239.68	24.85	**343**	411.14	27.06	**493**	587.41	23.69
44	57.52	25.75	**194**	240.63	24.94	**344**	412.55	26.97	**494**	588.35	23.67
45	58.34	25.68	**195**	241.61	25.00	**345**	414.12	26.81	**495**	589.38	23.69
46	59.22	25.62	**196**	242.64	25.04	**346**	416.02	26.54	**496**	590.58	23.79
47	60.16	25.57	**197**	243.72	25.04	**347**	416.78	26.43	**497**	592.00	24.02
48	61.15	25.55	**198**	244.95	25.01	**348**	417.54	26.32	**498**	594.49	24.58
49	62.20	25.59	**199**	246.38	24.92	**349**	418.34	26.20	**499**	595.59	24.85
50	63.31	25.71	**200**	248.65	24.72	**350**	419.20	26.08	**500**	596.48	25.06
51	64.55	25.93	**201**	249.43	24.65	**351**	420.09	25.98	**501**	597.37	25.26
52	66.34	26.37	**202**	250.20	24.59	**352**	421.04	25.90	**502**	598.27	25.45
53	69.92	27.14	**203**	250.98	24.52	**353**	422.01	25.87	**503**	599.16	25.62
54	71.11	27.36	**204**	251.84	24.47	**354**	423.03	25.90	**504**	600.06	25.76
55	72.00	27.50	**205**	252.75	24.45	**355**	424.12	26.01	**505**	601.01	25.88
56	72.88	27.61	**206**	253.92	24.48	**356**	425.58	26.26	**506**	601.97	25.97
57	73.90	27.69	**207**	255.92	24.77	**357**	427.73	26.71	**507**	602.99	26.03
58	75.03	27.73	**208**	256.87	24.94	**358**	428.49	26.87	**508**	604.06	26.05
59	76.25	27.71	**209**	257.82	25.15	**359**	429.25	27.03	**509**	605.33	26.03
60	77.58	27.63	**210**	258.78	25.39	**360**	430.05	27.18	**510**	606.82	25.95
61	79.00	27.47	**211**	259.65	25.60	**361**	430.93	27.33	**511**	608.40	25.81
62	81.10	27.18	**212**	260.49	25.79	**362**	431.87	27.46	**512**	609.17	25.73
63	81.87	27.07	**213**	261.34	25.96	**363**	432.89	27.55	**513**	609.93	25.65
64	82.64	26.96	**214**	262.25	26.11	**364**	434.00	27.61	**514**	610.79	25.57
65	83.50	26.85	**215**	263.24	26.24	**365**	435.21	27.61	**515**	611.70	25.50
66	84.40	26.76	**216**	264.30	26.31	**366**	436.53	27.56	**516**	612.68	25.45
67	85.34	26.70	**217**	265.49	26.34	**367**	437.98	27.45	**517**	613.67	25.44
68	86.33	26.68	**218**	266.93	26.28	**368**	439.54	27.26	**518**	614.68	25.48
69	87.37	26.74	**219**	268.66	26.10	**369**	440.66	27.11	**519**	615.74	25.58
70	88.52	26.87	**220**	270.22	25.87	**370**	441.44	27.00	**520**	617.52	25.88
71	89.99	27.14	**221**	271.77	25.60	**371**	442.22	26.88	**521**	618.34	26.05
72	91.86	27.53	**222**	273.07	25.34	**372**	443.03	26.77	**522**	619.12	26.22
73	92.59	27.69	**223**	273.89	25.19	**373**	443.87	26.66	**523**	619.90	26.40
74	93.33	27.84	**224**	274.66	25.05	**374**	444.76	26.57	**524**	620.74	26.58

75	94.13	27.99	**225**	275.44	24.92	**375**	445.70	26.51	**525**	621.60	26.76
76	95.01	28.14	**226**	276.31	24.80	**376**	446.68	26.51	**526**	622.51	26.93
77	95.95	28.26	**227**	277.26	24.72	**377**	447.73	26.57	**527**	623.48	27.08
78	96.96	28.34	**228**	278.67	24.73	**378**	449.26	26.78	**528**	624.52	27.21
79	98.09	28.39	**229**	279.82	24.83	**379**	450.45	26.99	**529**	625.60	27.30
80	99.33	28.37	**230**	280.86	24.97	**380**	451.25	27.15	**530**	626.70	27.36
81	100.67	28.28	**231**	281.91	25.17	**381**	452.05	27.31	**531**	627.86	27.37
82	102.05	28.12	**232**	283.14	25.42	**382**	452.86	27.47	**532**	629.20	27.34
83	103.51	27.88	**233**	284.00	25.60	**383**	453.69	27.63	**533**	630.78	27.25
84	106.41	27.26	**234**	284.83	25.77	**384**	454.58	27.78	**534**	633.07	27.02
85	108.09	26.88	**235**	285.67	25.93	**385**	455.52	27.91	**535**	636.42	26.69
86	108.99	26.68	**236**	286.54	26.07	**386**	456.51	28.02	**536**	637.54	26.59
87	109.90	26.49	**237**	287.45	26.18	**387**	457.58	28.09	**537**	638.62	26.50
88	110.72	26.34	**238**	288.41	26.26	**388**	458.74	28.13	**538**	639.69	26.44
89	111.54	26.22	**239**	289.48	26.28	**389**	459.99	28.13	**539**	640.31	26.41
90	112.50	26.10	**240**	290.85	26.18	**390**	461.50	28.06	**540**	640.93	26.39
91	113.74	25.99	**241**	292.66	25.86	**391**	463.39	27.88	**541**	641.68	26.37
92	114.58	25.93	**242**	294.89	25.29	**392**	466.68	27.47	**542**	642.49	26.35
93	115.26	25.90	**243**	298.38	24.42	**393**	467.78	27.33	**543**	643.38	26.33
94	115.94	25.86	**244**	299.55	24.15	**394**	468.60	27.22	**544**	644.39	26.31
95	116.76	25.82	**245**	300.40	23.96	**395**	469.43	27.13	**545**	645.55	26.27
96	117.63	25.77	**246**	301.26	23.81	**396**	470.33	27.05	**546**	646.82	26.21
97	118.61	25.68	**247**	302.61	23.64	**397**	471.28	26.99	**547**	648.17	26.13
98	119.74	25.55	**248**	303.25	23.58	**398**	472.36	26.96	**548**	649.56	26.03
99	121.02	25.35	**249**	303.88	23.54	**399**	474.13	27.01	**549**	650.85	25.91
100	122.54	25.03	**250**	304.77	23.51	**400**	474.85	27.05	**550**	652.15	25.77
101	124.33	24.58	**251**	306.47	23.52	**401**	475.57	27.08	**551**	654.07	25.52
102	126.63	23.92	**252**	308.65	23.54	**402**	476.38	27.11	**552**	657.39	24.99
103	130.15	23.03	**253**	309.42	23.54	**403**	477.23	27.12	**553**	660.74	24.42
104	131.33	22.77	**254**	310.18	23.54	**404**	478.16	27.10	**554**	661.85	24.23
105	132.23	22.59	**255**	311.05	23.54	**405**	479.20	27.05	**555**	662.67	24.10
106	133.13	22.47	**256**	311.99	23.52	**406**	480.37	26.94	**556**	663.49	23.96
107	134.15	22.39	**257**	312.99	23.49	**407**	481.73	26.76	**557**	664.43	23.82
108	135.24	22.41	**258**	314.04	23.44	**408**	483.75	26.39	**558**	665.60	23.65
109	136.49	22.53	**259**	315.14	23.36	**409**	486.46	25.74	**559**	667.35	23.42
110	139.05	23.05	**260**	316.34	23.27	**410**	489.77	24.93	**560**	668.06	23.34
111	139.99	23.26	**261**	317.85	23.12	**411**	490.87	24.67	**561**	668.76	23.26
112	140.82	23.45	**262**	319.73	22.92	**412**	491.69	24.49	**562**	669.57	23.17
113	141.65	23.64	**263**	320.50	22.83	**413**	492.50	24.33	**563**	670.45	23.07
114	142.50	23.83	**264**	321.26	22.75	**414**	493.39	24.19	**564**	671.43	22.97
115	143.38	24.00	**265**	322.03	22.68	**415**	494.33	24.09	**565**	672.52	22.86

116	144.30	24.16	**266**	322.85	22.61	**416**	495.33	24.05	**566**	673.71	22.73
117	145.26	24.29	**267**	323.71	22.55	**417**	496.49	24.08	**567**	675.02	22.58
118	146.26	24.39	**268**	324.63	22.53	**418**	498.50	24.30	**568**	676.44	22.41
119	147.32	24.46	**269**	325.75	22.56	**419**	499.25	24.39	**569**	678.40	22.15
120	148.45	24.48	**270**	327.87	22.83	**420**	499.99	24.48	**570**	681.99	21.77
121	149.66	24.46	**271**	328.94	23.01	**421**	500.79	24.58	**571**	683.19	21.67
122	150.95	24.39	**272**	330.02	23.23	**422**	501.63	24.67	**572**	684.14	21.60
123	153.74	24.14	**273**	331.12	23.47	**423**	502.53	24.75	**573**	685.08	21.57
124	154.68	24.05	**274**	332.09	23.69	**424**	503.51	24.81	**574**	686.14	21.58
125	155.48	23.98	**275**	332.99	23.88	**425**	504.56	24.84	**575**	687.25	21.64
126	156.29	23.92	**276**	333.90	24.07	**426**	505.74	24.82	**576**	688.49	21.77
127	157.20	23.89	**277**	334.82	24.23	**427**	507.13	24.76	**577**	690.18	22.05
128	158.19	23.91	**278**	335.75	24.38	**428**	508.77	24.61	**578**	693.20	22.57
129	159.27	23.99	**279**	336.70	24.50	**429**	510.76	24.35	**579**	694.20	22.74
130	160.54	24.18	**280**	337.69	24.59	**430**	514.38	23.89	**580**	695.04	22.87
131	162.69	24.63	**281**	338.73	24.66	**431**	515.58	23.75	**581**	695.88	22.99
132	163.50	24.81	**282**	339.85	24.70	**432**	516.47	23.67	**582**	696.82	23.11
133	164.31	24.99	**283**	341.05	24.70	**433**	517.36	23.61	**583**	697.80	23.21
134	165.13	25.17	**284**	342.36	24.66	**434**	518.37	23.58	**584**	698.85	23.29
135	165.98	25.33	**285**	344.21	24.55	**435**	519.46	23.61	**585**	699.95	23.35
136	166.86	25.48	**286**	345.00	24.50	**436**	520.89	23.72	**586**	701.22	23.38
137	167.79	25.61	**287**	345.78	24.45	**437**	522.14	23.88	**587**	702.67	23.37
138	168.77	25.70	**288**	346.56	24.40	**438**	522.90	23.99	**588**	705.63	23.26
139	169.82	25.76	**289**	347.33	24.36	**439**	523.66	24.11	**589**	706.62	23.23
140	170.94	25.77	**290**	348.21	24.34	**440**	524.46	24.24	**590**	707.42	23.20
141	172.14	25.74	**291**	349.16	24.36	**441**	525.30	24.37	**591**	708.23	23.19
142	173.49	25.63	**292**	350.51	24.45	**442**	526.19	24.50	**592**	709.14	23.20
143	174.99	25.45	**293**	352.65	24.80	**443**	527.15	24.61	**593**	710.12	23.26
144	177.31	25.08	**294**	354.12	25.10	**444**	528.17	24.70	**594**	711.19	23.38
145	178.11	24.96	**295**	355.34	25.38	**445**	529.28	24.73	**595**	712.35	23.59
146	178.91	24.83	**296**	356.16	25.56	**446**	530.73	24.68	**596**	713.76	23.94
147	179.77	24.71	**297**	356.99	25.74	**447**	532.70	24.47	**597**	715.46	24.42
148	180.67	24.60	**298**	357.84	25.91	**448**	535.46	23.98	**598**	716.35	24.68
149	181.60	24.52	**299**	358.77	26.07	**449**	539.21	23.20	**599**	717.10	24.89
150	182.57	24.49	**300**	359.77	26.20	**450**	540.46	22.95	**600**	717.86	25.10
									601	718.72	25.33
									602	719.36	25.50
									603	720.00	25.65

En la Tabla 7.4, la cual contiene los resultados del tercer análisis en ANSYS correspondiente a la utilización de GW en los muros exteriores del modelo computacional de la vivienda.

Tabla 7.4. Resultados de la simulación utilizando GW en la vivienda.

DATO	HORA	TEMP °C	DATO	HORA	TEMP °C	DATO	HORA	TEMP °C	DATO	HORA	TEMP °C
1	2	15.22	**151**	180.58	24.59	**301**	362.31	26.76	**451**	540.81	22.68
2	2.76	14.34	**152**	181.57	24.54	**302**	363.85	26.59	**452**	541.65	22.52
3	3.53	14.39	**153**	182.61	24.57	**303**	365.79	26.26	**453**	542.56	22.40
4	4.88	15.05	**154**	183.73	24.69	**304**	368.52	25.75	**454**	543.54	22.32
5	6.90	16.04	**155**	185.67	25.07	**305**	369.43	25.59	**455**	544.74	22.29
6	9.46	17.06	**156**	186.34	25.22	**306**	370.15	25.47	**456**	546.73	22.38
7	10.97	17.64	**157**	187.02	25.37	**307**	370.88	25.37	**457**	547.79	22.44
8	12.46	18.24	**158**	187.74	25.51	**308**	371.70	25.29	**458**	548.42	22.49
9	13.95	18.96	**159**	188.53	25.65	**309**	372.61	25.25	**459**	549.04	22.53
10	15.76	20.00	**160**	189.39	25.76	**310**	373.82	25.31	**460**	549.79	22.58
11	17.94	21.40	**161**	190.38	25.83	**311**	375.94	25.70	**461**	550.64	22.62
12	20.95	23.02	**162**	191.60	25.81	**312**	376.74	25.87	**462**	551.60	22.65
13	21.95	23.51	**163**	193.10	25.66	**313**	377.52	26.05	**463**	552.67	22.65
14	22.78	23.86	**164**	194.89	25.35	**314**	378.31	26.25	**464**	553.97	22.61
15	23.62	24.16	**165**	196.96	24.88	**315**	379.14	26.45	**465**	555.72	22.46
16	24.52	24.43	**166**	199.30	24.29	**316**	380.02	26.64	**466**	557.78	22.19
17	25.46	24.63	**167**	202.58	23.70	**317**	380.93	26.81	**467**	559.74	21.90
18	26.47	24.78	**168**	203.67	23.55	**318**	381.89	26.95	**468**	560.43	21.80
19	27.54	24.85	**169**	204.55	23.48	**319**	382.81	27.05	**469**	561.12	21.70
20	28.69	24.86	**170**	205.43	23.47	**320**	383.74	27.11	**470**	561.80	21.61
21	29.93	24.78	**171**	206.81	23.63	**321**	384.77	27.14	**471**	562.58	21.52
22	31.28	24.63	**172**	208.63	24.08	**322**	385.97	27.10	**472**	563.44	21.45
23	32.06	24.52	**173**	211.09	24.82	**323**	387.38	26.99	**473**	564.37	21.43
24	32.70	24.43	**174**	211.92	25.06	**324**	389.01	26.78	**474**	565.38	21.47
25	33.34	24.34	**175**	212.65	25.27	**325**	391.08	26.43	**475**	566.44	21.61
26	34.09	24.24	**176**	213.39	25.45	**326**	393.32	26.02	**476**	567.59	21.88
27	34.91	24.14	**177**	214.30	25.62	**327**	394.06	25.90	**477**	569.12	22.39
28	35.81	24.08	**178**	215.51	25.74	**328**	394.81	25.78	**478**	571.90	23.40
29	36.80	24.07	**179**	217.18	25.72	**329**	395.64	25.69	**479**	572.83	23.72
30	37.90	24.18	**180**	219.12	25.49	**330**	396.55	25.62	**480**	573.56	23.96
31	39.13	24.44	**181**	221.22	25.11	**331**	397.55	25.62	**481**	574.30	24.17
32	40.51	24.87	**182**	223.68	24.57	**332**	398.64	25.71	**482**	575.16	24.38
33	42.55	25.66	**183**	226.14	24.09	**333**	399.84	25.91	**483**	576.08	24.54

34	46.10	26.62	**184**	226.96	23.94	**334**	401.60	26.34	**484**	577.07	24.67
35	47.29	26.87	**185**	227.78	23.82	**335**	404.51	26.97	**485**	578.21	24.74
36	48.18	27.02	**186**	228.67	23.73	**336**	405.48	27.16	**486**	579.47	24.74
37	49.08	27.11	**187**	229.89	23.72	**337**	406.30	27.28	**487**	580.92	24.66
38	50.16	27.17	**188**	232.06	24.01	**338**	407.12	27.37	**488**	582.69	24.47
39	51.32	27.17	**189**	233.35	24.25	**339**	408.18	27.44	**489**	584.90	24.20
40	52.57	27.10	**190**	234.63	24.54	**340**	409.37	27.44	**490**	585.64	24.11
41	53.92	26.95	**191**	235.96	24.84	**341**	410.75	27.36	**491**	586.37	24.04
42	55.36	26.74	**192**	236.74	25.00	**342**	412.30	27.19	**492**	587.25	23.98
43	56.05	26.63	**193**	237.52	25.16	**343**	414.02	26.91	**493**	588.21	23.97
44	56.68	26.53	**194**	238.37	25.29	**344**	415.93	26.56	**494**	589.28	24.03
45	57.31	26.42	**195**	239.31	25.41	**345**	416.59	26.43	**495**	590.63	24.26
46	58.07	26.30	**196**	240.32	25.49	**346**	417.26	26.31	**496**	592.26	24.68
47	58.91	26.20	**197**	241.41	25.52	**347**	418.00	26.17	**497**	594.87	25.46
48	59.85	26.11	**198**	242.55	25.51	**348**	418.83	26.05	**498**	595.81	25.73
49	60.89	26.09	**199**	243.77	25.45	**349**	419.73	25.94	**499**	596.62	25.95
50	62.00	26.16	**200**	245.19	25.32	**350**	420.72	25.88	**500**	597.43	26.15
51	63.19	26.37	**201**	246.89	25.11	**351**	421.76	25.91	**501**	598.27	26.33
52	64.53	26.71	**202**	249.44	24.81	**352**	422.85	26.03	**502**	599.17	26.49
53	66.55	27.36	**203**	250.29	24.72	**353**	424.03	26.27	**503**	600.14	26.61
54	69.58	28.09	**204**	251.09	24.65	**354**	425.68	26.73	**504**	601.17	26.69
55	70.59	28.28	**205**	251.88	24.61	**355**	428.13	27.40	**505**	602.24	26.73
56	71.47	28.41	**206**	252.81	24.62	**356**	428.95	27.61	**506**	603.37	26.71
57	72.35	28.50	**207**	254.24	24.78	**357**	429.68	27.78	**507**	604.65	26.64
58	73.43	28.54	**208**	255.88	25.17	**358**	430.41	27.92	**508**	606.24	26.46
59	74.69	28.50	**209**	256.74	25.41	**359**	431.35	28.05	**509**	608.61	26.11
60	76.10	28.36	**210**	257.60	25.67	**360**	432.42	28.13	**510**	609.40	25.99
61	77.63	28.12	**211**	258.51	25.97	**361**	433.63	28.14	**511**	610.18	25.89
62	79.29	27.79	**212**	259.36	26.23	**362**	434.98	28.07	**512**	610.97	25.80
63	80.49	27.53	**213**	260.20	26.45	**363**	436.47	27.92	**513**	611.92	25.73
64	81.16	27.39	**214**	261.03	26.63	**364**	438.12	27.68	**514**	612.98	25.72
65	81.83	27.25	**215**	261.96	26.78	**365**	440.02	27.33	**515**	614.02	25.78
66	82.62	27.11	**216**	263.02	26.88	**366**	440.80	27.18	**516**	615.06	25.91
67	83.47	26.98	**217**	264.22	26.90	**367**	441.50	27.05	**517**	616.26	26.15
68	84.41	26.88	**218**	265.59	26.82	**368**	442.19	26.92	**518**	618.43	26.75
69	85.41	26.85	**219**	267.32	26.58	**369**	442.96	26.79	**519**	619.15	26.95
70	86.47	26.91	**220**	269.29	26.17	**370**	443.79	26.68	**520**	619.88	27.15
71	87.61	27.08	**221**	271.02	25.76	**371**	444.70	26.60	**521**	620.67	27.35
72	88.97	27.40	**222**	272.75	25.33	**372**	445.67	26.59	**522**	621.53	27.54
73	90.80	27.91	**223**	273.56	25.14	**373**	446.72	26.67	**523**	622.47	27.71
74	92.89	28.41	**224**	274.26	24.98	**374**	447.86	26.86	**524**	623.54	27.86

75	93.61	28.57	**225**	274.97	24.84	**375**	449.90	27.38	**525**	624.74	27.95
76	94.33	28.70	**226**	275.79	24.72	**376**	450.69	27.60	**526**	625.98	27.99
77	95.24	28.82	**227**	276.68	24.64	**377**	451.41	27.80	**527**	627.27	27.95
78	96.28	28.89	**228**	277.92	24.67	**378**	452.13	27.99	**528**	628.67	27.86
79	97.45	28.90	**229**	279.89	25.04	**379**	452.89	28.17	**529**	630.40	27.67
80	98.79	28.81	**230**	280.83	25.27	**380**	453.70	28.34	**530**	632.62	27.35
81	100.30	28.61	**231**	281.77	25.53	**381**	454.61	28.50	**531**	636.12	26.90
82	101.84	28.32	**232**	282.97	25.88	**382**	455.61	28.62	**532**	637.28	26.78
83	103.44	27.93	**233**	283.78	26.10	**383**	456.71	28.70	**533**	638.45	26.69
84	106.33	27.14	**234**	284.57	26.30	**384**	457.93	28.72	**534**	640.43	26.62
85	108.01	26.68	**235**	285.37	26.48	**385**	459.29	28.67	**535**	641.10	26.61
86	108.86	26.46	**236**	286.24	26.63	**386**	460.82	28.54	**536**	641.76	26.60
87	109.71	26.28	**237**	287.16	26.73	**387**	462.80	28.27	**537**	642.54	26.59
88	110.50	26.14	**238**	288.15	26.79	**388**	465.62	27.78	**538**	643.47	26.58
89	111.29	26.02	**239**	289.24	26.75	**389**	466.70	27.59	**539**	644.60	26.55
90	112.26	25.93	**240**	290.78	26.48	**390**	467.42	27.47	**540**	645.95	26.49
91	113.71	25.88	**241**	292.82	25.88	**391**	468.14	27.35	**541**	647.43	26.39
92	115.17	25.86	**242**	295.25	25.02	**392**	468.96	27.24	**542**	648.99	26.25
93	115.85	25.84	**243**	298.08	24.15	**393**	469.86	27.14	**543**	650.46	26.10
94	116.53	25.82	**244**	299.02	23.89	**394**	470.83	27.09	**544**	651.90	25.92
95	117.37	25.78	**245**	299.83	23.70	**395**	471.88	27.09	**545**	653.34	25.71
96	118.32	25.70	**246**	300.65	23.54	**396**	473.93	27.26	**546**	656.28	25.20
97	119.50	25.54	**247**	301.84	23.39	**397**	474.61	27.32	**547**	660.20	24.50
98	120.89	25.27	**248**	303.23	23.34	**398**	475.27	27.38	**548**	661.51	24.27
99	122.56	24.83	**249**	303.83	23.34	**399**	475.92	27.42	**549**	662.27	24.13
100	124.52	24.22	**250**	304.42	23.35	**400**	476.72	27.44	**550**	663.04	24.00
101	127.03	23.41	**251**	306.21	23.47	**401**	477.59	27.42	**551**	663.92	23.86
102	128.53	22.93	**252**	308.00	23.57	**402**	478.61	27.34	**552**	665.13	23.69
103	129.26	22.71	**253**	308.64	23.59	**403**	479.82	27.19	**553**	666.99	23.47
104	130.00	22.50	**254**	309.29	23.61	**404**	481.22	26.95	**554**	667.65	23.39
105	130.85	22.30	**255**	310.04	23.63	**405**	483.23	26.48	**555**	668.27	23.33
106	131.77	22.13	**256**	310.89	23.62	**406**	486.05	25.66	**556**	668.89	23.26
107	132.78	22.03	**257**	311.82	23.60	**407**	488.73	24.86	**557**	669.65	23.19
108	133.89	22.04	**258**	312.86	23.56	**408**	489.71	24.57	**558**	670.53	23.10
109	135.10	22.22	**259**	313.97	23.49	**409**	490.44	24.38	**559**	671.57	23.00
110	136.46	22.56	**260**	315.16	23.38	**410**	491.17	24.20	**560**	672.74	22.87
111	139.17	23.45	**261**	316.47	23.24	**411**	491.99	24.03	**561**	674.08	22.72
112	140.07	23.74	**262**	318.21	23.02	**412**	492.87	23.90	**562**	675.57	22.54
113	140.83	23.99	**263**	320.84	22.71	**413**	493.84	23.84	**563**	677.32	22.30
114	141.59	24.21	**264**	321.72	22.61	**414**	494.88	23.87	**564**	679.72	21.97
115	142.41	24.43	**265**	322.48	22.55	**415**	496.02	24.00	**565**	680.52	21.86

116	143.30	24.62	**266**	323.24	22.51	**416**	498.38	24.48	**566**	681.28	21.76
117	144.25	24.79	**267**	324.14	22.50	**417**	499.17	24.65	**567**	682.04	21.68
118	145.27	24.91	**268**	325.14	22.56	**418**	499.86	24.79	**568**	682.94	21.60
119	146.37	24.98	**269**	326.96	22.88	**419**	500.54	24.91	**569**	683.93	21.56
120	147.56	25.00	**270**	328.05	23.14	**420**	501.34	25.03	**570**	685.01	21.57
121	148.84	24.94	**271**	329.14	23.43	**421**	502.21	25.12	**571**	686.18	21.65
122	150.23	24.81	**272**	330.25	23.75	**422**	503.21	25.18	**572**	687.43	21.83
123	151.89	24.59	**273**	331.30	24.05	**423**	504.32	25.19	**573**	688.89	22.13
124	153.05	24.41	**274**	332.21	24.30	**424**	505.59	25.14	**574**	691.04	22.65
125	153.76	24.30	**275**	333.10	24.52	**425**	507.16	24.99	**575**	692.75	23.03
126	154.45	24.20	**276**	333.99	24.71	**426**	509.01	24.73	**576**	693.43	23.18
127	155.14	24.12	**277**	334.95	24.87	**427**	511.24	24.34	**577**	694.12	23.31
128	155.96	24.04	**278**	335.96	25.00	**428**	512.80	24.05	**578**	694.97	23.45
129	156.86	24.01	**279**	337.04	25.09	**429**	513.52	23.92	**579**	695.91	23.57
130	157.89	24.07	**280**	338.20	25.13	**430**	514.24	23.80	**580**	696.95	23.67
131	159.05	24.25	**281**	339.44	25.12	**431**	515.04	23.68	**581**	698.08	23.74
132	160.35	24.56	**282**	340.80	25.05	**432**	515.90	23.59	**582**	699.30	23.78
133	162.70	25.25	**283**	342.30	24.93	**433**	516.85	23.53	**583**	700.65	23.77
134	163.48	25.47	**284**	344.28	24.72	**434**	517.91	23.53	**584**	702.29	23.69
135	164.22	25.68	**285**	344.99	24.64	**435**	519.09	23.63	**585**	704.52	23.51
136	164.97	25.86	**286**	345.69	24.57	**436**	520.43	23.83	**586**	705.26	23.44
137	165.78	26.03	**287**	346.39	24.51	**437**	522.59	24.28	**587**	705.92	23.39
138	166.67	26.18	**288**	347.17	24.46	**438**	523.31	24.43	**588**	706.58	23.34
139	167.64	26.29	**289**	348.02	24.45	**439**	524.02	24.58	**589**	707.34	23.31
140	168.69	26.36	**290**	348.97	24.49	**440**	524.73	24.73	**590**	708.18	23.30
141	169.83	26.36	**291**	350.45	24.68	**441**	525.56	24.89	**591**	709.11	23.33
142	171.09	26.28	**292**	352.63	25.20	**442**	526.49	25.03	**592**	710.17	23.46
143	172.45	26.12	**293**	354.04	25.60	**443**	527.52	25.12	**593**	711.34	23.71
144	174.03	25.85	**294**	355.28	25.95	**444**	528.66	25.15	**594**	712.67	24.11
145	175.81	25.48	**295**	356.05	26.16	**445**	530.05	25.06	**595**	714.37	24.72
146	176.57	25.31	**296**	356.81	26.36	**446**	532.00	24.77	**596**	717.15	25.60
147	177.27	25.15	**297**	357.66	26.54	**447**	534.61	24.18	**597**	718.08	25.87
148	177.97	25.00	**298**	358.61	26.70	**448**	538.08	23.32	**598**	718.95	26.11
149	178.77	24.85	**299**	359.70	26.80	**449**	539.24	23.03	**599**	719.47	26.25
150	179.64	24.70	**300**	360.93	26.83	**450**	540.03	22.85	**600**	720.00	26.37

7.3 Apéndice C. Código en ANSYS.

A continuación se presenta el código realizado en ANSYS que se utilizó para la modelación de la vivienda.

```
/NOPR
/PMETH,OFF,0
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_THERM,1
/GO

*create,DATOS INICIALES

/PREP7

S=1
N=0

*ASK,GEOM,CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LA VIVIENDA (ENTER),1

multipro,'start',6
 *CSET,1,3,LV,'LONGITUD TOTAL EXT. VIVIENDA (M)',8
 *CSET,4,6,AV,'ANCHO TOTAL EXTERIOR VIVIENDA(M)',10
 *CSET,7,9,HLV,'ALTURA INTERIOR VIVIENDA (M)',2.6
 *CSET,10,12,ESMURO,'ESPESOR TOTAL DEL MURO (M)',0.20
 *CSET,13,15,ESTECH,'ESPESOR TOTAL DEL TECHO (M)',0.20
 *CSET,16,18,ESCIM,'ESPESOR TOTAL CIMENTACION (M)',0.20
 *CSET,61,62,'"INDIQUE LAS DIMENSIONES',' EN METROS"'
MULTIPRO,'END'

*ASK,TIPOMUR,INDIQUE CAPAS COMPONENTES MURO EXTERIOR (ENTER),1

multipro,'start',7
 *CSET,1,3,MUR1,'TABIQUE ROJO RECOCIDO',N
 *CSET,4,6,MUR2,'BLOCK LIGERO DE CONCRETO',S
 *CSET,7,9,MUR3,'BLOCK HUECO DE CONCRETO',N
 *CSET,10,12,MUR4,'APLANADO CEM-AREN EXTERIOR',S
 *CSET,13,15,MUR5,'CAPA INTERIOR DE YESO',S
 *CSET,16,18,MUR6,'CAPA DE 1 PULG POLIESTIRENO',N
 *CSET,19,21,MUR7,'CAPA DE 1 PULG LANA DE VIDRIO',N
 *CSET,61,62,'CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS',' DE LA VIVIENDA'
 *CSET,63,64,'"INDIQUE LAS COMPONENTES MURO',' EXTERIOR"   NO = 0   SI = 1'
MULTIPRO,'END'

/COM,ANALISIS DE LA CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DEL MURO
count1m=0
*if,mur1,eq,1,then
count1m=count1m+(0.14/749.96)
*else
*endif

*if,mur2,eq,1,then
count1m=count1m+(0.14/602.04)
*else
*endif

*if,mur3,eq,1,then
count1m=count1m+(0.14/421.42)
*else
*endif

*if,mur4,eq,1,then
count1m=count1m+(0.02/749.96)
*else
*endif
```

```
*if,mur5,eq,1,then
count1m=count1m+(0.02/319.94)
*else
*endif

*if,mur6,eq,1,then
count1m=count1m+(0.0254/28.38)
*else
*endif

*if,mur7,eq,1,then
count1m=count1m+(0.0254/32.68)
*else
*endif

condmur=(1/count1m)*ESMURO
/COM,ESTA SERA LA CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE FINAL DEL MURO

/COM,ANALISIS DE LA DENSIDAD EQUIVALENTE DEL MURO
/COM,Y DE SU CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE

count2m=0
COUNT3M=0

*if,mur1,eq,1,then
count2m=count2m+(0.14*2e+06)
COUNT3M=COUNT3M+0.318*(0.14*2e+06)
*else
*endif

*if,mur2,eq,1,then
count2m=count2m+(0.14*1.2e+06)
COUNT3M=COUNT3M+0.239*(0.14*1.2e+06)
*else
*endif

*if,mur3,eq,1,then
count2m=count2m+(0.14*1.2e+06)
COUNT3M=COUNT3M+0.251*(0.14*1.2e+06)
*else
*endif

*if,mur4,eq,1,then
count2m=count2m+(0.02*1.9e+06)
COUNT3M=COUNT3M+0.201*(0.02*1.9e+06)
*else
*endif

*if,mur5,eq,1,then
count2m=count2m+(0.02*8e+05)
COUNT3M=COUNT3M+0.22*(0.02*8e+05)
*else
*endif

*if,mur6,eq,1,then
count2m=count2m+(0.0254*3e+04)
COUNT3M=COUNT3M+0.29*(0.0254*3e+04)
*else
*endif

*if,mur7,eq,1,then
count2m=count2m+(0.0254*2.4e+04)
COUNT3M=COUNT3M+0.2*(0.0254*2.4e+04)
*else
*endif

denmur=count2m/esmuro
CALEMUR=COUNT3M/COUNT2M
*ASK,TIPOMURI,INDIQUE CAPAS COMPONENTES MURO INTERIOR (ENTER),1
```

```
multipro,'start',8
 *CSET,1,3,MURI1,'TABIQUE ROJO RECOCIDO',N
 *CSET,4,6,MURI2,'BLOCK LIGERO DE CONCRETO',S
 *CSET,7,9,MURI3,'BLOCK HUECO DE CONCRETO',N
 *CSET,10,12,MURI4,'APLANADO CEM-AREN EXTERIOR',N
 *CSET,13,15,MURI5,'CAPA INTERIOR DE YESO',S
 *CSET,16,18,MURI6,'CAPA EXTERIOR DE YESO',S
 *CSET,19,21,MURI7,'CAPA DE 1 PULG POLIESTIRENO',N
 *CSET,22,24,MURI8,'CAPA DE 1 PULG LANA DE VIDRIO',N
 *CSET,61,62,'TIPO DE MURO INTERIOR',' EN LA VIVIENDA'
 *CSET,63,64,'"INDIQUE LAS COMPONENTES DEL',' MURO INTERIOR"'
MULTIPRO,'END'

/COM,ANALISIS DE LA CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DEL MURO INTERIOR
count1mI=0
*if,murI1,eq,1,then
count1mI=count1mI+(0.14/749.96)
*else
*endif

*if,murI2,eq,1,then
count1mI=count1mI+(0.14/602.04)
*else
*endif

*if,murI3,eq,1,then
count1mI=count1mI+(0.14/421.42)
*else
*endif

*if,murI4,eq,1,then
count1mI=count1mI+(0.02/749.96)
*else
*endif

*if,murI5,eq,1,then
count1mI=count1mI+(0.02/319.94)
*else
*endif

*if,murI6,eq,1,then
count1mI=count1mI+(0.02/319.94)
*else
*endif

*if,murI7,eq,1,then
count1mI=count1mI+(0.0254/28.38)
*else
*endif

*if,murI8,eq,1,then
count1mI=count1mI+(0.0254/32.68)
*else
*endif

condmurI=(1/count1mI)*ESMURO
/COM,ESTA SERA LA CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE FINAL DEL MURO INTERIOR

/COM,ANALISIS DE LA DENSIDAD EQUIVALENTE DEL MURO INTERIOR
/COM,Y DE SU CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE

count2mI=0
COUNT3MI=0

*if,murI1,eq,1,then
count2mI=count2mI+(0.14*2e+06)
COUNT3MI=COUNT3MI+0.318*(0.14*2e+06)
*else
*endif
```

```
*if,murI2,eq,1,then
count2mI=count2mI+(0.14*1.2e+06)
COUNT3MI=COUNT3MI+0.239*(0.14*1.2e+06)
*else
*endif

*if,murI3,eq,1,then
count2mI=count2mI+(0.14*1.2e+06)
COUNT3MI=COUNT3MI+0.251*(0.14*1.2e+06)
*else
*endif

*if,murI4,eq,1,then
count2mI=count2mI+(0.02*1.9e+06)
COUNT3MI=COUNT3MI+0.201*(0.02*1.9e+06)
*else
*endif

*if,murI5,eq,1,then
count2mI=count2mI+(0.02*8e+05)
COUNT3MI=COUNT3MI+0.22*(0.02*8e+05)
*else
*endif

*if,murI6,eq,1,then
count2mI=count2mI+(0.02*8e+05)
COUNT3MI=COUNT3MI+0.22*(0.02*8e+05)
*else
*endif

*if,murI7,eq,1,then
count2mI=count2mI+(0.0254*3e+04)
COUNT3MI=COUNT3MI+0.29*(0.0254*3e+04)
*else
*endif

*if,murI8,eq,1,then
count2mI=count2mI+(0.0254*2.4e+04)
COUNT3MI=COUNT3MI+0.2*(0.0254*2.4e+04)
*else
*endif

denmurI=count2mI/esmuro
CALEMURI=COUNT3MI/COUNT2MI

/COM,ESTE ANALISIS SE REPETIRA PARA LAS OTRAS ENVOLVENTES******************

*ASK,TIPOCIM,INDIQUE TIPO DE CAPAS COMPONENTES DE LA CIM. (ENTER),1

multipro,'start',4
 *CSET,1,3,CIM1,'LOSA DE CONCRETO REFORZADO',S
 *CSET,4,6,CIM2,'CAPA DE PEGAZULEJO',S
 *CSET,7,9,CIM3,'LOSETA DE CERAMICA',S
 *CSET,10,12,CIM4,'LOSETA DE VINIL',N
 *CSET,61,62,'TIPO DE CIMENTACION',' EN LA VIVIENDA'
 *CSET,63,64,"'INDIQUE LAS COMPONENTES DE',' LA CIMENTACION"'
MULTIPRO,'END'

/COM,ANALISIS DE LA CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DE LA CIMENTACION
count1C=0
*if,cim1,eq,1,then
count1c=count1c+(0.10/1720.10)
*else
*endif

*if,cim2,eq,1,then
count1c=count1c+(0.006/146.21)
*else
*endif
```

```
*if,cim3,eq,1,then
count1c=count1c+(0.006/1118.07)
*else
*endif

*if,cim4,eq,1,then
count1c=count1c+(0.006/146.14)
*else
*endif

condcim=(1/count1c)*ESCIM

/COM,ESTA SERA LA CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE FINAL DE LA CIMENTACION

/COM,ANALISIS DE LA DENSIDAD EQUIVALENTE DE LA CIMENTACION
/COM,Y DE SU CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE

count2c=0
COUNT3c=0

*if,cim1,eq,1,then
count2c=count2c+(0.10*2.4e+06)
COUNT3c=COUNT3c+0.239*(0.10*2.4e+06)
*else
*endif

*if,cim2,eq,1,then
count2c=count2c+(0.006*1.8e+06)
COUNT3c=COUNT3c+0.2*(0.006*1.8e+06)
*else
*endif

*if,cim3,eq,1,then
count2c=count2c+(0.006*2.3e+06)
COUNT3c=COUNT3c+0.22*(0.006*2.3e+06)
*else
*endif

*if,cim4,eq,1,then
count2c=count2c+(0.006*1.1e+06)
COUNT3c=COUNT3c+0.22*(0.006*1.1e+06)
*else
*endif

dencim=count2c/escim
CALEcim=COUNT3c/COUNT2c
/COM,ESTE ANALISIS SE REPETIRA PARA LAS OTRAS ENVOLVENTES*****************

*ASK,TIPOTECH,INDIQUE TIPO DE CAPAS COMPONENTES DEL TECHO (ENTER),1

multipro,'start',9
 *CSET,1,3,TECH1,'LOSA MACIZA DE CONCRETO',S
 *cset,4,6,TECH2,'CAPA DE COMPRESION DE CONCRETO',N
 *CSET,7,9,TECH3,'VIGUETA DE CONCRETO',N
 *CSET,10,12,TECH4,'BOVEDILLA CEMENTO/ARENA',N
 *CSET,13,15,TECH5,'BOVEDILLA DE POLIESTIRENO',N
 *CSET,16,18,TECH6,'CAPA DE IMPERMEABILIZANTE',S
 *CSET,19,21,TECH7,'MORTERO CEMENTO/ARENA 4 CM.',S
 *CSET,22,24,TECH8,'CAPA DE ARENILLA SECA 8 CM.',S
 *CSET,25,27,TECH9,'CAPA INTERIOR DE YESO',S
 *CSET,61,62,'TIPO DE TECHO',' EN LA VIVIENDA'
 *CSET,63,64,'"INDIQUE LAS COMPONENTES',' DEL TECHO"'
MULTIPRO,'END'

/COM,ANALISIS DE LA CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DEL TECHO
count1t=0
*if,tech1,eq,1,then
count1t=count1t+(0.10/1720.10)
*else
*endif
```

```
*if,tech2,eq,1,then
count1t=count1t+(0.04/1720.10)
*else
*endif

/com,Nota:Se aplicaran coeficientes de participacion para las viguetas
/com,y bovedillas ya sean de concreto hueco o bien de poliestireno

*if,tech3,eq,1,then
count1t=count1t+(0.16/1720.10)*0.133
*else
*endif

*if,tech4,eq,1,then
count1t=count1t+(0.16/1290.08)*0.867
*else
*endif

*if,tech5,eq,1,then
count1t=count1t+(0.16/28.38)*0.867
*else
*endif

*if,tech6,eq,1,then
count1t=count1t+(0.006/149.65)
*else
*endif

*if,tech7,eq,1,then
count1t=count1t+(0.04/1118.07)
*else
*endif

*if,tech8,eq,1,then
count1t=count1t+(0.08/350.04)
*else
*endif

*if,tech9,eq,1,then
count1t=count1t+(0.02/319.94)
*else
*endif

condtech=(1/count1t)*EStech
/COM,ESTA SERA LA CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE FINAL DEL TECHO

/COM,ANALISIS DE LA DENSIDAD EQUIVALENTE DEL TECHO
/COM,Y DE SU CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE

count2t=0
COUNT3t=0

*if,tech1,eq,1,then
count2t=count2t+(0.10*2.4e+06)
COUNT3t=COUNT3t+0.239*(0.10*2.4e+06)
*else
*endif

*if,tech2,eq,1,then
count2t=count2t+(0.04*2.4e+06)
COUNT3t=COUNT3t+0.239*(0.04*2.4e+06)
*else
*endif

*if,tech3,eq,1,then
count2t=count2t+(0.16*2.4e+06)*0.133
COUNT3t=COUNT3t+0.239*(0.16*2.4e+06)
*else
*endif
```

```
*if,tech4,eq,1,then
count2t=count2t+(0.16*1.04e+06)*0.867
COUNT3t=COUNT3t+0.215*(0.16*1.04e+06)
*else
*endif

*if,tech5,eq,1,then
count2t=count2t+(0.16*3e+04)*0.867
COUNT3t=COUNT3t+0.29*(0.16*3e+04)
*else
*endif

*if,tech6,eq,1,then
count2t=count2t+(0.006*1.1e+06)
COUNT3t=COUNT3t+0.22*(0.006*1.1e+06)
*else
*endif

*if,tech7,eq,1,then
count2t=count2t+(0.04*2.1e+06)
COUNT3t=COUNT3t+0.251*(0.04*2.1e+06)
*else
*endif

*if,tech8,eq,1,then
count2t=count2t+(0.08*1.7e+06)
COUNT3t=COUNT3t+0.19*(0.08*1.7e+06)
*else
*endif

*if,tech9,eq,1,then
count2t=count2t+(0.02*8e+05)
COUNT3t=COUNT3t+0.22*(0.02*8e+05)
*else
*endif

dentech=count2t/estech
CALEtech=COUNT3t/COUNT2t

/COM,LOS PARAMETROS CONDMUR, DENMUR Y CALEMUR CONTIENEN LA CONDUCTIVIDAD
/COM,DENSIDAD Y CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE DE MURO

/COM,LOS PARAMETROS CONDCIM, DENCIM Y CALECIM CONTIENEN LA CONDUCTIVIDAD
/COM,DENSIDAD Y CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE DE CIMENTACION

/COM,LOS PARAMETROS CONDTECH, DENTECH Y CALETECH CONTIENEN LA CONDUCTIVIDAD
/COM,DENSIDAD Y CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE DE TECHO

/COM,LOS DATOS DEL AIRE PARA EL VOLUMEN INTERIOR SE CONSIDERAN POR DEFAULT
/COM,PARA EL ANALISIS DE VENTANAS Y PUERTAS EN ENVOLVENTES SOLICITAREMOS
/COM,LOS DATOS DEL CASO. COMUNMENTE LAS VENTANAS SON DE 3 MM Y LAS PUERTAS
/COM,DE MADERA DE 4 CM, SIN EMBARGO PUDIESEN EN TERMINOS GENERALES SER
/COM,DISTINTOS ASI QUE IMPLEMENTAREMOS LA SOLICITUD DE DATOS, AL IGUAL
/COM,QUE LOS DATOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO PARA LA EVALUACION DEL
/COM,COEFICIENTE DE CONVECCION Y LA TEMPERATURA INICIAL DEL SUELO DEBAJO
/COM,DE LA CIMENTACION.

*ASK,TIPOVP,INDIQUE DATOS DE VENTANAS PUERTAS Y OTROS (ENTER),1

multipro,'start',5
 *CSET,1,3,VENTN,'VENTANA UNA CAPA DE VIDRIO',S
 *CSET,4,6,PFSOLID,'PUERTA FACHADA DE MADERA SOLIDA',S
 *CSET,7,9,PFPERFIL,'PUERTA FACHADA PERFIL METALICO',N
 *CSET,10,12,PTSOLID,'PUERTA TRASERA DE MADERA SOLIDA',N
 *CSET,13,15,PTPERFIL,'PUERTA TRASERA PERFIL METALICO',S
 *CSET,61,62,'TIPO DE VENTANAS',' Y PUERTAS EN LA VIVIENDA'
MULTIPRO,'END'

*IF,VENTN,EQ,1,THEN
*ASK,ESPVID,'ESPESOR DEL VIDRIO SENCILLO (M)',0.003
```

```
CONDVE=799.85
DENVE=2.2E+06
CALEVE=0.2
*ELSE
*ENDIF

*IF,PFSOLID,EQ,1,THEN
*ASK,ESPPF,'ESPESOR DE PUERTA DE MADERA EN FACHADA (M)',0.04
CONDPUF=111.81
DENPUF=8.4E+05
CALEPUF=0.33
*ELSE
*ENDIF

*IF,PFPERFIL,EQ,1,THEN
*ASK,ESPPF,'ESPESOR DE PUERTA METALICA EN FACHADA (M)',0.005
CONDPUF=42984
DENPUF=7.85E+06
CALEPUF=0.11
*ELSE
*ENDIF

*IF,PTSOLID,EQ,1,THEN
*ASK,ESPPT,'ESPESOR DE PUERTA DE MADERA TRASERA (M)',0.04
CONDPUT=111.81
DENPUT=8.4E+05
CALEPUT=0.33
*ELSE
*ENDIF

*IF,PTPERFIL,EQ,1,THEN
*ASK,ESPPT,'ESPESOR DE PUERTA METALICA TRASERA (M)',0.005
CONDPUT=42984
DENPUT=7.85E+06
CALEPUT=0.11
*ELSE
*ENDIF

/COM,DATOS POR DEFAULT DEL AIRE **************

CONDAIR=21.50
DENAIR=1.23E+03
CALEAIR=0.239

/COM,****************************************

/COM,VALORES MODIFICADOS DE PROPIEDADES PARA VENTANAS Y PUERTAS

CONDVEN=CONDVE*(ESMURO/ESPVID)
DENVEN=DENVE*(ESPVID/ESMURO)
CALEVEN=CALEVE

CONDPUFE=CONDPUF*(ESMURO/ESPPF)
DENPUFE=DENPUF*(ESPPF/ESMURO)
CALEPUFE=CALEPUF

CONDPUTE=CONDPUT*(ESMURO/ESPPT)
DENPUTE=DENPUT*(ESPPT/ESMURO)
CALEPUTE=CALEPUT

*END

*CREATE,GEOMETRIA VIVIENDA

/com,Primero se genera la geometria de la vivienda por partes
/com,se incia con los castillos y dalas de todo el conjunto.
/com,Consideraremos las envolventes generales de la vivienda
/com,no se consideran los muros internos divisorios de la vivienda
/com,geometria de castillos
/COM,La altura total de la vivienda debe ser igual a: suma del espesor
```

```
/COM,de la cimentacion mas la altura interior de la vivienda
/com,mas el espesor total del techo.

ALTTV=ESCIM+HLV+ESTECH

BLOCK,0,ESMURO,0,ALTTV,0,ESMURO

BLOCK,AV-ESMURO,AV,0,ALTTV,0,ESMURO

BLOCK,0,ESMURO,0,ALTTV,LV-ESMURO,LV

BLOCK,AV-ESMURO,AV,0,ALTTV,LV-ESMURO,LV

/com,geometria de dalas superiores

BLOCK,0,AV,ALTTV-ESTECH,ALTTV,0,ESMURO

BLOCK,0,AV,ALTTV-ESTECH,ALTTV,LV-ESMURO,LV

BLOCK,0,ESMURO,ALTTV-ESTECH,ALTTV,0,LV

BLOCK,AV-ESMURO,AV,ALTTV-ESTECH,ALTTV,0,LV

/com,geometria de dalas inferiores

BLOCK,0,AV,0,ESCIM,0,ESMURO

BLOCK,0,AV,0,ESCIM,LV-ESMURO,LV

BLOCK,0,ESMURO,0,ESCIM,0,LV

BLOCK,AV-ESMURO,AV,0,ESCIM,0,LV

/com,se fusionan las entidades

VOVLAP,all

/com,se construyen ahora los muros laterales de la vivienda

BLOCK,ESMURO,AV-ESMURO,ESCIM,ALTTV-ESTECH,0,ESMURO

BLOCK,ESMURO,AV-ESMURO,ESCIM,ALTTV-ESTECH,LV-ESMURO,LV

BLOCK,0,ESMURO,ESCIM,ALTTV-ESTECH,ESMURO,LV-ESMURO

BLOCK,AV-ESMURO,AV,ESCIM,ALTTV-ESTECH,ESMURO,LV-ESMURO

/com,se construye ahora el techo y el piso de la vivienda

BLOCK,ESMURO,AV-ESMURO,ALTTV-ESTECH,ALTTV,ESMURO,LV-ESMURO

BLOCK,ESMURO,AV-ESMURO,0,ESCIM,ESMURO,LV-ESMURO

/com,los siguientes comandos son para fusionar los puntos repetidos
/com,y que correspondan al mismo lugar. El otro comando es para
/com,reagrupar la numeracion de los puntos

nummrg,kp
numcmp,kp
/com,se genera ahora el volumen interior de la vivienda

block,ESMURO,AV-ESMURO,ESCIM,ALTTV-ESTECH,ESMURO,LV-ESMURO

/com,igual, se procede a fusionar puntos y agrupar la numeracion

nummrg,kp
numcmp,kp

/com,el siguiente comando es para fusionar (pegar) todos los volumenes
```

```
VGLUE,all

/com,hasta aqui la geometria general incluido el interior
/com,faltan especificar los huecos tanto libres como cubiertos
/com,es decir ventanas, puertas, etc.

SAVE,GEOMETRIA_VIVIENDA

*END

/COM,PARA INCLUIR LOS MUROS INTERNOS ASI COMO LAS VENTANAS Y PUERTAS
/COM,SE PROCEDERA A HACERLO EN FORMA MANUAL MODIFICANDO LAS PROPIEDADES
/COM,DEL MATERIAL DE LOS VOLUMENES YA MALLADOS.

/COM,LOS PARAMETROS CONDMUR, DENMUR Y CALEMUR CONTIENEN LA CONDUCTIVIDAD
/COM,DENSIDAD Y CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE DE MURO

/COM,LOS PARAMETROS CONDMURI, DENMURI Y CALEMURI CONTIENEN LA CONDUCTIVIDAD
/COM,DENSIDAD Y CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE DE MURO

/COM,LOS PARAMETROS CONDCIM, DENCIM Y CALECIM CONTIENEN LA CONDUCTIVIDAD
/COM,DENSIDAD Y CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE DE CIMENTACION

/COM,LOS PARAMETROS CONDTECH, DENTECH Y CALETECH CONTIENEN LA CONDUCTIVIDAD
/COM,DENSIDAD Y CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE DE TECHO

/COM,LOS PARAMETROS CONDAIR, DENAIR Y CALEAIR CONTIENEN LA CONDUCTIVIDAD
/COM,DENSIDAD Y CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE DEL AIRE

/COM,LOS PARAMETROS CONDVEN,DENVEN,Y CALEVEN CONTIENEN LA CONDUCTIVIDAD
/COM,DENSIDAD Y CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE DE VENTANAS

/COM,LOS PARAMETROS CONDPUFE,DENPUFE Y CALEPUFE CONTIENEN LA CONDUCTIVIDAD
/COM,DENSIDAD Y CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE DE LA PUERTA FACHADA

/COM,LOS PARAMETROS CONDPUTE, DENPUTE Y CALEPUTE CONTIENEN LA CONDUCTIVIDAD
/COM,DENSIDAD Y CALOR ESPECIFICO EQUIVALENTE DE LA PUERTA TRASERA

*CREATE,MALLADO MUROS

ET,1,SOLID70

/COM,INDICADORES DE LOS DISTINTOS MATERIALES

/COM,MUROS EXT:1   CIMENTACION:2   TECHO:3    AIRE:4   VENTANAS:5
/COM,PUERTA FACHADA:6    PUERTA TRASERA:7   MUROS INTERIORES:8

MP,KXX,1,CONDMUR
MP,DENS,1,DENMUR
MP,C,1,CALEMUR

MP,KXX,2,CONDCIM
MP,DENS,2,DENCIM
MP,C,2,CALECIM

MP,KXX,3,CONDTECH
MP,DENS,3,DENTECH
MP,C,3,CALETECH

MP,KXX,4,CONDAIR
MP,DENS,4,DENAIR
MP,C,4,CALEAIR

MP,KXX,5,CONDVEN
MP,DENS,5,DENVEN
MP,C,5,CALEVEN

MP,KXX,6,CONDPUFE
MP,DENS,6,DENPUFE
MP,C,6,CALEPUFE
```

```
MP,KXX,7,CONDPUTE
MP,DENS,7,DENPUTE
MP,C,7,CALEPUTE

MP,KXX,8,CONDMURI
MP,DENS,8,DENMURI
MP,C,8,CALEMURI

/COM,CUANDO SE REQUIERAN LOS COEF. DE CONVECCION YA SE HA EVALUADO ANTES
/COM,Y DEPENDEN DE LA VELOCIDAD EXTERIOR DEL VIENTO, DATO TAMBIEN YA
/COM,SOLICITADO. PARAMETRO: VELVE (M/SEG) POR LO QUE TAMBIEN SE HA YA
/COM,APLICADO UN FACTOR DE CONVERSION PARA LA CONGRUENCIA DE UNIDADES
/COM,POR TANTO LOS PARAMETROS FINALES DE CONVECCION SON COMO SE INDICAN:

/COM,MURO EXTERIOR: CONVMUE=(5.8+4.1*VELVE)*860 EN (cal/hr*m2*K)
/COM,MURO INTERIOR: CONVMUI=CONVMUE/3  EN (cal/hr*m2*K)
/COM,TECHO EXTERIOR: CONVTEE=convmue  EN (cal/hr*m2*K)
/COM,TECHO INTERIOR: CONVTEI=convmui

/COM,ASIMISMO LA TEMPERATURA AL INTERIOR DEL SUELO (DEBAJO DE LA LOSA)
/COM,ES UN DATO QUE SE HA YA SOLICITADO. PARAMETRO: TEMSUE

/COM,POR TANTO SE TIENEN TODOS LOS DATOS PARA PODER AHORA PROCEDER A MALLAR

/com,mallado muros
ESIZE,ESMURO
MAT,1
vmesh,1,4,1

/com,mallado de CASTILLOS
ESIZE,ESMURO
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
MAT,2
vmesh,25
vmesh,26
vmesh,31
vmesh,32

*GET,NELEM1,ELEM,0,COUNT

*ASK,SELEC,'SELECCIONE CON EL MOUSE LAS VENTANAS FACHADA (ENTER)',1
/COM,DEBERA APLICARSE: SELECT-ENTITIES-ELEMENT-BY NUM PICK-FROM FULL-OK-BOX
*ASK,SELEC,'AL TERMINAR APLICAR: *USE,VENTANAS TRASERAS (ENTER)',1

*END

*CREATE,VENTANAS TRASERAS

EMODIF,I,MAT,5

ESEL,ALL

*ASK,SELEC,'SELECCIONE LAS VENTANAS TRASERAS Y/O LATERALES (ENTER)',1
/COM,DEBERA APLICARSE: SELECT-ENTITIES-ELEMENT-BY NUM PICK-FROM FULL-OK-BOX
*ASK,SELEC,'AL TERMINAR APLICAR: *USE,PUERTA FACHADA',1

*END

*CREATE,PUERTA FACHADA

EMODIF,I,MAT,5

ESEL,ALL

*ASK,SELEC,'SELECCIONE CON EL MOUSE LA PUERTA FACHADA (ENTER)',1
/COM,DEBERA APLICARSE: SELECT-ENTITIES-ELEMENT-BY NUM PICK-FROM FULL-OK-BOX

*ASK,SELEC,'AL TERMINAR APLICAR: *USE,PUERTA TRASERA',1
```

```
*END

*CREATE,PUERTA TRASERA

EMODIF,I,MAT,6

ESEL,ALL

*ASK,SELEC,'SELECCIONE CON EL MOUSE LA PUERTA TRASERA (ENTER)',1
/COM,DEBERA APLICARSE: SELECT-ENTITIES-ELEMENT-BY NUM PICK-FROM FULL-OK-BOX

*ASK,SELEC,'AL TERMINAR APLICAR: *USE,VOLUMEN INTERNO',1

*END

*CREATE,VOLUMEN INTERNO

EMODIF,I,MAT,7

ESEL,ALL

/com,mallado trabes y esquinas techo
ESIZE,ESTECH
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
MAT,2
vmesh,27,30,1
vmesh,14,20,2

/com,mallado trabes y esquinas cimen
ESIZE,ESCIM
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
MAT,2
vmesh,21,24,1
vmesh,13,19,2

/com,mallado cimentacion
ESIZE,ESCIM
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
MAT,2
vmesh,6

/com,mallado techo
ESIZE,ESTECH
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
MAT,3
vmesh,5

/com,mallado volumen interno
ESIZE,ESMURO
MSHAPE,0,3D
MSHKEY,1
MAT,4
vmesh,7

save,sinmuros_internos
/COM,SELECCIONAMOS EL VOLUMEN INTERNO PARA MALLAR LOS MUROS INTERNOS
ESEL,ALL
ESEL,S,MAT,,4

*ASK,SELEC,'SELECCIONE CON EL MOUSE LOS MUROS INTERNOS (ENTER)',1
/COM,DEBERA APLICARSE: SELECT-ENTITIES-ELEMENT-BY NUM PICK-FROM FULL-OK-BOX

*ASK,SELEC,'AL TERMINAR APLICAR: *USE,MUROS INTERNOS',1

*END
```

```
*CREATE,MUROS INTERNOS

EMODIF,I,MAT,8

ESEL,ALL

SAVE,MALLADO

*END

/com,Una opcion para especificar los coef. de conveccion es aplicando
/com,la relacion de SZokolay, el evalua los coef. de conveccion de la
/com,siguiente manera. Sea he y hi coef. ext e int. he =5.8 + 4.1v ;
/com,hi =he/3. Aqui v es la velocidad del aire. Si consideramos tiempo
/com,de quietud, en donde la velocidad sea muy baja cercana a 2 m/seg
/com,(7.2 km/h) obtendriamos he = 14; hi = 4.66 W/(m^2K), comparando con
/com,el reglamento en México:  he = 13, hi = 8.1 W/(m^2K) si consideramos
/com,este planteamiento de Szokolay sera requerida la velocidad del
/com,aire del exterior.
/com,Por ultimo, un comentario relativo al efecto provocado por la losa
/com,de piso (cimentacion), aqui el unico efecto a considerar sera la
/com,conduccion. No hay conveccion. La manera de involucrar sus efectos
/com,sera a traves de condiciones de frontera, que seria la temperatura
/com,del suelo, por lo tanto sera un dato a solicitar.
/COM,NOTA:LOS COEF. DE CONVECCION SE MULTIPLICARON POR UN FACTOR
/COM,IGUAL A 860, POR TANTO LAS UNIDADES ESTARAN EN:(cal/hr*m2*K)

*CREATE,SOLUCION

FINISH
/SOLU
ANTYPE,4

multipro,'start',4
 *CSET,1,3,TINTE,'TEMPERATURA INTERIOR (°C)',25
 *CSET,4,6,TEMSUE,'TEMPERATURA DEL SUELO (°C)',22
 *CSET,7,9,VELVE,'VELOCIDAD EXT.DEL VIENTO (M/SEG)',2
 *CSET,10,12,TOBSER,'TIEMPO MAX. DE ANALISIS (HR)',720
 *CSET,61,62,'DATOS ADICIONALES PARA EL',' ANALISIS TERMICO DE LA VIVIENDA'
 *CSET,63,64,'"CONDICIONES INICIALES"'
multipro,'END'


CONVMUE=(5.8+4.1*VELVE)*860
CONVMUI=CONVMUE/3
CONVTEE=convmue
CONVTEI=convmui


ESEL,S,MAT,,4
NSLE
NSEL,R,LOC,X,1.5*ESMURO,AV-1.5*ESMURO
NSEL,R,LOC,Z,1.5*ESMURO,LV-1.5*ESMURO
NSEL,R,LOC,Y,1.5*ESCIM,HLV+ESCIM-0.5*ESMURO
IC,ALL,TEMP,TINTE
NSEL,ALL
ESEL,ALL

NSEL,S,LOC,Y,0
IC,ALL,TEMP,TEMSUE
NSEL,ALL

/COM,AREAS EXTERIORES MUROS, PUERTAS Y VENTANAS
/COM,ORDEN:ATRAS,ADELANTE,IZQUIERDA Y DERECHA
ASEL,S,AREA,,1
ASEL,A,AREA,,12
ASEL,A,AREA,,25
ASEL,A,AREA,,32

/com,aplicamos la temperatura exterior en muros
```

```
/com,********INTRODUCIREMOS MEDICIONES EXPERIMENTALES******
/com,temperatura al exterior mediciones durante UN mes

*dim,temex,table,240,1
*TREAD,temex,tpext,txt

SFA,ALL,1,CONV,CONVMUE,%TEMEX%
ASEL,ALL

/COM,AREA EXTERIOR TECHO

/com,aplicamos la temperatura exterior en techo

ASEL,S,AREA,,36
SFA,ALL,1,CONV,CONVTEE,%TEMEX%
ASEL,ALL

SOLCONTROL,ON
OUTRES,,ALL
TIME,TOBSER

/COM,PASO DE TIEMPO Y TIEMPO DE OBSERVACION

AUTOTS,ON
DELTIM,2,1/2,4,ON

OUTPR,BASIC,ALL

SOLVE

FINISH
/POST1
SET,LAST

PLNSOL,TEMP

/COM,PARA REVISAR UNA SECCION TRANSVERSAL SE PROCEDE A SELECCIONAR
/COM,ELEMENTOS IGUAL QUE EN LOS CASOS ANTERIORES

SAVE,RESULTADOS

*END

*CREATE,TEMPERATURAS NODALES

esel,all
FINISH
/POST26
FILE,,rth

*ASK,TEMPNOD,INDIQUE COORDENADAS DEL NODO (ENTER),

multipro,'start',3
 *CSET,1,3,XNODO,'COORDENADA X NODO (M)',2.50
 *CSET,4,6,YNODO,'COORDENADA Y NODO (M)',1.60
 *CSET,7,9,ZNODO,'COORDENADA Z NODO (M)',3.70
 *CSET,61,62,'ANALISIS DE LA TEMPERATURA',' NODAL'
 *CSET,63,64,'"INDIQUE LAS COORDENADAS EN',' METROS DEL NODO A REVISAR"'
MULTIPRO,'END'

NUMNO=NODE(XNODO,YNODO,ZNODO)
NSOL,2,NUMNO,TEMP,,TEMP%NUMNO%
PRVAR,2
/GRID,1
/AXLAB,X,TIEMPO EN HORAS
/AXLAB,Y,TEMPERATURA NODO
/XRANGE,50,1000
/GROPT,DIVX,20
PLVAR,2
```

```
*END

*CREATE,MAS TEMPERATURAS NODALES

RESET
RESUME,RESULTADOS

*ASK,TEMPNOD,INDIQUE COORDENADAS DEL NODO (ENTER),

multipro,'start',3
 *CSET,1,3,XNODO,'COORDENADA X NODO (M)',2.50
 *CSET,4,6,YNODO,'COORDENADA Y NODO (M)',1.60
 *CSET,7,9,ZNODO,'COORDENADA Z NODO (M)',3.70
 *CSET,61,62,'ANALISIS DE LA TEMPERATURA',' NODAL'
 *CSET,63,64,'"INDIQUE LAS COORDENADAS EN',' METROS DEL NODO A REVISAR"'
MULTIPRO,'END'

ERASE
/ERASE
NUMNO=NODE(XNODO,YNODO,ZNODO)
NSOL,2,NUMNO,TEMP,,NODO_%NUMNO%
PRVAR,2
/GRID,1
/AXLAB,X,TIEMPO EN HORAS
/AXLAB,Y,TEMPERATURA NODO
/XRANGE,50,1000
/YRANGE,5,25
/GROPT,DIVX,20
/GROPT,DIVY,20
PLVAR,2
*END

*USE,DATOS INICIALES
*USE,GEOMETRIA VIVIENDA
*USE,MALLADO MUROS

/COM,*USE,VENTANAS TRASERAS
/COM,*USE,PUERTA FACHADA
/COM,*USE,PUERTA TRASERA
/COM,*USE,VOLUMEN INTERNO
/COM,*USE,MUROS INTERNOS

/COM,*USE,SOLUCION

/COM,*USE,TEMPERATURAS NODALES
/COM,*USE,MAS TEMPERATURAS NODALES
```