



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE ENERGÍA

**Caracterización de materiales para aislamiento
térmico en casa de la Zona del Ajusco,
Ciudad de México**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA
ORIENTACIÓN EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

P R E S E N T A :

JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ MERCADO

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Carlos Chávez Baeza, Programa de Energía



Ciudad de México, septiembre 2021.

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Fernando G. Arroyo Cabañas, PEUACM

Secretario: Dr. Carlos Chávez Baeza, PEUACM

Vocal: Dr. Leonel Lira Cortes, CENAM

1^{er}. Suplente: Dr. Álvaro Lentz Herrera, PEUACM

2^{do}. Suplente: Dr. Eduardo Armando Rincón Mejía, PEUACM

Lugar donde se realizó la tesis:

PLANTEL DEL VALLE, UACM.

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Carlos Chávez Baeza
Programa de Energía - UACM

Dedicatoria

A la Vida

Porque como pluma bajo un viento a la ventura me has llevado a conocer el destino que me fue escrito, porque has maravillado las ventanas de mi ser con los paisajes más esplendidos que han alimentado mi alma con la motivación suficiente para indagar e instruirme en esta doctrina, porque, aunque en ocasiones deseo observarte del otro lado del Apanohuacalhuía, tú, cual más devoto centinela, siempre a mi lado permaneces.

Agradecimientos

Sé que las líneas aquí plasmadas no reflejarán el enorme júbilo que me da agradecer a todos y cada una de las personas que cruzaron mi camino a lo largo de la culminación de este proyecto, desde la primera persona a quien tuve el gusto de conocer en la UACM: Claudia Chávez, hasta a ti, que lees estas palabras.

Me es grato agradecer de forma personal a las personas que directamente influyeron en la realización de este proyecto terminal, en primer lugar, a mi amigo y director de tesis el Dr. Carlos Chávez Baeza, quien junto con el Mtro. Aliyeri Díaz me invitaron a este interesante proyecto, a mis profesores: Dr. Fernando G. Arroyo Cabañas, Dr. Álvaro Lentz Herrera, Mtro. Raúl A. Santos Magaña, Dr. Eduardo A. Rincón Mejía, de quienes parte de su esencia está plasmada en este proyecto.

A la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura unidad Zacatenco por abrirme las puertas de su laboratorio de materiales, especialmente a la Ing. Blanca Mora. A la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa, especialmente al Dr. Alejandro T. Aldaco, al Dr. Juan Cabello y a Febe por su incondicional apoyo. Al Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial número 1, en especial al Ing. Alonso Sánchez S, por su apoyo. Al Centro Nacional de Metrología (CENAM), en especial al Dr. Leonel Lira Cortés, quien fue un pilar para la culminación de este proyecto.

A ti madre, que con tu incondicional amor y cariño has formado en mí al hombre del cual hoy me siento orgulloso.

Finalmente quiero agradecer a la **Universidad Autónoma de la Ciudad de México** por el apoyo: docente, administrativo y económico, con el cual me cobijó para así ayudarme a descubrir el por qué **“Nada humano me es ajeno”**.

Gracias

Contenido

Resumen	6
Introducción.....	7
Capítulo I. Marco contextual.....	8
1.1. Descripción de la zona del Ajusco	9
1.2. El confort térmico	13
1.3. Planteamiento del problema y justificación.....	18
1.3.1. Planteamiento del problema	18
1.3.2. Justificación.....	20
1.4. Objetivos	21
1.4.1. Objetivo general	21
1.4.2. Objetivos específicos	21
Capítulo II. Marco teórico: transmisión de calor	22
2.1. Dimensiones y unidades físicas	22
2.2. Potencia y Flujo de Calor	24
2.3. Conducción	24
2.4. Conducción por tipo de pared	26
2.4.1. Pared plana.....	26
2.4.2. Pared simple	26
2.4.3. Pared compuesta	26
2.5. Convección.....	28
2.6. Resistencia de las cámaras de aire.....	30
2.7. Flujo Total y coeficiente de conducción U	30
2.8. Coeficiente de conducción medio de fachadas	31
2.9. Temperatura en la superficie del cerramiento	31
2.10. Acumulación de calor en los cerramientos	32
2.11. Transmisión de calor en régimen transitorio.....	32
2.12. Influencia de soleamiento en los cerramientos.....	34
2.13. Radiación del calor.....	36
2.14. Absorción de la radiación	37
2.15. Irradiación calorífica	38
2.16. Convección radiación	39
2.17. Absortancia y emitancia superficial	40

2.18. Superficies transparentes.....	41
2.19. Calor por cambio de fase	42
2.20. Difusión de vapor de agua a través de una pared.....	42
2.21. Materiales aislantes.....	44
Capítulo III. Desarrollo metodológico	46
3.1. Selección del material aislante	46
3.2. Determinación del material aislante	49
3.3. Proceso de preparación de pruebas.....	50
3.3.1. Preparación del material y equipo	50
3.3.2. Fabricación de morteros	54
3.3.3. Dosificaciones de material aislante, primeras pruebas	56
3.3.4. Caracterización del material aislante después del fraguado, primeras pruebas	58
3.3.5. Caracterización del material aislante después del secado, primeras pruebas	60
3.3.6. Caracterización del material aislante, fraguado vs secado, primeras pruebas	63
3.4. Metodología de Pruebas de transferencia de calor	64
3.4.1. Método Caja de Pruebas Aislada	64
3.4.2. Método de Barras Concéntricas Cortadas.....	66
3.4.3. Método de Aparato de Placa Caliente con Guarda	72
Capítulo IV. Resultados	76
4.1. Placas de Prueba	76
4.2. Método de Caja de Pruebas Aislada	81
4.3. Método de Barras Concéntricas Cortadas.....	83
4.4. Método de Aparato de Placa Caliente con Guarda	85
Conclusiones.....	88
Referencias Bibliográficas	91
Anexos	94
Anexo 1. Mediciones climatológicas en el Ajusco	94
Anexo 2. Hoja de resultados de la placa Pb16 o 0A – 0B	95
Anexo 3. Hoja de resultados de la placa Pb20 o 12A – 12B	96
Anexo 4. Hoja de resultados de la placa Pb22 o 16A – 16B	97

Resumen

En zonas donde los climas son muy extremos, como las bajas temperaturas que presenta la zona del Ajusco, es necesario buscar estrategias para mantener una temperatura confortable en el interior de las casas.

En este proyecto terminal, la estrategia que se propone para lograr una temperatura confortable dentro de las casas de la zona del Ajusco es el estudiar un enfoscado capaz de dar un mayor aislamiento térmico que los enfoscados tradicionales.

Además, se estableció que el enfoscado debía cumplir con criterios de sustentabilidad y bajo costo, por lo que se decidió utilizar un material propio de la región: arena y aguja de pino, para aplanar las paredes de las casas y con ello mantenerlas aisladas del exterior para resguardar dentro el calor generado.

A fin de encontrar la proporción ideal de arena y aguja de pino para que el aplanado o enfoscado tuviera fuerza y resistencia, fue necesario probar distintas mezclas, debido a que un exceso de materia orgánica provoca que la mezcla sea endeble.

Una vez obtenida la mezcla ideal, se realizaron pruebas al material para determinar su capacidad aislante y compararla con enfoscados comunes. Las pruebas se llevaron a cabo mediante tres métodos diferentes de medición de la transferencia de calor: una empírica y dos documentadas, con el propósito de validar los resultados. La reducción obtenida en el valor de conductividad térmica fue de 16 a 25%, respecto a los enfoscados tradicionales.

Introducción

La importancia de realizar estudios del confort térmico para mejorar la calidad de vida de la gente que habita viviendas en climas extremos, como los que se tienen en la zona del Ajusco, se explica en el capítulo uno; además, se dan a conocer un par de análisis parecidos en otras partes de México y del mundo, exponiendo los resultados a los que se llegó, aunque es importante mencionar que la subjetividad interviene en el confort térmico de los lugareños. Asimismo, en el primer capítulo se exhiben las prácticas que los pobladores de la zona realizan para lograr dicho confort térmico, dando pie al planteamiento del problema, la justificación y los objetivos del proyecto.

En el marco teórico (capítulo dos), se aborda el concepto de transferencia de calor y algunas dimensiones y unidades físicas vinculadas. Se abordan conceptos relacionados con: la conducción y su presencia en un muro con diferentes capas de material y la forma de calcular dicha conducción; la definición de convección, cómo se presenta el fenómeno y cómo se debe calcular; qué es y cómo se comporta una cámara de aire, la manera en que se concentra el calor en ella y la transmisión de calor a través de ella.

El Sol es la principal fuente de energía del planeta Tierra, y por tal motivo tiene influencia al momento de emitir su energía hacia una vivienda. En el capítulo dos se aborda esta influencia y la manera en que el vapor de agua, que es generado de igual manera por la energía solar, contribuye a incrementar o reducir los fenómenos de transferencia de calor presentes. Además, se da una breve introducción a los materiales aislantes enfocándose a los destinados para la construcción.

El desarrollo metodológico se presenta en el capítulo tres, en donde se explican las razones por las cuales es conveniente utilizar materiales propios de la zona de estudio, el proceso que se llevó a cabo para la fabricación de las muestras, así como las pruebas de transferencia de calor, las cuales se realizaron mediante tres métodos diferentes.

Finalmente, en el capítulo cuatro se presentan los resultados de las pruebas de transferencia de calor de los materiales y métodos empleados.

Capítulo I. Marco contextual

La búsqueda del crecimiento: educativo, económico, tecnológico, intelectual y de más del ser humano, en gran parte, ha sido por la necesidad de obtener mayor comodidad en su estilo de vida. La comodidad es definida por la RAE como una “Cosa necesaria para vivir a gusto y con descanso”.

Vivir cómodamente permite a los seres vivos crecer con mejor salud física y psicológica, y con mejores y más desarrolladas capacidades intelectuales, ya que los organismos no invierten esfuerzos en adaptarse al medio, sino que, al estar en condiciones favorables, sus esfuerzos pueden centrarse en otras actividades.

Algunas de las comodidades que el ser humano busca satisfacer de manera primordial son las que refiere Abraham Maslow en el peldaño inferior de la pirámide que él mismo desarrolló, llamadas necesidades fisiológicas (Figura 1.1), que abarcan: respiración, alimentación, descanso, sexo y homeostasis, y de manera psicológica: el equilibrio entre estas necesidades y su satisfacción (Maslow, 2008).



Figura 1.1. Pirámide de Maslow
Fuente: Maslow, 2008

Vivir en comunidad favorece la situación de confort entre sus habitantes ya que cada uno de ellos, en su mayoría, ejerce un único rol, ya sea: cultivar ciertos productos,

criar ciertas especies de animales comestibles o ejercer algún oficio que sea de utilidad para la misma comunidad.

Las viviendas son construcciones que el hombre ha desarrollado para favorecer su situación de confort, su forma, tamaño y materiales dependen de las necesidades del usuario y de las condiciones ambientales del lugar donde se edifican.

En lugares cálidos, por ejemplo, las viviendas se erigen añadiendo huecos en los techos y en paredes; ventanales; puertas amplias o se instalan aparatos como aires acondicionados o ventiladores para mantenerlas templadas, por el contrario, en lugares fríos donde se pretende evitar la pérdida de la temperatura interna de las viviendas, estas se construyen con: techos bajos, ventanas pequeñas o de doble vidrio, puertas pequeñas, muros gruesos o se instalan aparatos de calefacción. Todas estas estrategias son aplicadas para alcanzar un mejor **confort térmico**.

*“El **confort térmico** se define como la sensación de neutralidad de una persona respecto a un ambiente térmico determinado, es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el medio ambiente”* (Construpedia, 2017).

*“En el confort térmico intervienen diversos factores como la **humedad, temperatura y velocidad del aire al interior de la vivienda**, entre otros. Estos factores condicionan la sensación térmica de las personas y por tanto el nivel de confort al interior de las viviendas”* (Chapple, 2008).

1.1. Descripción de la zona del Ajusco

La Ciudad de México es un área geográfica con temperaturas, en su mayoría, cómodas para vivir. Estas, según datos del INEGI, son templadas subhúmedas en un 87%, secas y semisecas en un 7% y templadas húmedas en un 6%, con una temperatura media anual de 16°C (ver Figura 1.2). La temperatura máxima promedio existente es de 25°C para los meses de marzo a mayo y mínima promedio de 5°C para el mes de enero. Respecto a la precipitación pluvial anual se considera una media de 600 mm para la región seca y 1200 mm para la templada húmeda (INEGI, 2017).

El Ajusco es una región montañosa ubicada al sur de la Ciudad de México colindante con el estado de Morelos. Esta serranía alcanza en algunos puntos una altura sobre el nivel del mar de 4000 metros, especialmente en el Pico del Marqués

y en el Pico del Águila; sin embargo, en sus partes más habitadas alcanza los 3000 msnm, en promedio.

El Ajusco se caracteriza por contar con una vegetación de tundra alpina, con abundancia de zacatonales, cardos y otros herbáceos adaptados a fríos extremos, así como también extensos bosques de coníferas, como se muestra en la Figura 1.3.

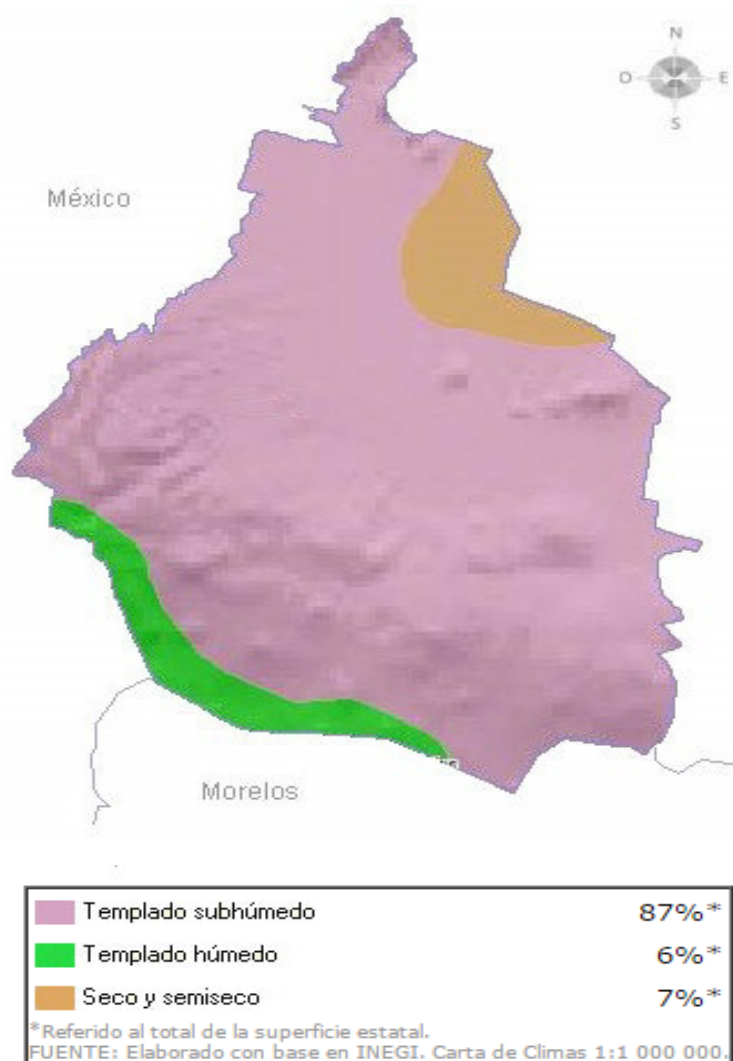


Figura 1.2. Mapa del clima Ciudad de México
 Fuente: INEGI, 2017

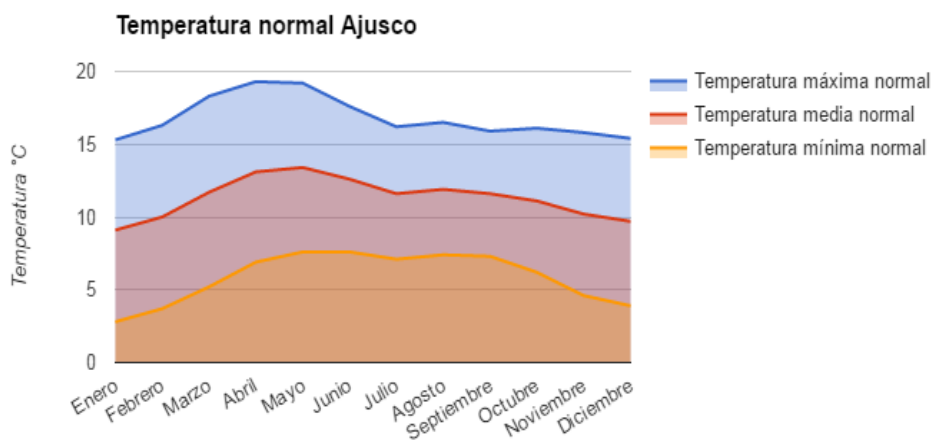


Figura 1.3. Coníferas del Ajusco

Fuente: <http://www.ciudadmexico.com.mx/cercanias/ajusco.htm>

Los datos del SMN (Servicio Meteorológico Nacional), de la estación 9002 Ajusco ubicada a 2900 msnm, muestran las mediciones que se han reportado del área de por lo menos 59 años atrás (Tabla 1.1).

Se puede observar en la Tabla A.1, que la temperatura máxima promedio más alta para el periodo de medición de 26 años es de 19.2°C, la temperatura media promedio más alta es de 13.4°C y la temperatura mínima promedio más baja es de 2.8°C, lo que refleja que las temperaturas de esta zona son bajas en promedio.



Gráfica 1.1. Temperatura normal (promedio) Ajusco

Fuente: Elaboración propia con datos de SMN, 2017

En la Gráfica 1.1 se reflejan las temperaturas normales: mínima, media y máxima para los diferentes meses, en donde se puede apreciar que en promedio la diferencia de temperatura es de 10.9°C durante el transcurso del día. En la Tabla 1.1 se muestran las diferencias mensuales de los valores promedio máximo y mínimo.

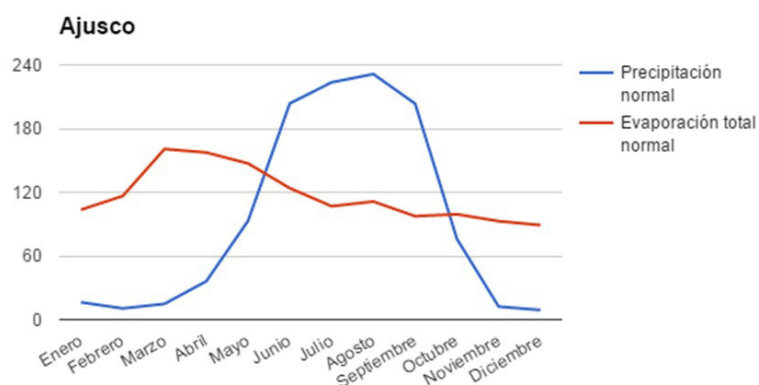
Tabla 1.1. Temperatura promedio (normal) máxima, mínima y diferencia

Mes	Temperatura máxima normal (°C)	Temperatura mínima normal (°C)	Diferencia (°C)
Enero	15.3	2.8	12.5
Febrero	16.3	3.7	12.6
Marzo	18.3	5.2	13.1
Abril	19.3	6.9	12.4
Mayo	19.2	7.6	11.6
Junio	17.6	7.6	10
Julio	16.2	7.1	9.1
Agosto	16.5	7.4	9.1
Septiembre	15.9	7.3	8.6
Octubre	16.1	6.2	9.9
Noviembre	15.8	4.6	11.2
Diciembre	15.4	3.9	11.5
Anual	16.8	5.9	10.9

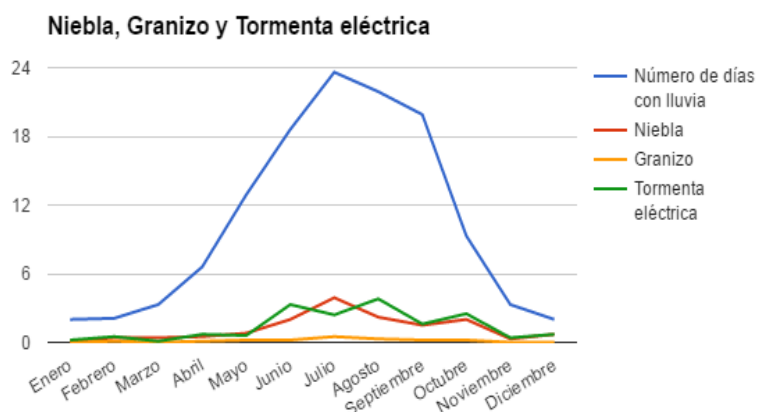
Fuente: Elaboración propia con datos de SMN, 2017

En la Gráfica 1.2 se puede observar qué en las temporadas de verano y otoño, es cuando más precipitación pluvial se presenta en la zona del Ajusco; sin embargo, también se observa que la evaporación es considerable, este nivel de evaporación coincide con las temperaturas más altas para esta zona geográfica, pues los meses más calientes que son marzo, abril y mayo; meses en los cuales se presenta la mayor evaporación normal total.

La Gráfica 1.3 muestra el número de días con lluvia para cada mes del año en la zona del Ajusco, esta gráfica concuerda con la Gráfica 1.2 de la precipitación pluvial, donde se observa que las temporadas de verano y otoño son en donde más días se presentan de lluvia, teniendo el mes de agosto como el mes más lluvioso.



Gráfica 1.2. Precipitación y evaporación normal en mm
 Fuente: Elaboración propia con datos de SMN



Gráfica 1.3. Días con lluvia, granizo, niebla y tormenta eléctrica, curvas continuas
 Fuente: Elaboración propia con datos de SMN

Para los datos de niebla, granizo y tormentas eléctricas, los días en que se presentan estos fenómenos son pocos ya que no llegan a los 4 días al año.

1.2. El confort térmico

El confort térmico es la sensación de neutralidad de una persona respecto a un ambiente térmico determinado (Construpedia 2017), esta sensación de neutralidad es muy variable, ya que depende de la sensación personal del individuo, la cantidad de ropa que porte y la cantidad de humedad que haya en el ambiente.

Existen varios estudios de confort térmico que concluyen con un rango diferente de temperatura de confort, por ejemplo, un estudio realizado en la ciudad rural Nuevo Juan del Grijalva, en Chiapas México, muestra que para sus habitantes la

temperatura de confort térmico se encuentra entre 23.5 y 28.5°C, tomando como temperatura normal 26°C (Gabriel, 2013).

Otro estudio realizado por la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) en conjunto con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), Universidad de Colima (UCOL), Universidad de Sonora (USON), Universidad de Veracruz (UV), Universidad Autónoma de Yucatán (UADY); determinaron la temperatura térmica neutral (Tn) para diferentes localidades (Romero, 2010), mostrada en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Temperatura térmica neutral, inferior y superior de confort

Ciudad	Periodo	Tn °C	Límite inferior de confort	Límite superior de confort
Culiacán	Cálido Seco	28.1	25.2	31.0
Colima	Cálido Seco	28.0	26.7	29.5
	Cálido Húmedo	28.6	27.1	30.0
	Templado	27.1	25.9	28.3
Mérida	Cálido Húmedo	32.3	27.9	35.1
	Templado	27.4	25.4	29.3
La Paz	Templado	26.7	22.9	30.4
Mexicali	Transición	33.7	30.1	37.1
	Cálido Seco	35.2	32.2	37.8
	Frío	24.3	20.9	27.6
Hermosillo	Cálido Seco	32.2	29.6	34.7
	Templado	26.9	23.5	31.3

Fuente: Romero, 2010

Chiapas, Sinaloa, Colima, Yucatán, Baja California, Baja California Sur y Sonora son estados con temperaturas promedio máximas arriba de los 27°C y temperaturas promedio mínimas arriba de los 13°C (Romero, 2010).

Comparando la Tabla 1.2 y los resultados del proyecto de Nuevo Juan del Grijalva Chiapas, se observa que las temperaturas de confort para sus habitantes son muy variadas y dependen de la zona, pues estas van desde 20.9°C hasta 37.8°C.

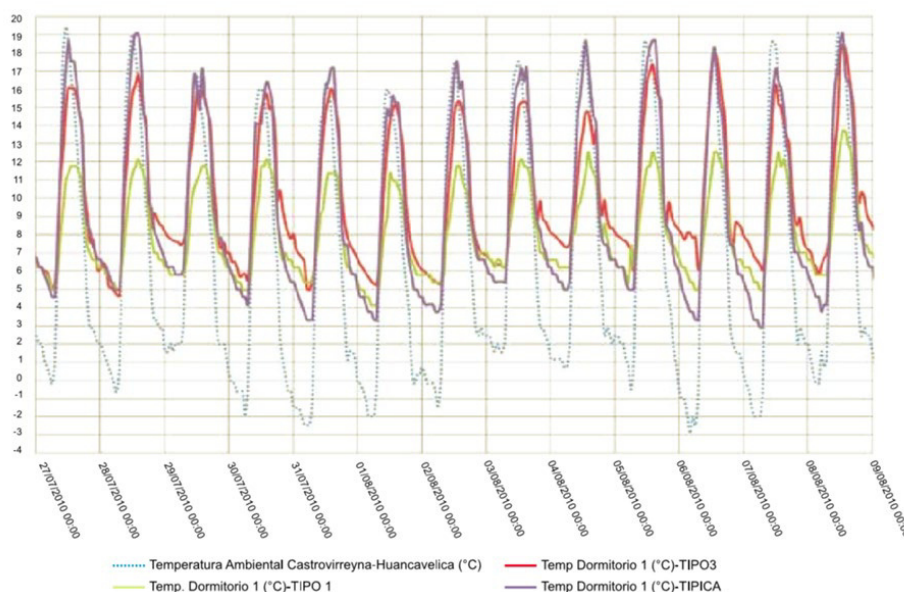
En otro estudio realizado en España, se demostró que la temperatura óptima de confort térmico en invierno oscila entre 21 y 22°C y en verano entre 24 y 25°C, pero, con un nivel de ropa de 1.0 Clo (vestimenta típica de negocio) probaron que se pueden considerar satisfactorias las temperaturas entre 20 y 26°C. Por otro lado, demostraron que estando al aire libre el margen de temperatura confortable se puede ampliar hasta 3°C por arriba del máximo si existe una ventilación del orden de 1.5 m/s o disminuir hasta 10°C si se recibe radiación solar (Monroy, 2006).

En el artículo 9 de la norma española NBE-CT-79 (Norma Básica de Edificación, condiciones térmicas en los edificios), dedicado a la temperatura ambiente interior, se especifica que la temperatura mínima seca para edificaciones del tipo vivienda, enseñanza, comercio, trabajo sedentario y cultura debe ser 18°C; para salas de actos; gimnasios y locales para trabajo ligero de 15°C; en locales para trabajo pesado de 12°C y en espacios de almacenamiento en general de 10°C (NBE-CT-79, 2004).

Por otro lado, en un estudio de confort térmico en viviendas altoandinas del Perú, a más de 3500 msnm en donde las temperaturas caen hasta los -3°C en los meses de heladas se encontraron los datos mostrados en la Gráfica 1.4.

La línea morada, línea continua más alta de la gráfica 1.4, muestra la temperatura al interior de una casa típica de la zona, donde se aprecia que la temperatura más alta llega a 19°C y la más baja a 3°C, esta vivienda consta de muros de adobe de 45 cm de espesor, techo de lámina metálica y cielo raso de plástico (Harman, 2010).

La línea verde, línea continua más pequeña, muestra el comportamiento de la temperatura interna de una casa aplicando ciertas mejoras como: techo a dos aguas de fibrocemento, cielo raso de triplay a 2.4 m del suelo aislado térmicamente, puerta principal de madera y ventanas de metal simples, donde la temperatura interna mínima alcanza los 4°C y la máxima 14°C (Harman, 2010).



Gráfica 1.4. Temperaturas medidas en viviendas altoandinas en Perú

Fuente: CARE Perú

Para la línea roja, línea continua de en medio, se aplicaron mejoras añadidas a una vivienda que fue: un invernadero adosado a los dormitorios, claraboyas translúcidas de policarbonato en el techo para el ingreso de los rayos solares, ductos de puertas corredizas que al abrirse permiten el ingreso de la temperatura cálida y al cerrarse evitan la pérdida de la misma. Estas mejoras permitieron que las temperaturas medidas se mostraran al nivel mínimo en 5°C y máximo 18°C (Harman, 2010)

Al comparar la casa típica con la de mayores modificaciones, se encuentra una ganancia de al menos 2°C ante las temperaturas más bajas presentadas y las temperaturas máximas son muy parecidas a las más altas de la zona.

Como se ha mencionado, la temperatura de confort depende de factores como la temperatura, la humedad, la velocidad del aire interior, entre otros, pero principalmente de la sensación personal del individuo, pues, para los casos de estudio de algunos lugares de México en donde las temperaturas típicas son altas, se observó que la temperatura media de confort, para sus habitantes, oscila entre los 20°C y los 33°C. Para los casos de España, la temperatura normalizada es arriba de 18°C, pero mediante otro estudio realizado en esa zona probaron que esta puede oscilar de 20°C a 26°C; sin embargo, testimonios realizados en el proyecto de las viviendas altoandinas del Perú y que están plasmados en el mismo documento, las personas consideraron que 2°C de ganancia de temperatura en la vivienda, de 3°C a 5°C, eran un gran beneficio para la mejora de su confort térmico.

La norma mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013, Edificación Sustentable Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, en su apartado 5.2.5.3.1, hace referencia que el parámetro de confort térmico en el interior de una edificación debe estar entre 18°C y 25 °C.

Para todos los ejemplos mencionados, se observa que el rango de temperaturas para alcanzar el confort térmico es amplio, sin embargo, en climas fríos donde las temperaturas medias están por debajo de las temperaturas mínimas de confort térmico normalizadas, las personas podrían alcanzar estos niveles vistiendo ropa abrigadora.

La vestimenta funciona como un aislamiento ante la pérdida de calor, la cual es medida en m^2C/W que equivale a la unidad de un Clo ($1 \text{ Clo} = 0.155 \text{ m}^2C/W$).

Cada prenda de ropa utilizada aporta cierta cantidad de aislamiento térmico, existen tablas donde se estima el valor de cada una de ellas, como referencia, se ha estimado que la vestimenta típica de una persona vistiendo un traje de negocios equivale a 1.0 Clo (pantalón de vestir, calcetines, trusa, zapatos, camiseta, camisa y saco), mientras que una persona desnuda equivale a 0.0 Clo (Kvisgaard, 2000).

El principio de conservación de la energía establece que no existe una creación o destrucción de la misma, sino solamente una transformación, esto aplica también para las personas, pues cada actividad muscular que realiza equivale a una pérdida de energía, incluso al descansar se está perdiendo energía ya que el metabolismo siempre se encuentra activo. A la utilización de energía para la vida diaria se le conoce como Met, el cual es medido en W/m^2 .

Un Met equivale a utilizar aproximadamente una potencia de $58 W/m^2$, y si en promedio una persona tiene una superficie de piel de $1.72 m^2$, entonces esta genera o tiene una pérdida de calor de 100 W cuando se encuentra en actividad neutra, por ejemplo, sentada.

Si dentro de un recinto cada persona está realizando diferentes actividades, cada una de ellas tendrá una sensación de confort térmico diferente, por ejemplo, una persona dormida, donde el metabolismo está al mínimo equivale a 0.8 Met, una persona que se encuentra haciendo actividades de oficina corresponde a 1.2 Met, una persona que se encuentra haciendo labores domésticas como lavar trastes, trapear, barrer, etc. puede llegar hasta los 2.9 Met y así sucesivamente (Kvisgaard, 2000).

Uno de los factores determinantes para alcanzar el confort térmico es la asimetría de la temperatura dentro de un recinto. La asimetría de la temperatura se refiere a la diferencia de temperatura que puede percibir el cuerpo en distintas zonas o partes del mismo, y está ligado a la incomodidad térmica.

La incomodidad térmica puede estar asociada a diferentes factores como: enfriamiento local del cuerpo debido a turbulencias, enfriamiento o calentamiento por la radiación de zonas del cuerpo, pies fríos y cabeza caliente al mismo tiempo, pies calientes o fríos ocasionados por temperaturas incómodas del suelo.

Se ha demostrado que corrientes de aire con frecuencias de aproximadamente 0.5 Hz resultan más incómodos que los techos calientes. Ventanas frías resultan más incómodas que ventanas calientes, y techos fríos. Una diferencia de $3^{\circ}C$ entre la cabeza y los pies provoca incomodidad térmica considerable, siendo este valor el

límite aceptable según la norma ISO 7730 y, bajo la misma norma, para ser considerado como aceptable, el valor de comodidad térmica en pisos debe estar entre 19°C y 29°C (Kvisgaard, 2000).

De los datos obtenidos respecto a temperaturas de confort, se puede concluir que es importante mantener una temperatura mínima para que se perciba comodidad dentro de un recinto, pero si esta temperatura está por debajo de las recomendadas, en los diferentes estudios y normas, se podría resolver manteniendo un nivel de Clo que logre contrarrestar esta baja temperatura, pero no llegar a un arropamiento que impida realizar actividades comunes dentro de la vivienda.

Otro aspecto importante que se ha encontrado es que los metabolismos se adaptan a temperaturas constantes con velocidades muy bajas del viento, ya sea aumentando la cantidad de calor emitido o reduciéndolo automáticamente, sin embargo, la diferencia de temperatura al mismo tiempo entre diferentes partes del cuerpo debido a turbulencias del aire u otros factores genera incomodidades térmicas.

1.3. Planteamiento del problema y justificación

1.3.1. Planteamiento del problema

Las temperaturas extremas en ciertas zonas del planeta han orillado a las personas, desde tiempo remotos a buscar soluciones para mantener sus viviendas aisladas de las mismas, buscando así un mejor confort térmico.

El polietileno expandido, el poliestireno extruido, las lanas minerales, entre otros, son materiales que han ayudado a mantener la temperatura interna de las viviendas más acogedora, sin embargo, existen diferentes factores los cuales invitan a dejar de utilizarlos, por ejemplo, la lana de roca requiere de mucha energía para ser procesada, la lana de vidrio o fibra de vidrio, además de requerir grandes cantidades de energía, es perjudicial a la salud ya que las microfibras pueden impregnarse en los pulmones. Por otro lado, los materiales derivados del petróleo como los polietilenos tienen la desventaja de que no permiten el libre flujo de humedad a través de su estructura y por lo tanto de las paredes, lo que genera condensaciones y salitre, lo que las deteriora, además, son contaminantes y su proceso de fabricación también.

Bajo la necesidad de emplear productos más sustentables, se ha recurrido a utilizar materiales que en siglos pasados ya se aprovechaban para aislar térmicamente las casas, pero con novedosos procesos de fabricación y métodos de construcción innovadores. El corcho, por ejemplo, es un material natural que proviene de la corteza del árbol de Alcornoque. Esta corteza sólo requiere un proceso de calentado y planchado para poder implementarlo, ya sea en placas sobrepuestas en la pared o triturado para relleno. Este material tiene una conductividad térmica de 0.041W/mK , lo que lo hace un excelente aislante térmico, permite también el flujo de humedad a través de su estructura, lo que evita condensaciones en las paredes.

El cáñamo es una planta cuyo tronco hecho fibra se utiliza para usos textiles, como aislante térmico se fabrica en paneles los cuales se empotran en las paredes a aislar y cuenta con una conductividad térmica de 0.041 W/mK . Otro uso común que se le está dando a esta fibra es como sistema constructivo para muros combinado con cal o tierra.

La paja, que es el tallo seco de plantas de cereal, ha sido utilizada desde tiempos remotos para la construcción reunida y sobrepuesta sobre muros. Actualmente se ha modificado la forma de construcción de viviendas con paja, pues se fabrican pacas muy comprimidas y se introducen en medio de muros paralelos, así el calor o la humedad deben pasar a través del primer muro, la paja y del segundo muro para llegar al interior de la vivienda logrando con ello una baja transferencia térmica.

Como los anteriores ejemplos se puede hablar también del lino, la lana de oveja, la fibra de coco, la celulosa, la fibra de madera, la arcilla expandida y más materiales que son propios o abundan en las zonas donde se implementan siendo esa la clave de su utilización.

La zona del Ajusco mantiene en promedio bajas temperaturas debido a su ubicación geográfica, el Sistema Meteorológico Nacional indica que la temperatura normal máxima anual en el Ajusco es de 16.8°C , la media normal es de 11.3°C y la mínima normal anual es de 5.9°C . Esto implica que sus habitantes tengan la necesidad de tomar acciones o medidas para que estas temperaturas no alteren sus actividades diarias o mermen su salud.

Las soluciones inmediatas que comúnmente se llevan a cabo para contrarrestar las bajas temperaturas dentro de las viviendas de la zona del Ajusco son: encender chimeneas, o estufas de leña con el peligro latente de sufrir problemas respiratorios o envenenamiento; mantener bombillas incandescentes encendidas para que éstas

cedan calor a la vivienda, lo que genera un gasto enorme de recurso eléctrico y económico.

Mantenerse abrigados es solución, sin embargo, una persona requiere hacer actividades dentro de casa, el permanecer abrigados impediría su libertad de movimiento. Por otro lado, la vivienda es un lugar que se utiliza para descansar y relajarse, no se podría conservar un ritmo constante de actividad para mantener el calor corporal, por lo tanto, contar con 1.0 Met de actividad y 1.0 Clo de vestimenta será la forma de considerar la permanencia de las personas en sus viviendas para este proyecto.

Para combatir el problema de las bajas temperaturas los habitantes podrían aplicar sistemas comerciales de aislamiento térmico en sus casas como: poliestirenos, lanas minerales o realizar construcciones especiales como muros anchos o dobles, sin embargo, aplicar estos métodos de aislamiento conlleva una alta inversión y, en su mayoría, los pobladores de esta zona no cuentan con recursos económicos suficientes.

Existen materiales que no representan grandes inversiones como: el corcho, el cáñamo, la paja, la lana de oveja, la fibra de coco etc., que podrían solventar el problema de una manera más económica, sin embargo, no existen estos materiales de primera mano en la zona y el gasto de transportarlo desde su origen representaría una inversión igual o mayor a la de utilizar aislantes sintéticos regresando así al problema económico.

1.3.2. Justificación

Debido a las bajas temperaturas que se presentan en la zona del Ajusco, es importante el análisis de materiales aislantes para construcción de viviendas que sean más ecológicos, sustentables y económicos, para que puedan sustituir los materiales comerciales.

Uno de los materiales que abundan en la zona del Ajusco es la aguja de pino seca de la cual no hay información acerca de su uso como aislante térmico. Teniendo en cuenta que las fibras de madera poseen una conductividad térmica promedio entre 0.04 a 0.05 W/mK, se espera que la aguja de pino tenga un valor similar. La presente investigación pretende hacer un análisis de este material como aislante térmico.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Caracterizar materiales para aislamiento térmico en casas de la zona del Ajusco, Ciudad de México, que sean propios del lugar.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Investigar las condiciones climatológicas que se presentan en la zona del Ajusco.
- Analizar posibles materiales a emplear como opciones para elaboración y aplicación de aplanados.
- Determinar qué materiales son los que se ajustan mejor a la situación económica y sustentable de la zona del Ajusco.
- Elaborar y analizar diferentes proporciones de mezclas de los materiales seleccionados para fabricación de placas de prueba.
- Aplicar estudios de transferencia de calor a las placas de prueba para determinar su conductividad térmica.

Capítulo II. Marco teórico: transmisión de calor

La energía es una propiedad o magnitud física que puede transformarse o transmitirse y que interviene en los procesos de cambio de estado, uno de estos procesos es el calor el cuál se define como una transferencia de energía entre dos sistemas (Aloma,2007).

La materia tiene la capacidad de almacenar cierta cantidad de energía en forma térmica en sus partículas, los estados de la materia representan esta acumulación (sólido, líquido, gaseoso). La temperatura y el calor específico son dos factores que determinan dicha acumulación de energía y depende de las propiedades físicas de cada material.

Entre dos puntos ubicados aleatoriamente con diferentes temperaturas, existe una transferencia de temperatura del que tiene mayor cantidad de energía o el de mayor temperatura al de menor temperatura, esta energía se transfiere mediante mecanismos de transmisión de calor los cuales pueden ser: conducción, convección y radiación, que dependen del medio por el que se realiza dicha transferencia.

Los cambios de temperatura pueden producir modificaciones de volumen, presión o dilataciones en los cuerpos, ya sean: sólidos, líquidos o gaseosos, dependiendo del estado de materia en el que se encuentren.

2.1. Dimensiones y unidades físicas

A cualquier magnitud que se pueda medir, se le asigna una “dimensión”, siendo las más comunes o utilizadas en la física de transmisión del calor: la longitud, el tiempo, y la temperatura.

El sistema internacional (SI) es el sistema de unidades más aceptado a nivel mundial, y adoptado en México mediante la NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida, del cual se deriva la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Unidades físicas más utilizadas en la física de transmisión de calor

Magnitud	Símbolo	Dimensión	Unidad
Longitud	L, x	m	Metro
Tiempo	t	s	Segundo
Masa	M	kg	Kilogramo
Temperatura	T	K	Kelvin

Fuente: NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida

Existen diferentes magnitudes derivadas que resultan de la mezcla de unidades y conceptos que orillan a nuevas representaciones y utilizaciones de la energía, algunas de estas se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Magnitudes derivadas

Magnitud	Símbolo	Ecuación	Dimensión	Dimensión SI	Unidad
Superficie	S	x^2	L^2	m^2	m^2
Volumen	V	x^3	L^3	m^3	m^3
Aceleración	a	x/t	L/t	m/s	m/s
Fuerza	F	$M \cdot a$	ML/t^2	$kg \cdot m/s^2$	Newton (N)
Trabajo, energía, cantidad de calor	E, q	$F \cdot x$	ML^2/t^2	$kg \cdot m^2/s^2$	Joule (J)
Potencia	P	E/t	ML^2/t^3	$kg \cdot m^2/s^3$	Watt (W)
Flujo de calor (Flux de calor)	Q	W/S	M/t^3	kg/s^3	Watt/m ²
Presión	P	F/S	M/t^2L	kg/s^2m	Pascal (Pa)
Densidad	D	M/V	M/L^3	kg/m^3	kg/m^3
Calor específico	γ	$E/M \cdot Dt$	L^2/t^2T	$m^2/s^2 \cdot K$	J/kg·K
Conductividad térmica	λ		ML/t^3T	$kg \cdot m/s^3 \cdot K$	W/m·K
Conductancia térmica	k	λ/L	M/t^3T	$kg/s^3 \cdot K$	W/m·K
Resistencia térmica	R	L/λ	Tt^3/ML	$s^3 \cdot K/kg$	$m^2 \cdot K/W$

Fuente: NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida

El calor específico es la cantidad de calor necesario para elevar en una unidad (por ejemplo 1°C) la temperatura de la unidad de masa (por ejemplo 1 gramo) de la sustancia en cuestión, cada sustancia requiere de una cantidad diferente de calor (Rodríguez, 2017), en el caso del agua, $\gamma_a = 1$ (kcal/kg°C)

El trabajo o el calor, bajo el sistema internacional, se mide en Joules ($kg \cdot m^2/s^2$), donde la relación de caloría a Joule es: 1 kcal = 4.184 kJ o kilojoules, en el caso del agua $\gamma_a = 4.184$ (kJ/kg°C).

El incremento de energía acumulada por unidad de masa o entalpía se determina por:

$$\Delta E = \gamma * \Delta T \left[\frac{kcal}{gr} \text{ o } \frac{J}{kg} \right] \quad (2.1)$$

La cantidad total de calor (q) acumulado por una masa determinada (M) cuando se calienta se puede determinar por la expresión:

$$q = \gamma * \Delta T * M \text{ [kcal o J]} \quad (2.2)$$

2.2. Potencia y Flujo de Calor

La potencia calórica (P_c) en el sistema internacional, está dimensionada por el Watt (W), que es la capacidad de realizar un trabajo de un Joule sobre segundo, esta unidad sirve para medir la intensidad de energía emitida por una determinada fuente de calor, el Watt hora (Wh) es la medición de la energía en un periodo de tiempo, esta se utiliza para determinar la cantidad de energía consumida o suministrada en cierto lapso de tiempo, una unidad de Wh equivale a 0.86 kcal.

$$P_c = Q/t \text{ [W o } \frac{\text{kcal}}{\text{seg}} \text{]} \quad (2.3)$$

El flujo de calor o flux de calor (Q) que atraviesa una superficie (S) por unidad de tiempo, se mide en Watts sobre metros cuadrados (W/m^2), se determina por la expresión:

$$Q_s = P_c/S \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2.4)$$

2.3. Conducción

El balance térmico en un cerramiento (cuarto), se presenta cuando existe un equilibrio entre la cantidad de energía disipada en su interior y los diferentes mecanismos de transmisión del calor que se presentan al interior del mismo como la conducción, la convección y la radiación, además, los mecanismos de renovación y radiación pueden ser importantes, tanto en sentido positivo como en sentido negativo y la acumulación térmica puede contribuir a mantener estable la temperatura del cerramiento.

El proceso de intercambio de calor por conducción se lleva a cabo cuando entre dos puntos de un mismo cuerpo o de cuerpos diferentes unidos entre sí, sin ningún otro elemento o material interpuesto entre ellos, existe una diferencia de temperatura, en estos casos, el punto a mayor temperatura cede calor al punto con menor temperatura, hasta alcanzar una diferencia de temperatura cero entre ellos, la ecuación que representa este fenómeno es:

$$P_c = Q_t = \lambda * S (\Delta t/e) [W/m^2] \quad (2.5)$$

donde:

Q_t = flujo de calor [Joule/s]

t = tiempo [s]

S = superficie [m^2]

Δt = diferencia de temperaturas [$^{\circ}C$]

λ = conductividad térmica propia de cada material [Joule/s·m· $^{\circ}C$]

e = espesor de la capa del material [m]

La resistencia térmica [R] es la oposición que presentan ciertos materiales al flujo del calor a través de ellos debido a sus propiedades, esta depende de la superficie del material, de la conductividad propia del material y del grosor que presenta, la cual obedece a la siguiente ecuación.

$$R = e/\lambda [m^2 \text{ } ^{\circ}C/W] \quad (2.6)$$

Por tanto, el flujo de calor por unidad de superficie puede calcularse:

$$Q_s = \Delta t/R [W/m^2] \quad (2.7)$$

La conductividad de una sustancia es una propiedad física que depende de su estado y de la temperatura, se expresa en unidades de energía [kcal/h m $^{\circ}C$], o bien en unidades de potencia, [W/m $^{\circ}C$].

Los materiales con niveles bajos de conductividad se denominan aislantes, los cuales se utilizan cuando se requiere una barrera al flujo de calor. Los aislantes térmicos en su mayoría son porosos, si la humedad incide en ellos, su conductividad aumenta y por consiguiente se ve reducida su capacidad aislante.

La capacidad aislante de ciertos materiales se debe a su porosidad, pues, los gases son malos conductores del calor y los poros de los aislantes están llenos de aire que finalmente es gas. Esto explica que al aumento de la densidad de los materiales aislantes disminuya su conductividad (Jutglair, 1998).

2.4. Conducción por tipo de pared

2.4.1. Pared plana, es aquella que está limitada por dos superficies planas y paralelas que se extienden hasta el infinito. Si una cara de la pared está a una temperatura uniforme y la otra cara está a una temperatura distinta y también uniforme, siendo la conductividad constante, el calor se transmite en una sola dirección y perpendicular a las superficies que limitan la pared.

2.4.2. Pared simple, ejemplificaría a la pared plana, donde solo interviene una conductividad térmica que es la del material por el cual está formada la pared, en la Figura 4 se ejemplifica su comportamiento ante el flujo de calor.

Se puede observar en la Figura 2.1 que la temperatura t_1 va reduciendo su valor conforme atraviesa la pared hasta llegar a t_2 .

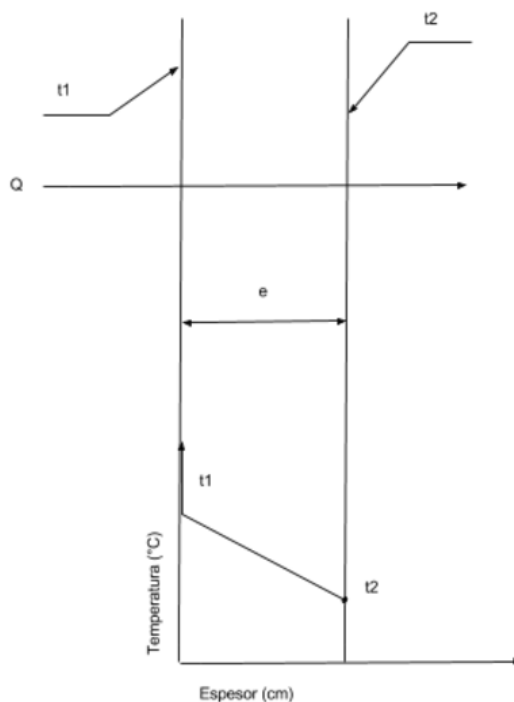


Figura 2.1. Representación pared plana
 Fuente: Monroy, 2006

2.4.3. Pared compuesta, está formada por diferentes capas de materiales de distinta conductividad, el calor que atraviesa una capa es el mismo que atravesará la siguiente capa, ya que no hay fugas laterales de calor; sin embargo, el flujo de calor

será diferente debido a que cada material que conforma la pared tendrá diferente valor de conductividad, y diferente grosor, en la Figura 2.2 se muestra un ejemplo.

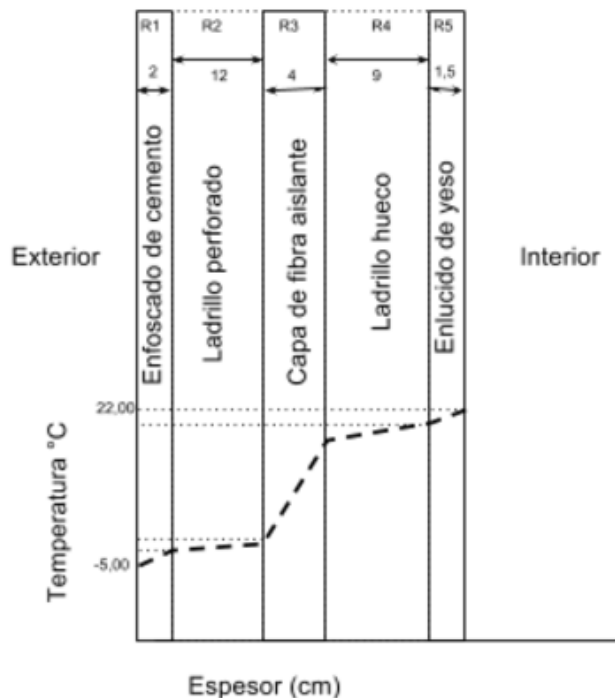


Figura 2.2. Representación pared compuesta
 Fuente: Monroy, 2006

En una pared compuesta, la **resistencia total (Rc)** que presenta al flujo de calor es igual a la suma de cada una de las resistencias de cada capa o material.

$$R_c = \sum ei/\lambda_i [m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/W] \quad (2.8)$$

Por lo tanto, el flujo de calor a través de una pared compuesta se calculará con:

$$Q_s = \Delta t/R_c = (t_{in} - t_{ex})/R_c \quad (2.9)$$

donde:

t_{ex} = temperatura exterior

t_{in} = temperatura interior

2.5. Convección

Cuando un material está en contacto con otro realizando una transferencia de calor y uno de ellos se ve forzado a moverse debido al cambio de densidad que sufre su estructura molecular, sustituyendo sus moléculas calientes por otras más frías, se tiene entonces un fenómeno de convección.

La convección se da principalmente en fluidos y gases ya que absorben rápidamente energía, cambian su densidad molecular y sustituyen estas moléculas de la delgada capa que absorbió energía por otras menos energéticas, el calentamiento del agua o del aire por medio de una barra de metal, es un claro ejemplo.

Cuando un cerramiento separa dos ambientes con diferentes temperaturas, el calor fluye del ambiente de mayor temperatura al de menor, en este proceso existe una resistencia térmica entre la superficie del cerramiento y el aire de cada ambiente debido al fenómeno de convección, esto se denomina **resistencia térmica superficial** R_s [$m^2\text{°C/W}$], o **1/h**.

La resistencia térmica superficial, depende particularmente de una capa adherida a la superficie del cerramiento, llamada **capa límite**, que ofrece cierto aislamiento por limitar la convección.

El cerramiento que separa el exterior con el interior cuenta con dos resistencias superficiales, una para cada lado, siendo la del lado exterior inferior a la de la cara interior generalmente, ya que se considera que, en el interior, el aire está estático y en el exterior hay presencia de vientos, esto representa una **convección forzada exterior**.

Al interior del cerramiento cuando existe la presencia de calor y el flujo es ascendente, se disminuye la resistencia térmica superficial ya que el aire caliente al ser más ligero tiende a subir, ocurre el fenómeno de manera contraria si el flujo es descendente.

En el caso de una pared compuesta, el flujo de calor debe atravesar tanto las capas de cada material R_c como las resistencias térmicas superficiales, resultando las siguientes expresiones:

$$R_c = \Sigma ei/\lambda i [m^2 \text{ } ^\circ C/W] \quad (2.10)$$

$$R_t = R_{se} + R_c + R_{si} [m^2 \text{ } ^\circ C/W] \quad (2.11)$$

$$Q = \Delta t/R_t [W/m^2] \quad (2.12)$$

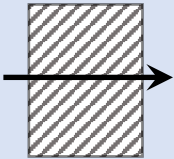
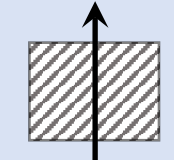
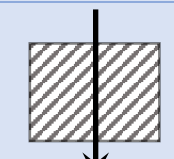
donde:

$$R_{si} = 1/h_i$$

$$R_{se} = 1/h_e$$

La norma NBE-CT-79, aconseja la utilización de algunos valores estándar de la resistencia térmica superficial, los cuales dependen de la pendiente del cerramiento y de su posición. En la Tabla 2.3 se aprecian dichos valores.

Tabla 2.3. Valores de resistencia térmica superficial aconsejados por NBE-CT-79

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor.		Situación del cerramiento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire.		
		1/h _i	1/h _e	1/h _i + 1/h _e	1/h _i	1/h _e	1/h _i + 1/h _e
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal		0.13	0.07	0.20	0.13	0.13	0.26
		(0.11)	(0.06)	(0.17)	(0.11)	(0.11)	(0.22)
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤ 60° y flujo ascendente		0.11	0.06	0.17	0.11	0.11	0.22
		(0.09)	(0.05)	(0.14)	(0.09)	(0.09)	(0.18)
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0.20	0.06	0.26	0.20	0.20	0.40
		(0.17)	(0.05)	(0.22)	(0.17)	(0.17)	(0.34)
		Resistencia térmica superficial en m ² h °C/kcal (m ² °C / W)					

Fuente: NBE-CT-79

Finalmente, se encuentran **fenómenos de convección** en las paredes de los cerramientos, tanto en el interior como en el exterior, y para simplificación de cálculos, se utilizan como valores estándar los aconsejados por la norma española NBE-CT-79, dependiendo de la situación de los cerramientos, ya sea por la forma de separación con otro medio, por la ubicación y por la dirección de flujo de calor.

2.6. Resistencia de las cámaras de aire

Los gases ofrecen una alta resistencia al flujo del calor, o bien, una baja conductancia, el aire, por ejemplo, tiene una conductividad de 0.024 W/m°C, por lo tanto, una cámara de aire o un hueco dentro de un cerramiento podría desempeñarse como una capa aislante, siempre y cuando sea superior a varios centímetros.

La separación entre las caras de la cámara de aire o el hueco favorecen el incremento de capacidad aislante hasta 5 cm, a partir de ahí se pueden generar remolinos de aire por convección que limitan el aumento del aislamiento, además, un flujo de calor ascendente dentro de la cámara de aire favorece la disminución de capacidad aislante caso contrario si el flujo de calor es descendente.

La Tabla 2.4 muestra la resistencia térmica estimada de algunos espesores de cámaras de aire R_h que se aconseja utilizar por la norma NBE-CT-79, donde el aire se encuentre en reposo.

Tabla 2.4. Resistencia térmica de diferentes espesores de cámara de aire

Situación de la cámara y dirección del flujo de calor	Espesor de la cámara, en mm				
	10	20	50	100	≥150
Cámara de aire vertical y flujo horizontal	0.16	0.19	0.21	0.20	0.19
	(0.14)	(0.16)	(0.18)	(0.17)	(0.16)
Cámara de aire horizontal y flujo ascendente	0.16	0.17	0.19	0.19	0.19
	(0.14)	(0.15)	(0.16)	(0.16)	(0.16)
Cámara de aire horizontal y flujo descendente	0.17	0.21	0.24	0.24	0.24
	(0.15)	(0.18)	(0.21)	(0.21)	(0.21)
Resistencia térmica de la cámara R_c en $m^2 h \text{ } ^\circ C/kcal$ ($m^2 \text{ } ^\circ C/W$)					

Fuente: NBE-CT-79

2.7. Flujo Total y coeficiente de conducción U

Si la resistencia total se calcula considerando las resistencias de cada capa de material más las resistencias térmicas superficiales incluyendo la cámara de aire, entonces:

$$R_t = R_{se} + \frac{\sum e_i}{\lambda_i} + R_h + R_{si} [m^2 \text{ } ^\circ C/W] \quad (2.13)$$

el flujo total será:

$$Q_s = \Delta t / Rt [W/m^2] \quad (2.14)$$

El coeficiente global de conductividad o conductancia **U** de calor es el recíproco de la resistencia térmica, y se utiliza en ocasiones como alternativa a la resistencia térmica.

$$U = 1/Rt \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad (2.15)$$

Convirtiendo la ecuación del flujo de calor por unidad de área a:

$$Q_s = \Delta t * U [W/m^2] \quad (2.16)$$

2.8. Coeficiente de conducción medio de fachadas

Cuando una fachada está formada por diferentes cerramientos, como muros o ventanas, es posible estimar un coeficiente de conducción medio **Um** como media ponderada de sus coeficientes U_i , en proporción a sus superficies [m^2] respectivas:

$$Um = \Sigma U_i * S_i [W/m^2 \cdot ^\circ C] \quad (2.17)$$

2.9. Temperatura en la superficie del cerramiento

Con la temperatura superficial del cerramiento se puede determinar si podría existir **condensación superficial** lo que perjudica la vida útil del cerramiento. La condensación superficial se presenta si la temperatura de la superficie de contacto **tsi** es menor a la temperatura de punto de rocío del aire. El salto térmico entre la superficie del cerramiento y el aire interior **Δtsi** es proporcional al salto térmico total **Δttot** y la relación entre su resistencia térmica superficial **Rsi** respecto a la resistencia térmica total **Rt**.

$$\Delta t_{si} = (\Delta t_{tot} / Rt) * R_{si} \quad (2.18)$$

$$\Delta t_{si} = Q_s * R_{si} \quad (2.19)$$

En el caso, de que la temperatura del aire interior **tai** fuera mayor a la del aire exterior **tae**, la temperatura en la superficie interior sería: **tsi = tai - Δtsi**.

La **temperatura de punto de rocío (tpr)** se presenta cuando una masa de aire húmedo se enfría hasta que su **humedad absoluta** coincide con su humedad de saturación, si continúa en descenso la temperatura de esta masa de aire el vapor comenzará a condensarse en forma líquida, disminuyendo así la humedad absoluta.

La **humedad absoluta (H_u)** en [g/m³], es la cantidad de agua encontrada en un volumen cerrado de 1 m³ (Testo, 2017).

2.10. Acumulación de calor en los cerramientos

Los cerramientos de los edificios tienen una considerable capacidad de almacenar calor debido a la gran masa que poseen, cuando penetra un determinado flujo de calor a través de ellos, el cerramiento presenta un ligero incremento de temperatura debido a su elevada capacidad de acumular calor o **capacidad térmica**.

La capacidad térmica **C_t** de un cerramiento homogéneo, depende de su masa superficial **m** [kg/m²], que es función de su espesor **e** debido a su densidad **D** [kg/m³], y de su calor específico γ [kJ/kg°C o kcal/kg°C], según la siguiente ecuación.

$$C_t = m * \gamma = e * D * \gamma \left[\frac{kJ}{m^2 \cdot ^\circ C} \text{ o } \frac{kcal}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad (2.20)$$

La cantidad de energía **E** [kJ o kcal] acumulada por un cerramiento depende de su capacidad térmica **C_t**, de su incremento de temperatura **Δt** y de su superficie **S**, según la siguiente expresión:

$$E = C_t * \Delta t * S \quad (2.21)$$

2.11. Transmisión de calor en régimen transitorio

Un régimen estable o estacionario se presenta cuando no hay cambios en las condiciones de un sistema, se supone una condición constante en un punto e instante de tiempo determinado. En este tipo de régimen, la temperatura y el flujo de calor permanecen inalterables con el transcurso del tiempo en cualquier ubicación tratándose de superficies isotérmicas.

El estado transitorio (no estacionario) implica cambios con el tiempo o dependencia respecto al tiempo, en este régimen, las condiciones cambian en diversos puntos con respecto a un periodo de tiempo.

Al haber una transmisión de calor en régimen transitorio, gran parte del flujo de calor transmitido se emplea en acumular o disipar calor en la masa del cerramiento, así, el calor que realmente penetra o sale del ambiente interior es reducido, a esto se le llama **amortiguación**. Otro efecto que se presenta en este régimen es un desfase entre el momento en el cual entra el calor por una cara y sale por otra cara, se denomina **retardo**.

La **inercia térmica** se refiere a la variación de temperatura que existe entre la cara interna del cerramiento y la cara exterior del cerramiento, dicha diferencia es proporcional al ancho de las paredes del mismo, en la Figura 2.3 se puede explicar con más detalle.

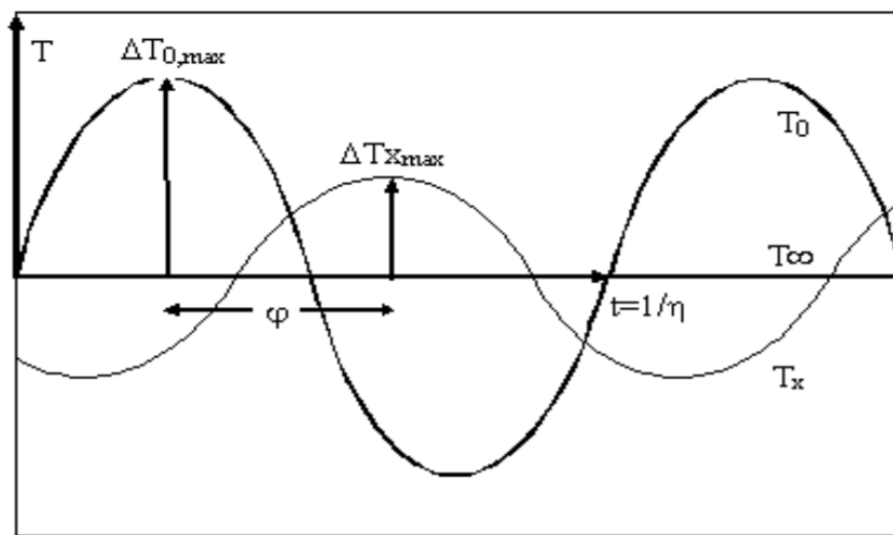


Figura 2.3. Inercia térmica de la transmisión de calor en régimen transitorio
 Fuente: Monroy, 2006

De la Figura 2.3, la temperatura de la cara externa del cerramiento está definida por T_0 , mientras que la temperatura interna por T_x , y se observa que existe un retardo entre las temperaturas φ , que en sentido práctico significa que cuando el cerramiento externamente tenga una temperatura alta, el día por ejemplo, y ésta comience a fluir a través del muro se almacenará en él, transcurrido un periodo de tiempo φ , el calor almacenado en el muro comenzará a fluir hacia el cerramiento, y si ahora la temperatura externa es mucho menor a la interna, de noche por ejemplo, ocurrirá lo contrario, generando un ciclo térmico con un retardo de temperatura continuo.

De la Figura 2.3, el coeficiente de amortiguación es:

$$\mu = \Delta t_{x, max} / \Delta t_{0, max} \quad (2.22)$$

Y el retardo:

$$\varphi = \text{instante } \Delta t_{x, max} - \text{instante } \Delta t_{0, max} (\text{horas}) \quad (2.23)$$

2.12. Influencia de soleamiento en los cerramientos

El soleamiento de las fachadas de los cerramientos es un factor de aporte de energía muy importante para el estudio del comportamiento térmico de los mismos, ya que la incidencia de la radiación solar en la superficie exterior puede generar temperaturas muy elevadas y grandes flujos de calor.

En la Figura 2.4 se puede observar el comportamiento del flujo de calor entre la temperatura exterior y la interior a través de una pared, sin aportación de radiación solar.

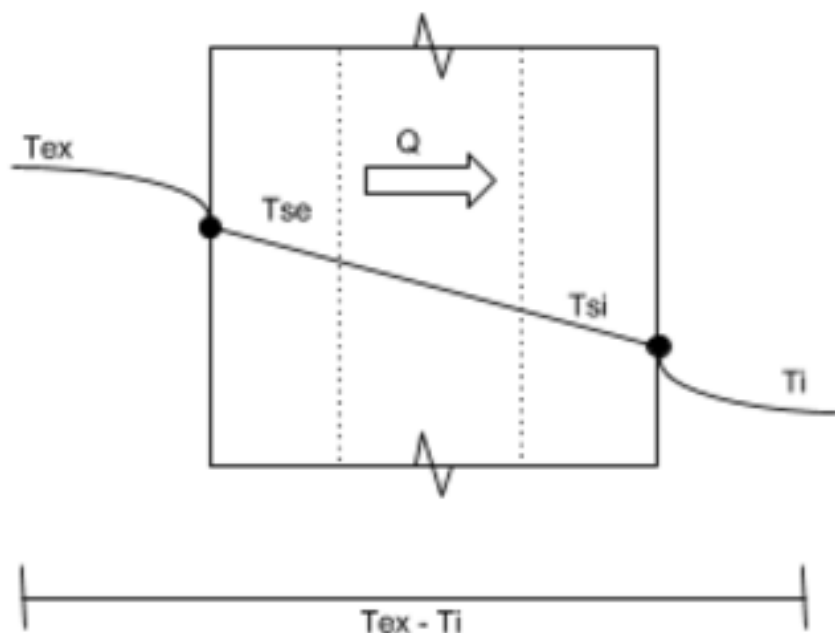


Figura 2.4. Flujo de calor de un cerramiento sin aportación de radiación solar directa
 Fuente: Monroy, 2006

En la Figura 2.5 se observa el comportamiento del flujo de calor entre la temperatura exterior y la temperatura interior a través de una pared, con aportación de radiación solar.

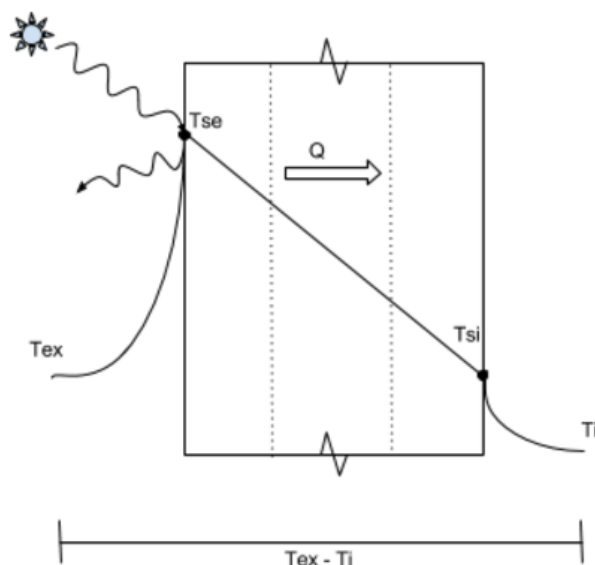


Figura 2.5. Flujo de calor de un cerramiento con aportación de radiación solar directa
 Fuente: Monroy, 2006

Para estimar la influencia de soleamiento en exteriores, mediante la variable **temperatura sol-aire**, se requiere del cálculo de la radiación neta incidente **Q_i** [W/m²], que se calcula mediante la intensidad solar **I** [W/m²] y el ángulo de incidencia **φ**, de manera que **Q_i = I cos φ** y el coeficiente de absorción a la radiación solar **α** de la superficie exterior:

$$t_{se} = \frac{\left(Q_i * \alpha + \frac{t_e}{R_{se}} + \left(\frac{t_i}{R_t - R_{se}} \right) \right)}{\frac{1}{R_{se}} + \frac{1}{R_t - R_{se}}} \quad (2.24)$$

Así, el calor que penetra al interior se obtiene:

$$Q_i = \frac{t_{se} - t_i}{R_t - R_{se}} \quad (2.25)$$

2.13. Radiación del calor

La radiación es un fenómeno físico mediante el cual se realiza una transferencia de calor desde una superficie emisora a su entorno, esta transferencia de calor se lleva a cabo mediante la absorción y emisión de energía por medio de ondas electromagnéticas, estas ondas a diferencia de la conducción y la convección, se transmiten a través del vacío o medios transparentes como el aire.

La radiación se presenta como ondas electromagnéticas que pueden tener diferentes longitudes de onda, dependen del tipo y temperatura de la fuente y producen distintos efectos según sea el espectro. Se clasifica por la longitud de su onda, ya sea como **radiaciones de onda corta y onda larga**.

En la Figura 2.6 se pueden observar algunas diferentes longitudes de onda que existen, las frecuencias a las cuales se presentan, las temperaturas en Kelvin [K] que alcanzan y la escala aproximada en la que se encuentran.

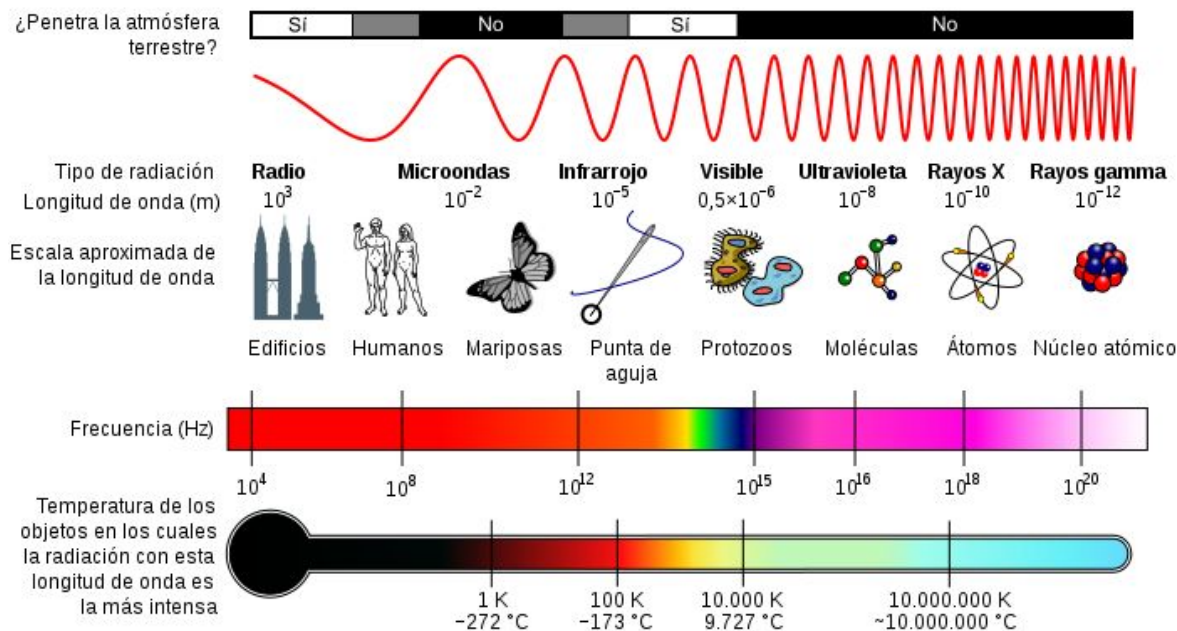


Figura 2.6. Clasificación de la radiación

Fuente: http://laplace.us.es/wiki/index.php/Calor_y_calorimetría

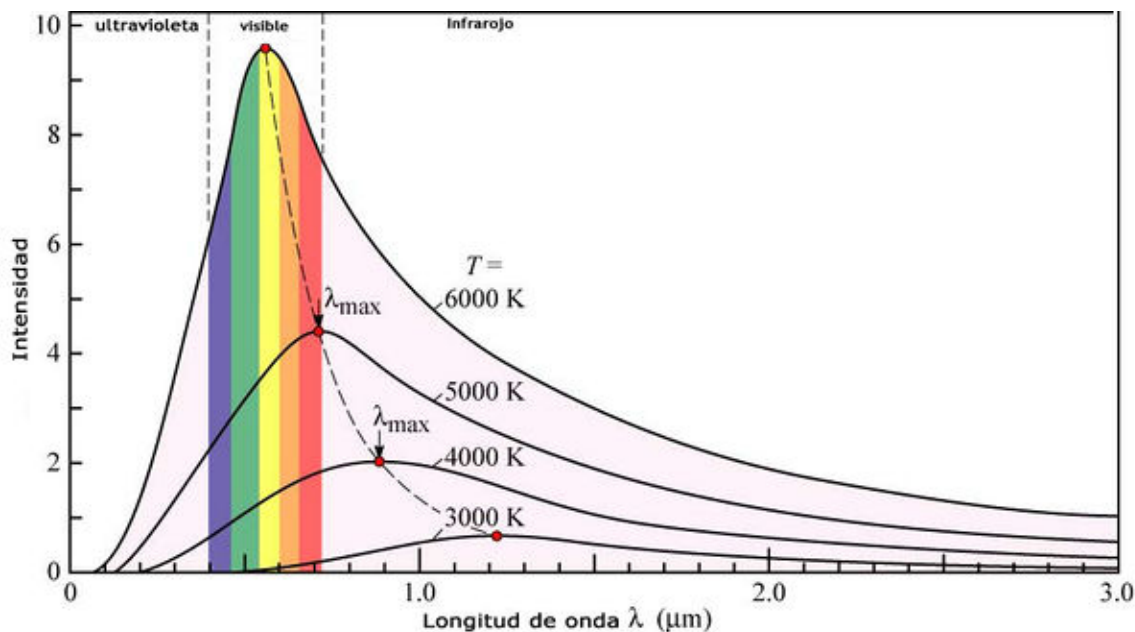


Figura 2.7. Longitud de onda de la radiación solar
 Fuente: http://laplace.us.es/wiki/index.php/Calor_y_calorimetría

En la Figura 2.7 se observa, de las longitudes de onda hasta los 3.0 μm , el rango de luz visible, que aproximadamente se encuentra de los 380 nm hasta los 760 nm y las temperaturas en las que se encuentran.

La radiación térmica de onda corta, que va de entre 0.2 a 3 micrómetros, se caracteriza por que son las fuentes de radiación de alta temperatura ($T > 3000 \text{ K}$), como el sol o el alumbrado artificial, cuya radiación se subdivide en ultravioleta ($\lambda < 380 \text{ nm}$), el espectro visible ($380 \text{ nm} < \lambda < 760 \text{ nm}$) e infrarrojo ($760 \text{ nm} < \lambda < 3.0 \mu\text{m}$), todas estas radiaciones pueden ser absorbidas por las superficies que nos rodean.

Radiación térmica de onda larga, conocida también como **Irradiación**, tiene una longitud de onda de entre 3.0 y 50 μm , puede ser emitida por las superficies que nos rodean y también absorbidas. La temperatura aproximada de estas longitudes de onda alcanza los 300 K, son fuentes de radiación a temperatura ambiente, y se encuentran en el espectro del infrarrojo.

2.14. Absorción de la radiación

La intensidad calorífica [W/m^2] es un flujo de energía direccional que se puede transformar en calor \mathbf{P} [W] cuando es absorbida por una superficie \mathbf{S} [m^2]. El **flujo**

de calor absorbido Q [W/m^2] depende del coseno del **ángulo de incidencia** φ de la radiación sobre la superficie [I] y del coeficiente de absorción o **absortancia** α de la superficie del material, según las siguientes expresiones:

$$Q = I * \cos\varphi * \alpha \quad [W/m^2] \quad (2.26)$$

$$P = Q * S \quad [W] \quad (2.27)$$

El coeficiente de absorción o **absortancia** α es la fracción de la radiación incidente “atrapada” por la superficie, mientras que el resto puede ser reflejada, **reflectancia** r , e incluso transmitida, **transmitancia** τ , si la superficie es parcialmente transparente.

La suma de los coeficientes **absortancia** α , **reflectancia** r , **transmitancia** τ , es la unidad.

$$\alpha + r + \tau = 1 \quad (2.28)$$

Así, se tiene que para un cuerpo:

Transparente perfecto: $\tau = 1$

Especular perfecto: $r = 1$

Absorbente perfecto: $\alpha = 1$

Totalmente opaco: $\alpha + r = 1$

En un material, la radiación absorbida se distribuye entre su calentamiento por conducción y acumulación, parte se disipa en el aire en contacto con su superficie por convección o se regresa al entorno como irradiación infrarroja.

2.15. Irradiación calorífica

El intercambio de calor entre superficies “calientes” se denomina **irradiación calorífica** ya que emiten y absorben radiaciones de onda larga propias del espectro infrarrojo, se consideran temperaturas calientes las que superan las típicas del ambiente, en términos de temperatura absoluta (K) que equivaldrían aproximadamente 303 K (20°C).

Las superficies opacas emiten energía Q_e [W/m^2] en forma de radiación en una magnitud proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta t [K], y en función de la propiedad superficial denominada **emitancia** ϵ , y de la constante de

Stefan-Boltzmann $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2\cdot\text{K}^4\text{]}$.

$$Qe = \sigma * \varepsilon * t^4 = 5.67 \times 10^{-8} * \varepsilon * t^4 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2.29)$$

Al mismo tiempo que las superficies calientes emiten radiaciones infrarrojas, absorben radiaciones infrarrojas de otros cuerpos a su alrededor, por lo que tienen la propiedad superficial de **absortancia de onda larga**, la cual tiene el mismo valor que la emitancia ε .

El **flujo de calor** absorbido $Qa \text{ [W/m}^2\text{]}$ depende del flujo incidente $Qi \text{ [W/m}^2\text{]}$ y de la emitancia ε de la superficie receptora.

$$Qa = Qi * \varepsilon \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2.30)$$

2.16. Convección radiación

Si desde una superficie a la temperatura ts se ve otra superficie que está a la temperatura tr , y que se encuentra en contacto con un fluido a la temperatura ta , véase Figura 2.8, suponiendo que la temperatura ts es mayor que las otras dos, para estas condiciones existirá un flujo de calor desde la primera superficie al fluido por convección y desde la primera superficie a la segunda por radiación, el flujo total vendrá dado por la suma de ambos.

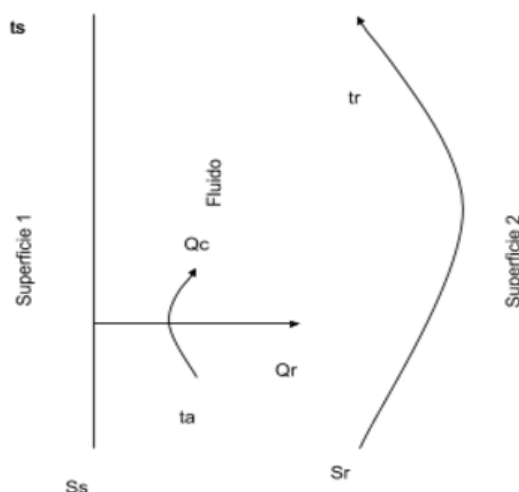


Figura 2.8. Fenómeno convección - radiación
 Fuente: Monroy, 2006.

El flujo de calor para la radiación se obtiene de:

$$Q_r = h_r S_s (t_1 - t_2) \quad (2.31)$$

h_r se obtiene con:

$$h_r = \sigma \varepsilon_1 (t_1 - t_2) (t_1 + t_2) \quad (2.32)$$

donde:

t_1 = temperatura absoluta en K de la superficie emisora

t_2 = temperatura absoluta en K del medio ambiente

σ = constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K}^4]$

El flujo de calor por convección se obtiene de:

$$Q_c = h_c S_s (t_1 - t_2) \quad (2.33)$$

t_1 será la temperatura más caliente, dependiendo de la dirección del flujo del calor

t_2 será la temperatura más fría, dependiendo de la dirección del flujo de calor

Entonces, el flujo de calor total por convección radiación se obtiene de:

$$Q_{rc} = S_s (h_r + h_c) (t_1 - t_2) \quad (2.34)$$

2.17. Absortancia y emitancia superficial

Los **coeficientes de absortancia α** a la radiación de onda corta y de **emitancia ε** a la radiación de onda larga, son utilizados para estimar los flujos de **radiación calorífica** en los ambientes exteriores e interiores.

Los materiales que tienen una elevada absortancia y emitancia son denominados **cuerpos negros** ya que idealmente absorben toda la energía que incide en ellos y también la emiten, por ejemplo, el asfalto y la arena húmeda. Los materiales que tienen poca **absortancia**, que es el recíproco de la **reflectancia r** ($r = 1 - \alpha$) y **emitancia**, son considerados materiales reflectores, como el aluminio pulido; mientras que los materiales que tienen aproximadamente la misma absorbancia y emitancia se denominan **cuerpos grises**. En la Tabla 2.5, se muestran algunos materiales con sus propiedades de absortancia y emitancia.

Tabla 2.5. Valores de absorptancia y emitancia de diferentes materiales

Superficies	Absortancia α	Emitancia ϵ
Cal, yeso	0.08	0.95
Papel	0.25	0.95
Pintura blanca reciente	0.10 a 0.15	0.90
Pintura colores claros	0.30 a 0.40	0.90
Mármol	0.40 a 0.50	0.95
Pintura colores medios y grises	0.50 a 0.70	0.90
Ladrillo rojo	0.65	0.93
Hormigón claro	0.60 a 0.70	0.88
Arena húmeda	0.90	0.95
Asfalto	0.95	0.95

Fuente: Jutglar, 1998

Las **superficies selectivas**, son materiales que tienen una absorptancia muy distinta a su emitancia. En construcciones, las **superficies selectivas frías**: cal, pintura blanca, son frecuentes porque tienen una baja absorptancia (no se calientan con la radiación solar) y una alta emitancia (buenos emisores de irradiación).

Las **superficies selectivas calientes** (metales con tratamiento superficial), suelen emplearse en colectores solares por su alta absorptancia (absorben mucha radiación solar) y una baja emitancia (emiten poca radiación).

2.18. Superficies transparentes

El **factor de transmisión** o **transmitancia** τ , aparece cuando los materiales son parcialmente transparentes, como el plástico, que es la proporción de energía que atraviesa el material.

La transmitancia de vidrio es un caso especial, se le llama **transmisión selectiva**, ya que presenta una transmitancia solar muy alta, $\tau = 0.85$ en vidrio claro, sin embargo, su transmitancia a la radiación de onda larga es prácticamente nula, en otras palabras, no permite el flujo de radiación de onda larga a través de su superficie.

Debido a esta **transmisión selectiva** se produce el llamado efecto invernadero dentro de cerramientos acristalados ya que incide la radiación solar de onda corta, que es absorbida por paredes u otros materiales dentro de los cerramientos, y cuando estos materiales emiten o reflejan dicha energía en forma de radiación de onda larga ya no puede salir porque el vidrio bloquea el paso a esta radiación y se acumula el calor.

La **irradiación nocturna** se presenta cuando el aire de la atmósfera, principalmente seco y con cielo despejado, que es parcialmente transparente a la radiación infrarroja lejana o radiación de onda larga, permite el flujo de calor libremente de las superficies exteriores, produciéndose así un balance negativo que conduce a enfriamientos importantes en los cerramientos por la noche.

2.19. Calor por cambio de fase

En el interior de los edificios se pueden producir fenómenos de cambio de fase del agua, generalmente mediante procesos de evaporación del agua líquida y condensación del vapor de agua del ambiente, esto se observa generalmente en las ventanas cuando se forman películas de condensados por las mañanas.

El agua tiene la capacidad de almacenar una enorme cantidad de energía durante la evaporación, energía que permanece latente hasta que se disipa en el proceso reversible de la condensación, esta cantidad de calor que un líquido absorbe se denomina **calor de vaporización** (C_v), y en el caso del agua es **$C_v = 2260 \text{ kJ/kg} = 540 \text{ kcal/kg}$** .

2.20. Difusión de vapor de agua a través de una pared

Cuando una pared separa dos ambientes que están a distinta presión parcial de vapor de agua, se transfiere agua en estado de vapor a través de la pared, en el sentido de mayor a menor presión de vapor. Al conocer la presión parcial de vapor a ambos lados de una pared compuesta, se podrá calcular la presión de vapor en un punto cualquiera cuando el régimen sea estacionario.

Si las distintas capas que forman la pared de un cerramiento, debido al material de fabricación, generan considerables diferencias de presión parcial de vapor, se puede provocar que este vapor de agua cambie de estado, de la forma gaseosa a la forma líquida, lo que ocasionaría deterioros en las paredes de los cerramientos y desmoronamiento de los mismos debido al salitre o humedad, esto ocurre cuando la presión de vapor es mayor a la presión de vapor saturado correspondiente a la temperatura del cerramiento.

La **permeabilidad** se refiere a los kilogramos de vapor de agua que pasan en un segundo a través de una pared plana homogénea de un metro cuadrado de superficie y un metro de espesor, cuando la diferencia de presión de vapor a ambos

lados de la misma es de un Pascal, sus unidades en el SI son: kg/(m•s•Pa), haciendo analogía al flujo de calor, sería como la conductividad.

La **permeancia** se define como la cantidad de vapor, por unidad de tiempo, que pasa a través de una muestra de un espesor dado y superficie unitaria, cuando entre sus caras hay una diferencia de presión unitaria, en analogía con el flujo de calor, sería como la conductancia.

La relación entre la permeabilidad y la permeancia son:

$$W_p = \frac{\delta_p}{e} \quad (2.35)$$

donde:

e, espesor de la muestra

W_p , permeancia

δ_p , permeabilidad

La permeancia de un material depende de su forma y estructura, esta coincide con la permeabilidad cuando su espesor es la unidad.

El comportamiento del flujo de vapor es muy parecido al del flujo de calor por conducción, de tal manera que se cumple la analogía de la Tabla 2.6, entre sus unidades.

Tabla 2.6. Analogía entre unidades térmicas y de vapor

Transferencia de calor	Transferencia de vapor
Calor por unidad de tiempo Q	Masa de vapor por unidad de tiempo M
Conductividad térmica λ	Permeabilidad al vapor de agua δ
Temperatura t	Presión parcial de vapor de agua p
Flujo de calor $Q = \lambda/e(t_2 - t_1)$	Flujo de vapor $M = \delta/e(p_2 - p_1)$
Resistencia térmica $R = e/\lambda$	Resistencia al paso de vapor $R_v = e/\delta$

Fuente: Elaboración propia con datos de Jutglar, 1998

La resistividad al paso de vapor de agua, que es el inverso de la permeabilidad, a través de un material es variable, y depende tanto de los componentes de material como de su espesor, existen valores estimados en tablas de la NBE-CT-79.

La resistencia al vapor de agua, que es el inverso de la permeancia, depende también del espesor con el que cuenta, algunos valores ofrecidos por la NBE-CT-79 establecen algunos valores para láminas de diferentes materiales, mostrados en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Valores de resistencia al flujo de vapor de agua de diferentes materiales

Materiales en forma de lámina	Resistencia al vapor de agua	
	MN s/g m	mmHg m ² día / g cm
Lámina de polietileno de 0.10 mm	230	20
Lámina de poliéster de 25 micras	24	2.08
Papel Kraft	0.43	0.037
Pintura al esmalte	7.5 - 40	0.65 - 3.48
Papel vinílico de revestimiento	5 - 10	0.43 - 0.86

Fuente. NBE-CT-79

Los datos meteorológicos ofrecen además de la temperatura del ambiente, el porcentaje de humedad que está presente en la zona, es importante, para determinar la presión parcial de vapor de agua, conocer la presión de saturación a la temperatura dada.

2.21. Materiales aislantes

Diversos materiales son usados en construcción, algunos de ellos debido a su dureza para sostener o soportar el peso y otros para dar un acabado estético. Algunos de estos materiales, además de gran dureza, son buenos conductores del calor, como los metales, que tienen una alta conductividad. Con estos materiales altos en valores de conductividad podrían lograrse pérdidas considerables de calor o ganancia del mismo en un lapso de tiempo breve.

Otros materiales poseen un valor considerablemente bajo ante el flujo de calor a través de su superficie, estos materiales se consideran aislantes térmicos. El hormigón, por ejemplo, puede servir como aislante térmico bajo ciertas condiciones, algunas de las características de diferentes materiales se muestran en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Conductividad térmica de diferentes materiales

Material	Densidad aparente [kg/m ³]	Conductividad térmica λ [kcal/hm°C, W/m°C]
PASTAS, MORTEROS Y CEMENTOS		
Cementos normales y ligeros		
- Cemento armado (normal)	2 400	1.40 (1.63)
- Cemento con áridos ligeros	600	0.15 (0.17)
- Cemento celular con áridos silíceos	600	0.29 (0.34)
- Cemento celular sin áridos	305	0.08 (0.09)
- Cemento en masa con arcilla expandida	500	0.10 (0.12)
PLACAS O PAREDES		
- Cartón-yeso	900	0.16 (0.18)
- Cemento con fibra de madera	450	0.07 (0.08)
- Placas de escayola	800	0.26 (0.30)
LADRILLOS Y PLAQUETAS		

- Fábrica de ladrillo macizo	1 800	0.75 (0.87)
- Fábrica de ladrillo perforado	1 600	0.65 (0.76)
- Fábrica de ladrillo hueco	1 200	0.42 (0.49)
-Plaquetas	2 000	0.90 (1.05)
MADERA		
-Maderas frondosas	800	0.18 (0.21)
-Maderas de coníferas	600	0.12 (0.14)
-Contrachapado	600	0.12 (0.14)
-Tablero aglomerado de partículas	650	0.07 (0.08)

Fuente: Jutglar, 1998

Capítulo III. Desarrollo metodológico

3.1. Selección del material aislante

En el presente proyecto se pretende fabricar y caracterizar materiales para aislamiento térmico en casas de la zona del Ajusco, que sean propios del lugar. En este sentido, el hormigón con fibra de madera, aserrín o algún producto similar proveniente de algún proceso de transformación de madera pudo ser una solución viable debido a su baja conductividad térmica, ver Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Densidad y conductividad de algunas maderas

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica λ kcal/hm °C (W/m°C)
MADERA		
- Maderas frondosas	800	0.18 (0.21)
- Maderas de coníferas	600	0.12 (0.14)
- Contrachapado	600	0.12 (0.14)
- Tablero aglomerado de partículas	650	0.07 (0.08)

Fuente: Jutglar, 1998

Aunque la opción fue muy buena se encontraron algunos inconvenientes como la escasa disponibilidad del producto, así que se analizaron otras opciones.

La celulosa de papel mezclada con cemento presenta una conductividad de 0.241 W/m°C a una temperatura de 160°C, donde la relación de peso celulosa a peso cemento propuesta es de 0.6, la relación agua cemento 0.75 l/kg y por cada gramo de celulosa 0.7 ml de agua (Muñoz, 2006).

La celulosa de papel representaba también una excelente opción debido a que es un material de desecho, pero no es un material de abundancia en la zona del Ajusco y se encontró que conseguirlo y acarrearlo sería costoso, así que no se consideró tampoco como opción.

El poliestireno expandido en perlas (unicel) presenta una muy baja conductividad térmica como se observa en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Densidad y conductividad del poliestireno

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica λ kcal/hm °C (W/m°C)
- Poliestireno expandido UNE 53 310:		
+Tipo I	10	0.049 (0.057)
+Tipo II	12	0.038 (0.044)
+Tipo III	15	0.032 (0.037)
+Tipo IV	20	0.029 (0.034)
+Tipo V	25	0.028 (0.033)

Fuente: Jutglar, 1998

Se decidió no utilizarlo debido a poca disponibilidad en la zona, además, desde el proceso de fabricación y hasta su degradación este material contamina.

Debido a que la zona del Ajusco fue volcánica, cuenta con un volcán extinto llamado Xitle, existen bancos de arena a la vista en toda la zona y basta con escarbar unos cuantos centímetros para localizarlos. Esta arena es utilizada por los habitantes para construir sus viviendas, en la Figura 3.1 se puede apreciar un banco de arena a un costado de la carretera.



Figura 3.1. Banco de arena en el Ajusco
 Fuente: Elaboración propia

El Ajusco cuenta con un bosque de coníferas integrado principalmente por: oyamel, pino, encino, paramo de altura, entre otros. Por consiguiente, existe abundancia de hojas en forma de aguja seca a nivel de piso que se caen de los árboles,

principalmente de los pinos, estas hojas están a la mano de cualquier persona, en las Figuras 3.2 y 3.3 se pueden observar dos áreas llenas de hoja tipo aguja en sus faldas.



Figura 3.2. Área de bosque en el Ajusco con hojas en forma de aguja en el suelo
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.3. Colina del bosque del Ajusco con hoja tipo aguja en el suelo
Fuente: Elaboración propia

3.2. Determinación del material aislante

Se decidió finalmente que para este proyecto se analizaría la aguja de pino como material aislante agregándola al enfoscado tradicional común que se utiliza para aplanar las viviendas en obra negra de la zona.

Se recolectaron los materiales: aguja de pino y arena de la zona, se utilizó también arena porque ya es usada en esta zona como material de construcción. En las Figuras 3.4 y 3.5 se muestran los materiales ya almacenados.



Figura 3.4. Hoja de pino seca recolectada
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.5. Arena del sitio recolectada
Fuente: Elaboración propia

3.3. Proceso de preparación de pruebas

3.3.1. Preparación del material y equipo

Para analizar el comportamiento de diferentes propuestas de enfoscados se consideró realizar placas de prueba de 20 cm de largo por 10 cm de ancho por 2 cm de espesor. Se decidió un grosor de 2 cm debido a que personas nativas de la zona, que trabajan la albañilería tradicionalmente dan ese grosor a sus enfoscados.

Sin embargo, según la Norma Tecnológica de Edificación/1994, “Revestimientos de Parámetros: Enfoscados (NTE-RPE) de aplicación en revestimientos continuos realizados con mortero de cemento, de cal o mixtos en paredes y techos interiores y exteriores, señala que el grosor del enfoscado debe ser máximo de 15 mm. De ser mayor a este grosor, se deben aplicar capas sucesivas sin superar dicho espesor, en la Tabla 3.3 se presentan los grosores permitidos y su utilización.

Tabla 3.3. Grosor de enfoscados

Tipo de terminación sobre el enfoscado	Exterior		Interior	
	Pared	Techo	Pared	Techo
Sin revestimiento posterior, pintura o revestimiento flexible o ligero pegado	15	12	12	10
Estuco y revocos	12	10	10	10
Plaqueados	10	10	10	10
Enlucido con yeso	-	-	10	10

Fuente: NTE-RPE.

Para fabricar las placas se construyó un bastidor de madera con cinco espacios a las medidas dadas. En la Figura 3.6 se muestra el bastidor.

La hoja de pino tiene una longitud promedio de 15 cm (Figura 3.7), pero esta longitud no puede ser utilizada ya que la mezcla sería muy inconsistente, así que se redujo su tamaño utilizando un molino para nixtamal (Figura 3.8), dando como resultado agujas de 1 cm en promedio (Figura 3.9).



Figura 3.6. Bastidor de madera
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.7. Hoja seca de pino
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.8. Molino para trozar las hojas
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.9. Hoja seca de pino trozada
Fuente: Elaboración propia

La arena recolectada fue tamizada para apartar pedazos muy grandes y materia orgánica, en la norma NTE-RPE se indica que el tamaño de los granos de arena para su aplicación en enfoscados no deberá ser superior a 2.5 mm. Se tamizó la arena recolectada por medio de un agitador de tamices (Figura 3.10) que la separó en seis diferentes tamaños (Figura 3.11).



Figura 3.10. Agitador de tamices de la ESIA unidad Zacatenco
 Fuente: Elaboración propia



Figura 3.11. Torre de tamices de diferente medida
 Fuente: Elaboración propia

Cada uno de los tamices permite pasar a través de su membrana arena de cierto tamaño, en la Tabla 3.4 se muestra la apertura de tamizado de cada una.

Tabla 3.4. Apertura de tamizado de cada tamiz

Tamiz	Apertura de tamizado en mm	Apertura de tamizado en pulgadas
4(1)	5.16	0.203
8(2)	2.36	0.093
16(3)	1.13	0.045
30(4)	0.54	0.021
50(5)	0.28	0.011
100(6)	0.14	0.006

Fuente: Elaboración propia

Al llenar con arena recolectada la torre de tamices y ponerla en la maquina agitadora se observó que la mayor parte de la arena recolectada se concentraba en el tamiz 3, que presenta una apertura de tamizado de 0.54 mm, en la Figura 3.12 se aprecia cada tamizado después de ser agitado.

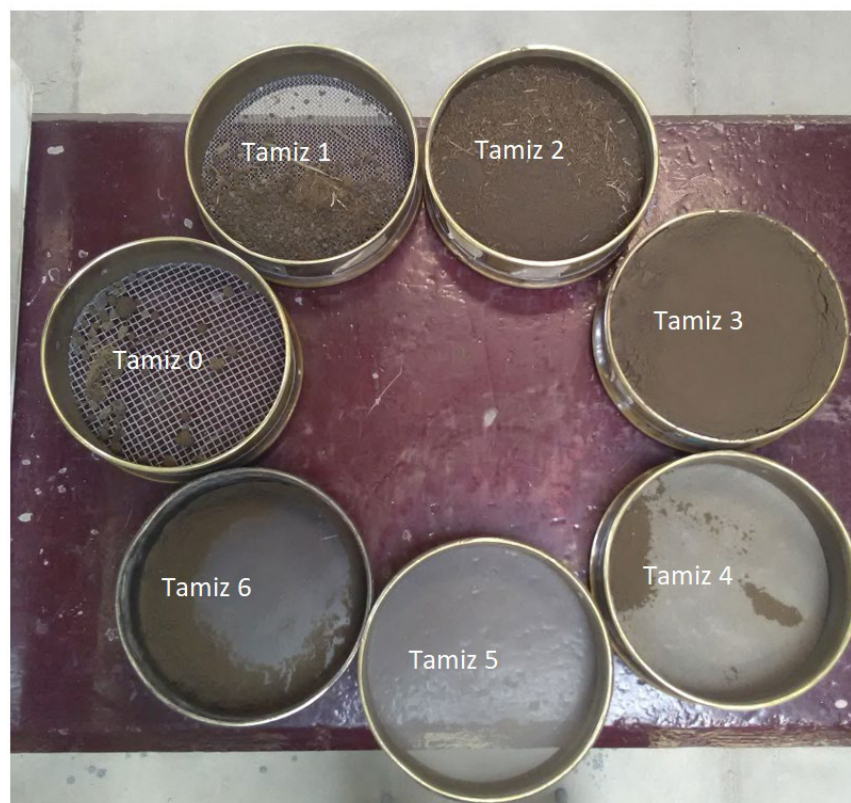


Figura 3.12. Arena recolectada tamizada
Fuente: Elaboración propia

Siguiendo las recomendaciones de la norma NTE-RPE, se separó únicamente la arena de tamaño superior a 2.5 mm, tamiz 0 y 1, se separaron también las raíces mezcladas en la arena, se alcanzan a ver algunas en la Figura 3.12.

Debido a que la arena recolectada forma parte del ecosistema del Ajusco, ésta también se encuentra en contacto con las formas de vida que subsisten allí. Al tamizar la arena se encontraron algunas formas de vida, en la Figura 3.13 se observa una larva de insecto y en la Figura 3.14 se observa una araña, ambas encontradas al tamizar la arena recolectada.



Figura 3.13. Larva de insecto
 Fuente: Elaboración propia



Figura 3.14. Araña
 Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Fabricación de morteros

El porcentaje de materiales para fabricar morteros depende de la utilización que se le dará, pudiendo ser muy pobres para rellenos o muros sin carga, ordinarios para bóvedas de escalera, muros cargados o ricos para bruñidos, enlucidos, muros muy cargados, enfoscados, etc.

Los fabricantes de cemento: Moctezuma y CEMEX, muestran una dosificación para su material tipo mortero de un saco de 50 kg por tres botes de arena de diecinueve y dieciocho litros. En las Figuras 3.15 y 3.16 se muestran dos ejemplos de tablas dosificadoras de estos fabricantes.

Tabla de proporciones para la mezcla perfecta de mortero:					
	Plantillas	Aplanados Alta Resistencia (Zarpeo)	Junteo piedra Braza	Enjarres, Repellados, Aplanados	Junteo de Tabique, Block y Tabicón
	1 Saco Mortero Moctezuma de 50 kg +				
Arena Botes de 18 Litros	 8	 3	 6	 6	 6
<p>La proporción de arena sugerida puede variar de acuerdo a la calidad del material que estés utilizando. Agrega agua hasta lograr la consistencia y adhesividad deseada, empleando el mínimo posible para obtener mejores resultados.</p>					

Figura 3.15. Tabla dosificadora de mortero Moctezuma
 Fuente: Cementos Moctezuma

TABLA DOSIFICADORA

Aplicaciones	Sacos de Mortero 50 kg	Botes de Arena 19 L
Pisos, firmes, banquetas y guarniciones	1+	3
Aplanados y recubrimientos en paneles de poliestireno	1+	3
Aplanados y recubrimientos de alta resistencia	1+	3
Aplanados, enjarres, repellados y entortados	1+	8 - 10
Junteo de blocks, tabiques y mosaico	1+	7 - 9
Cimentaciones de piedra braza	1+	8 - 10
Plantillas	1+	9 - 11

- * Añada la cantidad de agua suficiente para formar una masa plástica de consistencia adecuada para su colocación.
- * Las proporciones pueden variar en cada región por la calidad del agua y de los agregados.
- * Se han considerado botes sin deformaciones y de 19 litros.

Figura 3.16. Tabla dosificadora de mortero Cemex
 Fuente: Cementos Cemex

Un metro cúbico de arena pesa de entre 1600 kg a 2000 kg (Ladulceseguros.com.ar, 2017), si la capacidad de un bote de arena es de 18 litros, lo que equivale a 0.018 m³ y suponiendo 1800 kg como peso promedio del metro cúbico de arena, se tiene que un bote de arena pesa:

$$\text{Bote de arena} = 0.018 \text{ m}^3 \times 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 32.4 \text{ kg}$$

$$\text{Bote de arena} = 0.019 \text{ m}^3 \times 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 34.2 \text{ kg}$$

Si un saco de mortero pesa 50 kg, un bote de 18 litros de arena pesa 32.4 kg y uno de 19 litros pesa 34.2 kg, siguiendo las especificaciones de dosificación de los fabricantes para aplanados, se tienen las dosificaciones mostradas en las Tablas 3.5 y 3.6.

Tabla 3.5. Dosificación morteros Moctezuma

Aplicación	Dosificación Cementos Moctezuma		Relación
Aplanados alta resistencia (Zarpeo)	1 saco mortero - 3 arena (bote 18 l)	50 kg mortero – 97.2 kg arena	1 kg mortero – 1.94 kg arena
Enjarres, aplanados, repellados	1 saco mortero - 6 arena (bote 18 l)	50 kg mortero – 194.4 kg arena	1 kg mortero – 3.88 kg arena

Fuente: Elaboración propia con datos de Cementos Moctezuma

Tabla 3.6. Dosificación morteros Cemex

Aplicación	Dosificación Cemex		Relación
Aplanados y recubrimientos de alta resistencia	1 saco mortero - 3 arena (bote 19 l)	50 kg mortero – 102.6 kg arena	1 kg mortero – 2.05 kg arena
Enjarres, aplanados, repellados y entortados	1 saco mortero – 8 a 10 arena (bote 19 l)	50 kg mortero – 273.6 a 342 kg arena	1 kg mortero – 5.47 a 6.84 kg arena

Fuente: Elaboración propia con datos de CEMEX

En norma NTE-RPE se recomienda para dosificación en volumen de morteros la mostrada en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Dosificación morteros según NTE-RPE

Composición del revestimiento de terminación o de su material de agarre	Tipo de soporte			
	Sin cal		Con cal	
	Exterior C K A	Interior C K A	Exterior C K A	Interior C K A
Sin revestimientos de terminación o agarres sintéticos	1/-/3	1/-/4	-/1/3	-/1/4
Terminación o agarre con cemento	1/-/3	1/-/4	1/1/6	1/1/8
Terminación o agarre con cal	1/1/6	1/1/8	-/1/3	-/1/4
Enlucidos con yeso	-	1/-/6	-	-/1/5

Nota: C = cemento; K = Cal; A = arena

Fuente: NET-RPE

3.3.3. Dosificaciones de material aislante, primeras pruebas

Con los materiales reunidos, y teniendo en mente las posibles dosificaciones según diferentes fuentes, se realizaron las primeras placas de prueba, ver Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Dosificación propuesta para primeras pruebas

Placa	Cemento	Arena	Agujas de pino	Agua
Pb1	200 g	600 g	10 g (molida)	178 ml
Pb2	200 g	600 g	25 g (molida)	220 ml
Pb3	200 g	600 g	50 g (molida)	276 ml
Pb4	200 g	600 g	0.4 g (molida)	160 ml
Pb5	200 g	600 g	0.4 g (sin moler)	160 ml

Fuente: Elaboración propia

El primer paso fue pesar cada material mediante una báscula mostrada en la Figura 3.17.



Figura 3.17. Báscula propiedad de la ESIA unidad Zacatenco

Fuente: Elaboración propia

Separadas las porciones de cada material, se introdujeron en la mezcladora mostrada en la Figura 3.18 para lograr un mezclado uniforme, agregando agua poco a poco hasta conseguir la plasticidad precisa que necesita la mezcla para enfoscado o aplanado.



Figura 3.18. Mezcladora de morteros, propiedad de la ESIA unidad Zacatenco.

Fuente: Elaboración propia

Cada mezcla lograda fue aplicándose al bastidor, al cual previamente se le acopló una base de unicel que se aceitó junto al bastidor, esto para evitar que se pegara la mezcla y al desacoplar no se rompiera o tronara la placa ya un poco seca, en la Figura 3.19 se aprecia el bastidor con la base de unicel y las diferentes mezclas en cada espacio.



Figura 3.19. Bastidor con mezclas

Fuente: Elaboración propia

Para fraguar las mezclas, el bastidor se envolvió en una bolsa de plástico y se metió a una cámara de fraguado durante una semana, en la Figura 3.20 se aprecia una

bolsa de color azul que dentro contiene el bastidor con las mezclas previamente realizadas, la bolsa azul se encuentra dentro de un cubo húmedo que es parte del cuarto de fraguado.



Figura 3.20. Placas en proceso de fraguado
 Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Caracterización del material aislante después del fraguado, primeras pruebas

Una semana después se sustrajeron las placas de prueba del cuarto de fraguado aún húmedas, se midieron, se pesaron y se anotaron algunas observaciones de cada una, en la Tabla 3.9 se muestra lo descrito.

Tabla 3.9. Primeras placas de prueba

Antes de secado					
Placa	Alto (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Peso (g)	Observaciones
Pb1	201.1	22.7	105.22	906	Consistente, solido, apreciación pesada, rígida, color gris con manchas de color amarillo tenue y muy poca presencia de resina.

Foto de cara frontal					Foto de testa	
Pb2	203.4	22.26	100.1	745.7	Consistencia sólida, rota, apreciación liviana, frágil, color amarillo tenue, con formación de salitre en los cantos y exposición de resina en los mismos.	
Foto de cara frontal.					Foto de testa	
Pb3	203.7	22.28	98	662.5	Consistencia sólida, apreciación liviana, frágil, color amarillo con formación de salitre en los cantos y exposición de resina en los mismos.	
Foto de cara frontal					Foto de testa	
Pb4	201.7	23.22	100.9	913	Consistente, solido, apreciación pesada, rígida, color gris.	

Foto de cara frontal.					Foto de testa.			
Pb5	201.58	22.787	100.96	913	Consistente, solido, apreciación pesada, rígida, color gris.			
Foto de cara frontal.					Foto de testa.			

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Caracterización del material aislante después del secado, primeras pruebas

Las placas se colocaron dentro de un horno de secado a 100°C, Figuras 3.21 y 3.22, durante 23 horas para extraer toda la humedad, después de ello se volvieron a medir y a pesar, ver Figura 3.23, buscando posibles cambios. La Tabla 3.10 muestra los resultados.



Figura 3.21. Horno de secado
Fuente: Elaboración propia

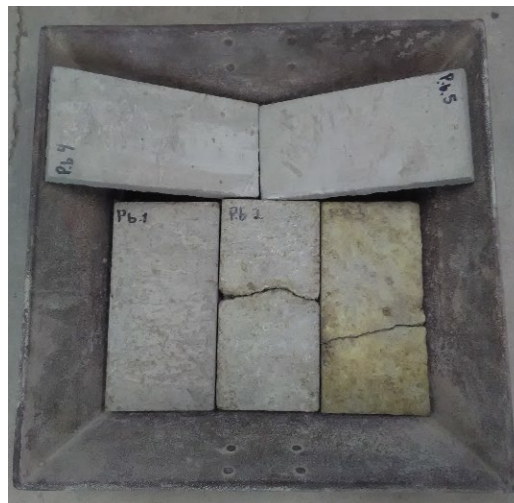


Figura 3.22. Placas para horno de secado
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.23. Medición de placas
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10. Placas de prueba después de proceso de secado





Después de proceso de secado durante 23 horas a 100°C.					
Placa	Alto (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Peso (g)	Observaciones
Pb1	201.1	23.72	105.14	743.5	Consistente, sólido, apreciación pesada, rígida, color gris con manchas de color amarillo tenue y muy poca presencia de resina.
Foto de cara frontal				Foto de testa	
Pb2	202.56	23	100.2	578	Consistencia sólida, apreciación liviana, frágil, presentó una nueva fisura en una de sus caras, color amarillo tenue, poroso a la vista.
Foto de cara frontal				Foto de testa	
Pb3	202.54	22.18	98.3	486.2	Consistencia sólida, apreciación liviana, muy frágil, se desmorona parte del canto al contacto, color amarillo, demasiado poroso al interior.

Foto de cara frontal					Foto de testa	
Pb4	201.58	23.22	100.66	774	Consistente, solido, apreciación pesada, rígida, color gris.	
Foto de cara frontal					Foto de testa	
Pb5	201.3	22.96	100.9	776	Consistente, solido, apreciación pesada, rígida, color gris.	
Foto de cara frontal					Foto de testa	

Fuente: Elaboración propia

3.3.6. Caracterización del material aislante, fraguado vs secado, primeras pruebas

Una vez secas las placas de prueba, se determinó las diferencias entre las placas húmedas y secas, en la Tabla 3.11 se muestran las diferencias encontradas.

Tabla 3.11. Diferencias entre placas húmedas y secas

Placa	Diferencia					Hoja de pino (g)
	Alto (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Peso (g)	Porcentaje de absorción.	
Pb1	0	-1.02	0.08	162.5	21.86%	10
Pb2	0.84	-0.74	-0.1	167.7	29.01%	25
Pb3	1.16	0.1	-0.3	176.3	36.26%	50
Pb4	0.12	0	0.24	139	17.96%	0.4
Pb5	0.28	-0.173	0.06	137	17.65%	0.4 (sin moler)

Fuente: Elaboración propia

3.4. Metodología de Pruebas de transferencia de calor

3.4.1. Método Caja de Pruebas Aislada

Para determinar la transferencia de calor se fabricó una caja aislante térmica de pruebas, la cual se construyó con tabla de aglomerado de 4 mm de espesor, unicel de 20 mm de espesor por encima del aglomerado, y de nuevo aglomerado de 4 mm de espesor encajonando el unicel. En el centro de la caja se instaló un socket para foco de rosca estándar, dejando una abertura enfrente de la bombilla de 100 mm x 200 mm, espacio suficiente para que las placas elaboradas embonaran sin dificultad, en la Figura 3.24 se muestra.



Figura 3.24. Caja aislante térmica de pruebas

Fuente: Elaboración propia

Para realizar mediciones de temperatura tanto interna como externa de la placa bajo prueba al embonarla en la parte frontal de la caja de pruebas, se utilizaron dos sensores de temperatura y humedad DHT22 conectados y programados en una

placa electrónica de hardware libre llamada Arduino, en la Figura 3.25 se aprecia la placa con el sensor.

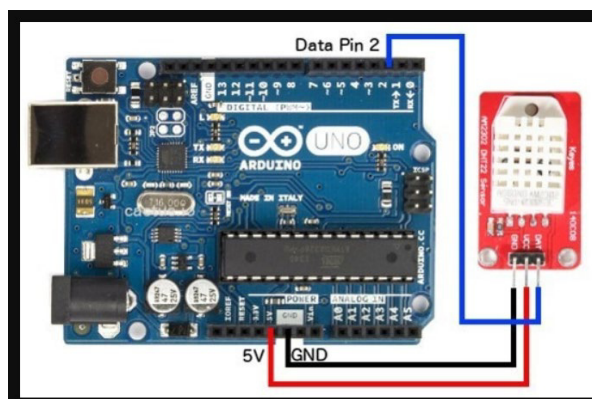


Figura 3.25. Placa de Arduino con sensor DHT22
Fuente: Arduino.cc

El objetivo de realizar la caja aislante y conectarle el foco en la pared del fondo, fue simular una fuente de calor aislada, este incrementaría la temperatura interna de la caja, pero al estar aislada, el calor no se perdería o transmitiría hacia el entorno, salvo por la placa bajo prueba que se instalaría en el lado abierto de la caja, en la Figura 3.26 se pudo apreciar la forma de instalar la placa en la caja y cómo los sensores se encontraban instalados.



Figura 3.26. Placa de prueba instalada en caja aislada de prueba
Fuente: Elaboración propia

Al estar aisladas las demás paredes de la caja, el único lugar por donde podría transmitirse el calor del foco sería a través de la placa, así se lograría medir, mediante los dos sensores DHT22 uno detrás y uno delante de la placa, la temperatura en ambas caras de la placa de pruebas y con ello determinar la transferencia de calor.

Otra de las funciones de los sensores DHT22 conectados a la placa Arduino, era controlar la temperatura interna de la caja de pruebas y mantenerla a un mismo nivel, en otras palabras, simular el estado estacionario de la temperatura para determinar la transferencia térmica en dicho estado.

3.4.2. Método de Barras Concéntricas Cortadas

El método consiste en determinar la conductividad térmica que un material muestra por medio de un material de referencia por una técnica de estado permanente (Lira, 2008b).

El sistema está formado por una barra de un material de referencia con propiedades bien conocidas, la barra del material con conductividad a determinar y otra barra de material de referencia. La barra compuesta se encuentra en su exterior cubierta con un material aislante (Lira, 2008b).

En un extremo de la barra compuesta se coloca una fuente de calor y en el extremo opuesto se tiene un sumidero de calor. Entonces mediante mediciones de temperatura y longitud se puede determinar la conductividad del material muestra (Lira, 2008b). En la Figura 3.27 se puede apreciar un diagrama del sistema de barras concéntricas cortadas.

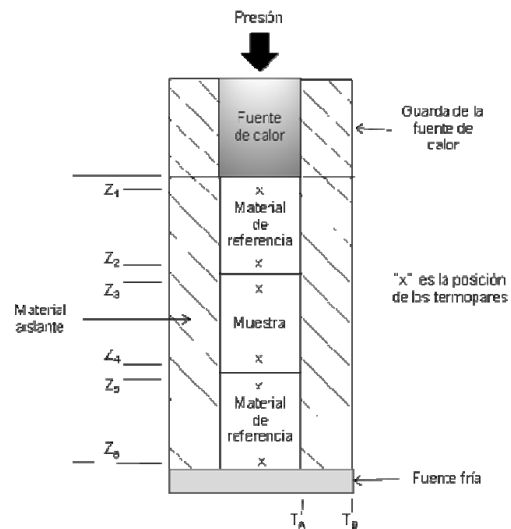


Figura 3.27. Esquema del método de barras concéntricas cortadas
 Fuente: Lira, 2008b

Como segunda opción, se optó por realizar las pruebas a las placas fabricadas mediante el método de barras concéntricas cortadas. La Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa, UAM, en su Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica es poseedora de un instrumento de pruebas de este tipo, el cual, se encuentra certificado, en la Figura 3.28 se observa el instrumento de medición.

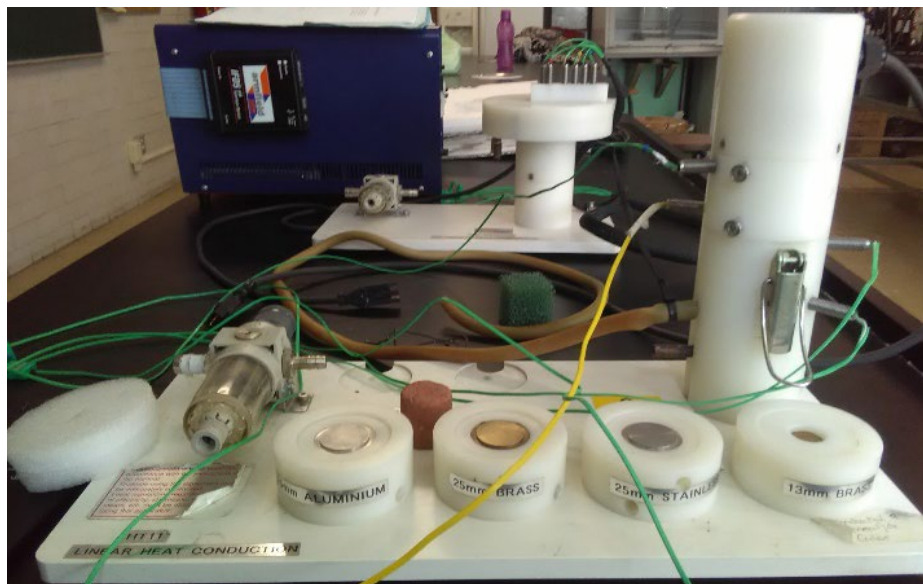


Figura 3.28. Instrumento de medición bajo método de barras concéntricas cortadas
 Fuente: Elaboración propia

El instrumento de medición está formado, como se observa en la Figura 3.28, de tres partes, la primera, la de arriba, está formada por un cilindro de metal con propiedades conocidas y una envoltura de material aislante, Nylamid, para evitar la transferencia de calor radial al ambiente. La parte inferior del cilindro está fabricado de la misma manera que la parte superior. La parte central del cilindro es una envoltura de Nylamid con un hueco en el centro donde debe insertarse el material a probar.

Para asegurar que el material de prueba sea del mismo diámetro que los metales conductores de los cilindros de la parte superior e inferior, el centro del cilindro de Nylamid se fabrica con las mismas dimensiones, por lo tanto, es necesario elaborar las muestras para que embonen dentro del cilindro. En la Figura 3.29 se observa el cilindro de Nylamid con una muestra de aluminio para pruebas en el centro, la cual es desmontable.

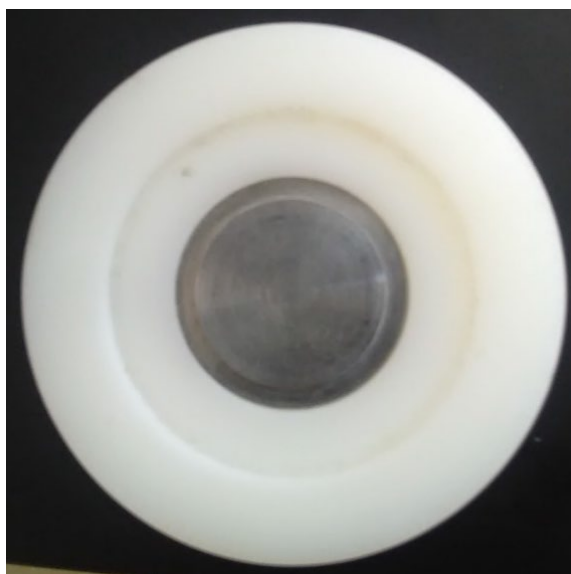


Figura 3.29. Cilindro de Nylamid con muestra de prueba de aluminio desmontable al interior

Fuente: Elaboración propia

Acopladas a presión las tres partes de la torre, ver Figura 3.30, se insertan termopares de aguja a lo largo de la misma, dos en la parte superior, dos en la parte media y dos en la parte baja, con el fin de medir en cada sección de la torre la temperatura.

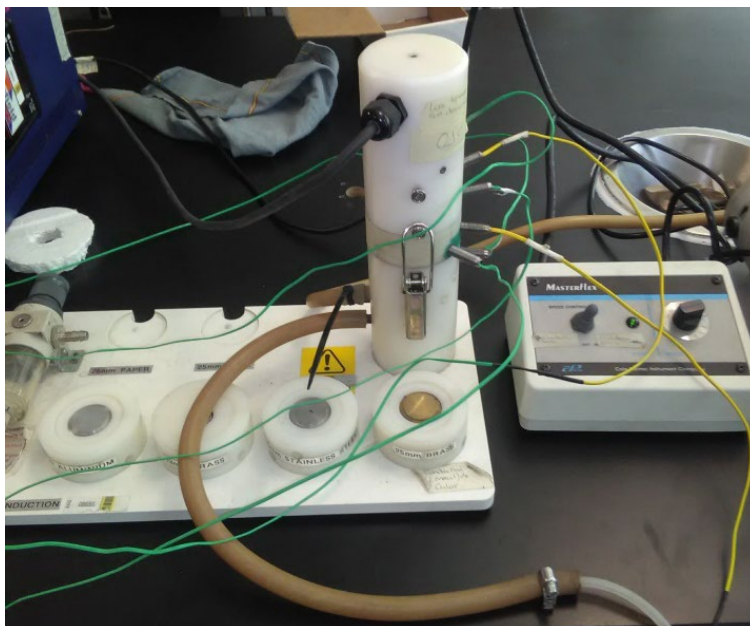


Figura 3.30. Torre de cilindros acoplada a presión con termopares tipo aguja conectados
Fuente: Elaboración propia

La parte de abajo la torre tiene un sumidero de calor. Este sumidero de calor consta de una bomba peristáltica y un controlador de velocidad para el fluido. Dicho sistema ayuda a deshacerse del calor almacenado en la parte baja de la torre de pruebas.

En la Figura 3.31 se observa la bomba peristáltica acoplada al controlador de velocidad y a un contenedor de fluido a través de mangueras.

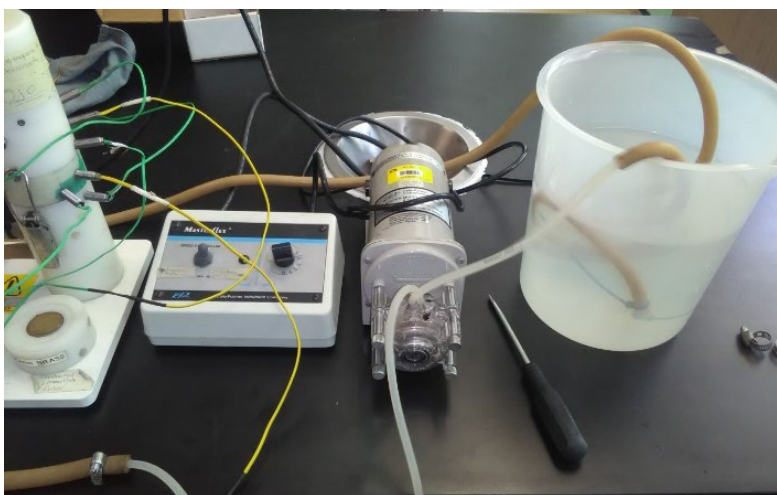


Figura 3.31. Bomba peristáltica acoplada a controlador y contenedor de fluido
Fuente: Elaboración propia

Los termopares instalados a lo largo de la torre de pruebas son conectados a una Unidad de servicio de transferencia de calor HT10X la cual toma las mediciones de cada uno de los termopares y las convierte a señales o impulsos eléctricos los cuales manda a un dispositivo de adquisición de datos, DAQ, llamado LabJack, modelo U3-LV, el cual se muestra en la Figura 3.32.

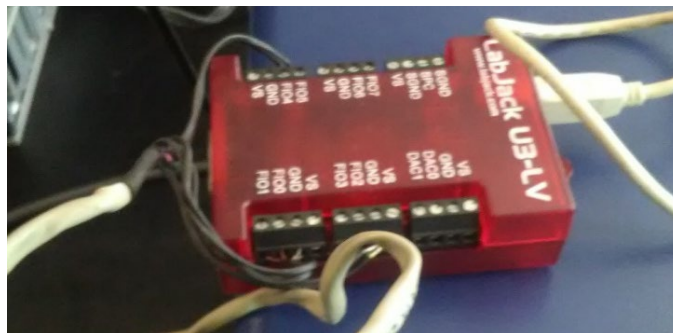


Figura 3.32. Dispositivo DAQ, LabJack U3-LV
Fuente: Elaboración propia

El dispositivo de adquisición de datos digitaliza las señales analógicas recibidas de la unidad de servicio de transferencia de calor HT10X, las convierte a digitales y las envía a una computadora que registra los datos para ser analizados posteriormente.

La unidad de servicio de transferencia de calor HT10X, además de obtener las lecturas del termopar, inyecta potencia eléctrica a la resistencia calefactora de la torre de pruebas en su parte más alta para simular la fuente de calor. En la Figura 3.33 se puede observar con los termopares y el dispositivo DAQ conectados.

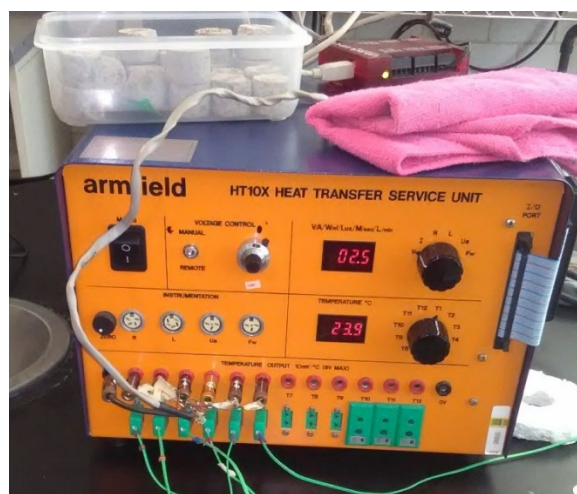


Figura 3.33. Unidad de servicio de transferencia de calor HT10X
Fuente: Elaboración propia

Para poder utilizar todo este equipo de medición de transferencia de calor fue necesario duplicar el cilindro de Nylamid donde se insertarían las muestras de aislantes térmicos, ya que el cilindro de Nylamid propio del equipo se vería muy desgastado por el número de muestras fabricadas.

Se acudió al Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial No 1 al taller de máquinas y herramientas donde se duplicaron los cilindros. En la Figura 3.34 se observan los dos cilindros fabricados.



Figura 3.34. Cilindros de Nylamid fabricados en el taller de máquinas y herramientas del CECATI No.1
Fuente: Elaboración propia.

Para que embonaran las placas de muestra en el centro de los cilindros de Nylamid, se cortaron con una broca corona diamantada para concreto, quedando las placas como se observa en la Figura 3.35.



Figura 3.35. Cilindros de prueba obtenidos de placas de prueba
Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Método de Aparato de Placa Caliente con Guarda

En el Centro Nacional de Metrología se diseñó un patrón de conductividad térmica de materiales sólidos aislantes el cual utiliza un método primario de medición con un aparato de placa caliente para determinar la conductividad térmica de materiales aislantes y de algunos otros utilizados para edificaciones.

El aparato de placa caliente con guarda, APCG, es un aparato primario que se usa para medir la resistencia y la conductividad térmica aparente de materiales aislantes. Utiliza la técnica de transferencia de calor por conducción en estado permanente y permite determinar la conductividad térmica mediante la siguiente ecuación.

$$\lambda = \frac{(q)(l)}{(A)(\Delta T)} \quad (3.1)$$

Donde q es la rapidez del flujo de calor a través de la muestra en W, ΔT es la diferencia de temperatura a través de la muestra en K o °C, l es el espesor de la muestra en m y A es el área de la sección transversal en m² (Lira, 2008a).

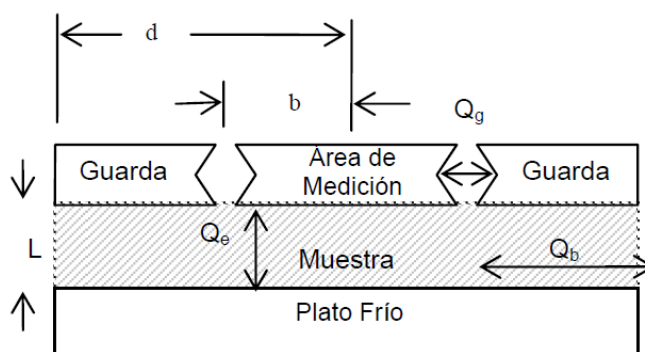


Figura 3.36. Componentes principales del instrumento para medir la conductividad térmica de materiales sólidos aislantes. Fuente: Lira, 2008a

El plato caliente conformado por el área de medición y la guarda y el plato frío mantienen las condiciones de frontera de temperatura constante en las superficies superior e inferior de la muestra, ver Figura 3.36, (Lira, 2008a).

En el caso ideal, el flujo de calor es unidimensional a través de la muestra, desde el plato caliente hacia el plato frío en la dirección Z (normal a la superficie de los platos). Bajo estas condiciones, el cálculo de la conductividad térmica aparente λ , o

la resistencia térmica, $R=l/\lambda$, se puede realizar a partir del calor que se genera en el área de medición del plato caliente q , las temperaturas de los platos calientes y frío, T_c y T_f , el espesor de la muestra l , y el área A , (Lira, 2008a). En la Figura 3.37 se puede observar el APCG.



Figura 3.37. Aparato para medir la conductividad térmica de materiales sólidos aislantes
 Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que el APCG, según la investigación en el CENAM, es un método certificado para determinar la conductividad térmica de materiales para construcción, se decidió realizar pruebas a los enfoscados con él, en la sección de anexos se muestran los resultados de las pruebas.

Debido a que las placas de muestra anteriores se habían cortado para introducirlas en el aparato de barras concéntricas cortadas, se fabricaron unas placas nuevas. Se fabricaron solo 3 juegos de placas nuevas, el primer juego se fabricó sin aguja de pino, el segundo juego se fabricó con 1.5% de aguja de pino y el tercero con 2% de aguja de pino. En la Tabla 3.13 se muestra la dosificación que se utilizó para estas nuevas placas.

Tabla 3.13. Dosificación para placas de prueba nuevas

Placa	Dosificación						
	Cemento (g)	Mortero (g)	Cal (g)	Arena (g)	Aguja de pino (g)	Agua (ml)	Baba de nopal (ml)
Pb16 (0-A y 0-B)	200	0	0	600	0	110	0
Pb20 (12-A y 12-B)	200	0	0	588	12	120	0
Pb22 (16-A y 16-B)	200	0	0	584	16	130	0

Fuente: Elaboración propia

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de conductividad térmica del Centro Nacional de Metrología en el equipo APCG (Aparato de Placa Caliente con Guarda). Para poder insertar las placas de prueba en el dispositivo se fabricaron las placas de 17 cm x 17 cm x 2.3 cm, asegurándose que las superficies fueran completamente planas, para obtener un buen contacto térmico.

Antes de insertar las placas de prueba dentro del APCG, se acondicionan a una temperatura cercana a la temperatura de prueba para evitar absorción de vapor de agua, esto metiéndolas a un horno.

Una vez instalada la placa de pruebas, el material de la guarda y el aislante necesario para minimizar las condiciones ambientales, se buscó establecer el estado permanente térmico en el APCG poniéndolo en operación.

El tiempo aproximado que se requirió para alcanzar el estado permanente en una muestra de 2.54 cm de espesor y homogénea de material aislante es de 5 h (Lira, 2008a).

Pruebas

El equipo utilizado en la medición de conductividad térmica (λ), es un instrumento de placa caliente con guarda de doble lado de medición. El instrumento está compuesto por una placa caliente central y dos placas frías en los extremos. Ver la Figura 3.37.

Cada una de las muestras se coloca entre la placa fría y la placa caliente central, una transferencia de energía térmica (calor) se genera en la placa caliente hacia las placas frías a través de las muestras. La guarda reduce las pérdidas por transferencia radial de calor. Las temperaturas de las placas y la guarda se miden con termopares calibrados, el área de medición y el espesor con micrómetros.

Se tomaron mediciones en ambas caras de cada placa en un intervalo de 30 segundos durante 8 días. Los valores de temperatura utilizados para calcular la conductividad del material fueron: temperatura caliente y temperatura fría.

Por otro lado, se recopilaron datos como: tensión eléctrica e intensidad de corriente aplicadas para calcular la potencia o calor suministrados, el espesor y el área de las placas.

La fórmula aplicada para calcular la conductividad térmica es:

$$\lambda = \frac{(q)(l)}{(A)(\Delta T)}$$

Donde:

- q Es el flujo de calor a través de la muestra en W.
- λ Es la conductividad térmica aparente de la muestra en $Wm^{-1}K^{-1}$
- ΔT Es la diferencia de temperatura aplicada a la muestra en °C o K
- l Es el espesor de la muestra en m.
- A Es el área efectiva de la sección transversal en m^2

Capítulo IV. Resultados

El caso de estudio se realizó en la zona del Ajusco, la cual se encuentra a aproximadamente 3000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Según datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se tiene una temperatura máxima promedio de 19.2 °C, la temperatura media promedio de 13.4 °C y la temperatura mínima promedio de 2.8 °C, donde la temperatura máxima promedio apenas roza el parámetro de confort térmico mínimo que establece la norma mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013, el cual es de 18 °C a 25°C. Como dato interesante, el SMN el 27 de enero de 1965 registró una temperatura mínima de -6°C en la zona.

De la investigación en sitio sobre los materiales que podrían ser los idóneos para aislar sus casas y mantener una temperatura más confortable dentro de ellas, se encontró que existe una inmensa cantidad de pinos que dejan una alfombra de hojarasca seca de puntas de aguja de pino; por lo que se decidió utilizarla como materia prima para el aislante térmico de las casas, pues sería económico, sustentable y de fácil acceso.

Con el propósito de realizar las pruebas para evaluar si la aguja de pino ayudaría a reducir el flujo de calor a través de las paredes, se fabricaron placas de cementantes tipo encofrado de 20 x 20 x 2 cm. Los materiales utilizados fueron: cemento, arena, cal, aguja de pino y agua. Cabe mencionar que la arena también fue recolectada de vetas de arena de la misma zona del Ajusco donde se recolectó la aguja.

La fabricación de las placas de pruebas se llevó a cabo en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA) Unidad Zacatenco, en donde se recibió apoyo técnico y de sus instalaciones.

4.1. Placas de Prueba

De las 54 placas de prueba que se fabricaron, en la Tabla 4.1 se puede observar que todas las placas de prueba presentan un peso aproximado de 800 g, pero con una dosificación diferente de componentes. Por ejemplo: la placa de prueba Pb11 tiene 200 g de mortero, 590 g de arena y 10 g de aguja de pino, en total 800 g; la placa de prueba Pb24 tiene 200 g de cemento, 580 g de arena y 20 g de aguja de pino, en total 800 g.

Cabe señalar que la dosificación de las placas de prueba se realizó a prueba y error, conforme se veía su resistencia, por lo que las primeras pruebas contienen cantidades de aguja de pino muy diferentes entre ellas, Pb3 con 50 g y Pb4 con 0.4 g, mientras que la placas Pb20 a Pb 24 ya comienzan a tener cantidades muy parecidas, por ejemplo, Pb20 con 12 g, Pb21 con 14 g, Pb22 con 16 g, Pb23 con 18 g y Pb 24 con 20 g.

Por otro lado, las pruebas Pb35 a Pb54 se agregó baba de nopal con el propósito de obtener una mejora o diferencia en la firmeza de las placas.

Tabla 4.1. Dosificación de placas de prueba

Placa	Dosificación						
	Cemento (g)	Mortero (g)	Cal (g)	Arena (g)	Aguja de pino (g)	Agua (ml)	Baba de nopal (ml)
Pb1	200	0	0	600	10	160	0
Pb2	200	0	0	600	25	160	0
Pb3	200	0	0	600	50	276	0
Pb4	200	0	0	600	0.4	220	0
Pb5	200	0	0	600	0.4	168	0
Pb6	100	0	100	590	10	225	0
Pb7	100	0	100	575	25	250	0
Pb8	100	0	100	550	50	300	0
Pb9	100	0	100	599.6	0.4	238	0
Pb10	100	0	100	599.6	0.4	250	0
Pb11	0	200	0	590	10	186	0
Pb12	0	200	0	575	25	199	0
Pb13	0	200	0	550	50	250	0
Pb14	0	200	0	599.6	0.4	168	0
Pb15	0	200	0	599.6	0.4	167	0
Pb16	200	0	0	600	0	110	0
Pb17	0	200	0	600	0	100	0
Pb18	100	0	100	600	0	120	0
Pb19	40	160	0	480	0	85	0
Pb20	200	0	0	588	12	120	0
Pb21	200	0	0	586	14	110	0
Pb22	200	0	0	584	16	130	0
Pb23	200	0	0	582	18	110	0
Pb24	200	0	0	580	20	115	0
Pb25	0	200	0	588	12	104	0
Pb26	0	200	0	586	14	106	0
Pb27	0	200	0	584	16	120	0
Pb28	0	200	0	582	18	122	0
Pb29	0	200	0	580	20	124	0
Pb30	40	160	0	480	16	120	0
Pb31	40	160	0	480	18	120	0
Pb32	40	160	0	480	20	120	0
Pb33	40	160	0	480	22	120	0
Pb34	40	160	0	480	24	120	0
Pb35	40	160	0	480	16	0	118
Pb36	40	160	0	480	18	0	122
Pb37	40	160	0	480	20	0	126
Pb38	40	160	0	480	22	0	128

Placa	Dosificación						
	Cemento (g)	Mortero (g)	Cal (g)	Arena (g)	Aguja de pino (g)	Agua (ml)	Baba de nopal (ml)
Pb39	40	160	0	480	24	0	130
Pb40	40	160	0	480	45	0	205
Pb41	40	160	0	480	35	0	186
Pb42	40	160	0	480	25	0	154
Pb43	40	160	0	480	50	0	216
Pb44	100	0	100	575	25	0	204
Pb45	0	200	0	575	25	0	164
Pb46	200	0	0	575	25	0	182
Pb47	100	0	100	550	50	0	250
Pb48	0	200	0	550	50	0	242
Pb49	200	0	0	550	50	0	266
Pb50	80	120	0	480	16	0	162
Pb51	80	120	0	480	18	0	138
Pb52	80	120	0	480	20	0	148
Pb53	80	120	0	480	22	0	154
Pb54	80	120	0	480	24	0	156

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.2 se muestran las dimensiones y peso de las placas antes y después del proceso de secado (placas húmedas y secas), donde se observan los cambios físicos debido a la absorción de humedad por parte de la mezcla, llegando algunas de ellas a destruirse completamente, ya sea al sacarlas del bastidor o al meterlas a la tina de fraguado.

Tabla 4.2. Mediciones de placas de prueba, húmedas y secas

Placa	Mediciones Húmedas				Mediciones secas			
	Alto (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Peso (g)	Alto (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Peso (g)
Pb1	201.1	22.7	105.22	906	201.1	23.72	105.14	743.5
Pb2	203.4	22.26	100.1	745.7	202.56	23	100.2	578
Pb3	203.7	22.28	98	662.5	202.54	22.18	98.3	486.2
Pb4	201.7	23.22	100.9	913	201.58	23.22	100.66	774
Pb5	201.58	22.787	100.96	913	201.3	22.96	100.9	776
Pb6	201.5	23.6	101.2	811.5	201.4	23.48	100.98	622
Pb7	201.3	22.96	100.12	744	201.38	22.86	99.84	550
Pb8	201.8	23.66	97.86	710	200.88	23.58	97.4	503
Pb9	201.78	21.18	100.4	824.5	201.1	21.28	100.28	637
Pb10	201	21.18	98.32	788	200.7	21.26	98.12	606
Pb11	201.42	22.3	100.84	801	201.5	22.3	101	670
Pb12	201.5	22.54	99.7	756	201.2	22.44	99.9	622
Pb13	201.1	23.52	97.24	684	Destruído			
Pb14	201.5	22.18	100.26	887	201.34	22.4	100.12	656
Pb15	201.4	22.76	97.06	900	201.52	22.74	96.6	779
Pb16	199.82	21.78	99.58	876	199.62	21.76	99.3	718
Pb17	200.3	21.9	98.72	863	200.16	21.8	98.64	702
Pb18	200.4	23.58	98.5	879	200.18	23.68	98.48	698
Pb19	200.46	19.82	98.12	731	200.32	19.78	98	608
Pb20	201.78	21.9	100.3	797	201.58	21.8	100.22	648
Pb21	202.08	22.52	100.06	798	202	22.5	94.84	645
Pb22	202.1	21.58	97.76	740	201.98	21.96	97.85	580
Pb23	202	24.48	100.02	850	201.74	24.38	99.88	673

Placa	Mediciones Húmedas				Mediciones secas			
	Alto (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Peso (g)	Alto (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Peso (g)
Pb24	201.46	22.32	97.4	764	201.18	22.56	97.34	599
Pb25	201.22	22.78	100.02	801	201.3	22.7	100.64	640
Pb26	201.78	22.48	99.34	786	201.6	22.36	99.14	623
Pb27	201.62	22.9	99.86	801.5	201.28	22.8	100	632
Pb28	200.9	21.98	99.36	745	200.84	21.88	99.6	573
Pb29	201.06	22.96	99.16	778	200.6	22.86	99.5	598
Pb30	201.74	23.64	99.9	802	201.6	23.6	100.04	617
Pb31	201.88	23.34	99.4	791	201.62	23.36	98.12	615
Pb32	201.54	24.12	99.62	797	201.38	24.12	99.64	614
Pb33	200.98	24.1	99.66	807	200.9	24	99.52	615
Pb34	200.9	24	99.34	796	200.68	24.08	99.92	601
Pb35	200.38	22.5	97.62	782	200.08	22.6	97.52	614.5
Pb36	200.54	23.9	98.84	792	200.26	23.8	98.7	615.5
Pb37	200.08	24.2	98.46	795	199.82	24.12	98.34	616
Pb38	200.54	24.74	98.56	799	200.28	24.66	98.44	617
Pb39	200.5	24.2	98.78	801	200.24	24.06	98.86	614
Pb40	Destruído				Destruído			
Pb41	201.22	23.84	98.58	713	200.76	23.76	97.1	512
Pb42	201.26	23.78	99.3	766	201	24	99.12	574
Pb43	Destruído				Destruído			
Pb44	200.68	26.12	99.38	777	199.84	26.18	99.12	556
Pb45	199.86	24.28	98.24	761	199.74	24.16	98.16	578
Pb46	200.22	25.7	97.72	801	199.96	25.66	97.66	605
Pb47	200.18	26	96	720	199.66	25.58	95.44	494
Pb48	Destruído				Destruído			
Pb49	Destruído				Destruído			
Pb50	200.64	22.7	99.18	769	200.3	22.7	98.84	598
Pb51	200.46	23.98	97.2	744	200.22	24	96.92	571
Pb52	200.4	24.66	98.2	769	200.14	24.68	98.14	583
Pb53	200.52	24.54	98.94	741	200.28	24.42	98.2	554
Pb54	200.8	23.68	98.34	738	200.58	24	97.96	545

Fuente: Elaboración propia

Las diferencias entre su estado húmedo y seco se muestran en la Tabla 4.3. Dentro de las comparativas, destacan las placas de prueba Pb3, Pb8, Pb13, Pb40, Pb43, Pb47, Pb48, Pb49, las cuales contenían arriba de 45 g de aguja de pino y su porcentaje de absorción fue mayor al 36%, llegando hasta el 45%, muchas de estas placas se destruyeron al sacarlas de la tina de hidratación, del cuarto de fraguado o del bastidor.

Asimismo, las placas de prueba de entre 20 y 25 g de aguja de pino presentan un porcentaje de entre 21 y 39% de humedad, siendo las de mayor porcentaje las que contenían más cantidad de aguja de pino. Las placas de entre 10 y 19 g de aguja de pino presentan un porcentaje de absorción de entre 19 y 30%, de igual manera, las de mayor porcentaje en su mayoría son las de mayor cantidad de aguja de pino. Por su parte, las placas con menos de 9 g de aguja de pino muestran un porcentaje de absorción de entre 15 y 30%.

Tabla 4.3. Diferencias entre placas húmedas y secas, y su porcentaje de absorción

Placa	Aguja de pino (g)	Diferencia				Porcentaje de absorción
		Alto (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Peso (g)	
Pb1	10	0	-1.02	0.08	162.5	21.86%
Pb2	25	0.84	-0.74	-0.1	167.7	29.01%
Pb3	50	1.16	0.1	-0.3	176.3	36.26%
Pb4	0.4	0.12	0	0.24	139	17.96%
Pb5	0.4	0.28	-0.173	0.06	137	17.65%
Pb6	10	0.1	0.12	0.22	189.5	30.47%
Pb7	25	-0.08	0.1	0.28	194	35.27%
Pb8	50	0.92	0.08	0.46	207	41.15%
Pb9	0.4	0.68	-0.1	0.12	187.5	29.43%
Pb10	0.4	0.3	-0.08	0.2	182	30.03%
Pb11	10	-0.08	0	-0.16	131	19.55%
Pb12	25	0.3	0.1	-0.2	134	21.54%
Pb13	50	Destruído				N/A
Pb14	0.4	0.16	-0.22	0.14	231	35.21%
Pb15	0.4	-0.12	0.02	0.46	121	15.53%
Pb16	0	0.2	0.02	0.28	158	22.01%
Pb17	0	0.14	0.1	0.08	161	22.93%
Pb18	0	0.22	-0.1	0.02	181	25.93%
Pb19	0	0.14	0.04	0.12	123	20.23%
Pb20	12	0.2	0.1	0.08	149	22.99%
Pb21	14	0.08	0.02	5.22	153	23.72%
Pb22	16	0.12	-0.38	-0.09	160	27.59%
Pb23	18	0.26	0.1	0.14	177	26.30%
Pb24	20	0.28	-0.24	0.06	165	27.55%
Pb25	12	-0.08	0.08	-0.62	161	25.16%
Pb26	14	0.18	0.12	0.2	163	26.16%
Pb27	16	0.34	0.1	-0.14	169.5	26.82%
Pb28	18	0.06	0.1	-0.24	172	30.02%
Pb29	20	0.46	0.1	-0.34	180	30.10%
Pb30	16	0.14	0.04	-0.14	185	29.98%
Pb31	18	0.26	-0.02	1.28	176	28.62%
Pb32	20	0.16	0	-0.02	183	29.80%
Pb33	22	0.08	0.1	0.14	192	31.22%
Pb34	24	0.22	-0.08	-0.58	195	32.45%
Pb35	16	0.3	-0.1	0.1	167.5	27.26%
Pb36	18	0.28	0.1	0.14	176.5	28.68%
Pb37	20	0.26	0.08	0.12	179	29.06%
Pb38	22	0.26	0.08	0.12	182	29.50%
Pb39	24	0.26	0.14	-0.08	187	30.46%
Pb40	45	Destruído				N/A
Pb41	35	0.46	0.08	1.48	201	39.26%
Pb42	25	0.26	-0.22	0.18	192	33.45%
Pb43	50	Destruído				N/A
Pb44	25	0.84	-0.06	0.26	221	39.75%
Pb45	25	0.12	0.12	0.08	183	31.66%
Pb46	25	0.26	0.04	0.06	196	32.40%
Pb47	50	0.52	0.42	0.56	226	45.75%
Pb48	50	Destruído				N/A
Pb49	50	Destruído				N/A
Pb50	16	0.34	0	0.34	171	28.60%
Pb51	18	0.24	-0.02	0.28	173	30.30%
Pb52	20	0.26	-0.02	0.06	186	31.90%
Pb53	22	0.24	0.12	0.74	187	33.75%
Pb54	24	0.22	-0.32	0.38	193	35.41%

La leyenda de “Destruído” en las tablas 4.2 y 4.3, hacen referencia a las placas sin oportunidad de manipularlas para realizar mediciones, por lo tanto, el porcentaje de absorción no aplica.

En la prueba con el método de barras concéntricas cortadas, las placas tuvieron que adaptarse a los cilindros de Nylamid, por lo que en la Tabla 4.4 se muestran las placas de prueba que soportaron el corte con la broca corona diamantada.

Tabla 4.4. Placas de prueba no destruidas después del corte con broca corona

Placa	Dosificación						
	Cemento (g)	Mortero (g)	Cal (g)	Arena (g)	Aguja de pino (g)	Agua (ml)	Baba de nopal (ml)
Pb1	200	0	0	600	0.4	160	0
Pb2	200	0	0	600	0.4	160	0
Pb5	200	0	0	600	10	168	0
Pb14	0	200	0	599.6	0.4	168	0
Pb15	0	200	0	599.6	0.4	167	0
Pb16	200	0	0	600	0	110	0
Pb17	0	200	0	600	0	100	0
Pb18	100	0	100	600	0	120	0
Pb19	40	160	0	480	0	85	0
Pb20	200	0	0	588	12	120	0
Pb21	200	0	0	586	14	110	0
Pb22	200	0	0	584	16	130	0
Pb23	200	0	0	582	18	110	0
Pb24	200	0	0	580	20	115	0
Pb25	0	200	0	588	12	104	0
Pb30	40	160	0	480	16	120	0
Pb31	40	160	0	480	18	120	0
Pb32	40	160	0	480	20	120	0

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 4.4 se puede observar que solo las placas que contenían entre 0-20 g de aguja de pino y una que fue fabricada con cal (Pb18), soportaron el corte. Por otro lado, ninguna de las placas que fue fabricada con baba de nopal soportaron el corte.

4.2. Método de Caja de Pruebas Aislada

Listas las placas de prueba, se procedió a realizar las pruebas de conductividad térmica. Para el primer método se diseñó una caja de pruebas aislada, cuyo proceso de fabricación se describe en la sección de metodología.

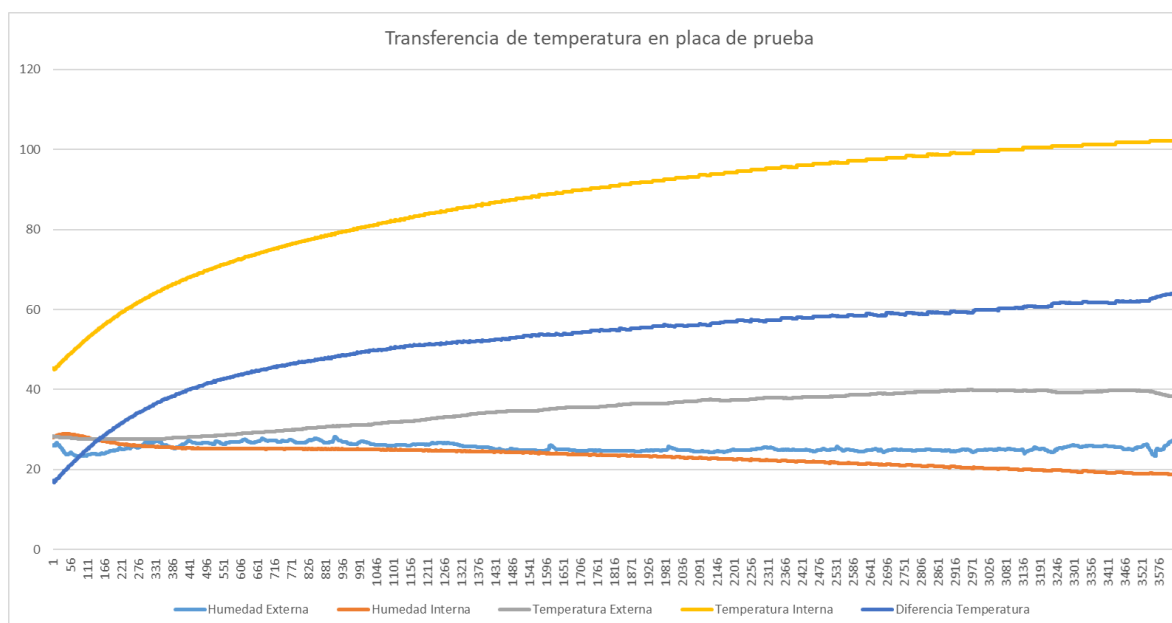
Los resultados de las mediciones de humedad y temperatura obtenidas cada segundo durante una hora, se muestran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Mediciones de temperatura en caja de pruebas aislada

Segundos	Humedad Externa	Humedad Interna	Temperatura Externa	Temperatura Interna	Diferencia Temperatura
1	25.9	28	28.4	45.4	17
2	25.9	28	28.4	45.4	17
3	26.1	28	28.1	45.4	17.3
4	26.1	28.2	28.1	44.9	16.8
5	25.9	28.2	28.1	44.9	16.8
6	25.9	28.2	28.1	44.9	16.8
7	25.9	28.2	28.1	45.2	17.1
8	25.9	28.2	28.1	45.2	17.1
9	25.9	28.2	28.1	45.2	17.1
//	//	//	//	//	//
3613	26.9	18.8	38.4	102.2	63.8
3614	26.9	18.8	38.4	102.2	63.8
3615	27.1	18.8	38.3	102.2	63.9
3616	27.1	18.8	38.3	102.2	63.9
3617	27.1	18.8	38.3	102.2	63.9
3618	27.2	18.8	38.3	102.2	63.9
3619	27.2	18.8	38.3	102.2	63.9
3620	27.2	18.8	38.3	102.2	63.9
3621	27.2	18.8	38.3	102.2	63.9
3622	27.2	18.8	38.3	102.2	63.9

Fuente: Elaboración propia

Las mediciones muestran un incremento de temperatura gradual (Gráfica 4.1), que con el tiempo tiende a estabilizarse, pero sin alcanzar el estado estacionario.



Gráfica 4.1. Comportamiento de la transferencia de temperatura en la caja de pruebas aislada. Fuente: Elaboración propia

La temperatura interna de la caja de pruebas se muestra con una línea amarilla, que parte de 45 °C llegando hasta 102 °C. La línea azul, muestra la diferencia de temperaturas entre la interna y la externa, la cual parte de 17 °C hasta 63.9 °C. La temperatura externa, línea gris, la tercera de arriba hacia abajo, parte a su vez de 28.4 °C y llega hasta 38.3 °C.

Hay que destacar el comportamiento de la humedad en los datos de la Tabla 4.5 y la gráfica 4.1, ya que la humedad interna se aprecia como una línea continua que parte de 28% culminando en 18.8%, por el contrario, la humedad externa, línea azul claro, parte de 25.9 % hasta 27.2 %, pero, esta gráfica se comporta de manera irregular, ya que tiene muchos picos y valles en sus valores a lo largo del periodo de medición.

4.3. Método de Barras Concéntricas Cortadas

El método de Barras Concéntricas Cortadas se desarrolló en el laboratorio del departamento de ingeniería de procesos e hidráulica de la UAM unidad Iztapalapa.

A fin de realizar las pruebas, se fabricaron cilindros de Nylamid para embonarlo en el aparato de pruebas, como se indica en la metodología, y se acondicionaron las placas de prueba al cilindro interno. El equipo se programó para obtener lecturas cada segundo llegando hasta los 16101 segundos; es decir, 4.48 horas.

Los resultados de las mediciones se muestran en la Tabla 4.6, donde los termopares 1 y 2 registran la temperatura de la parte superior de la torre de pruebas, la fuente de calor. Los termopares 3 y 6 se instalaron dentro de los cilindros de prueba, el termopar 3 por la parte alta, cerca de la fuente de calor, y el termopar 6 cerca del sumidero de calor. Los termopares 7 y 8 midieron la parte baja de la torre de pruebas, el sumidero de calor.

Tabla 4.6. Resultados obtenidos del equipo de pruebas de la UAM

Segundos	Termopar1	Termopar2	Termopar3	Termopar6	Termopar7	Termopar8
1	22.95	22.84	23.20	22.54	20.93	20.75
2	22.83	22.78	23.14	22.42	20.87	20.75
3	22.84	22.72	23.14	22.36	20.81	20.69
4	22.84	22.78	23.14	22.36	20.87	20.75
5	22.84	22.78	23.14	22.42	20.87	20.69
6	22.84	22.78	23.14	22.42	20.87	20.69
7	22.96	22.90	23.26	22.54	20.87	20.75
8	22.96	22.90	23.26	22.54	20.99	20.75
9	23.02	22.90	23.26	22.60	20.93	20.75
10	22.96	22.84	23.26	22.48	20.93	20.75

Segundos	Termopar1	Termopar2	Termopar3	Termopar6	Termopar7	Termopar8
11	22.90	22.90	23.20	22.48	20.93	20.69
12	22.90	22.78	23.20	22.36	20.87	20.69
13	22.96	22.84	23.20	22.36	20.87	20.69
14	22.96	22.72	23.20	22.42	20.87	20.75
15	22.96	22.84	23.26	22.36	20.87	20.75
16	22.96	22.90	23.26	22.48	20.87	20.69
17	22.96	22.96	23.26	22.60	20.87	20.69
18	23.02	22.90	23.32	22.54	20.99	20.81
//	//	//	//	//	//	//
11528.00	43.08	42.90	34.78	29.94	23.02	23.20
11529.00	43.02	42.96	34.72	29.94	23.02	23.08
11530.00	43.02	42.90	34.72	29.94	22.96	23.08
11531.00	42.96	42.90	34.72	29.88	22.96	23.08
11532.00	43.02	42.84	34.72	29.82	22.96	23.02
11533.00	42.96	42.90	34.66	29.88	22.90	23.02
11534.00	42.90	42.90	34.66	29.88	22.84	23.02
11535.00	42.90	42.90	34.66	29.88	22.84	23.02
11536.00	42.96	42.84	34.66	29.88	22.84	23.02
11537.00	43.02	42.90	34.84	29.94	23.02	23.08
11538.00	43.02	42.90	34.72	29.94	23.02	23.08
11539.00	43.02	42.84	34.72	29.88	22.96	23.14
11540.00	43.02	42.84	34.72	29.88	22.96	23.08
11541.00	42.90	42.84	34.66	29.88	22.90	23.02
11542.00	42.96	42.84	34.72	29.88	22.90	23.02
11543.00	43.02	42.90	34.72	29.94	22.96	23.02
11544.00	43.02	42.90	34.78	29.94	23.02	23.02

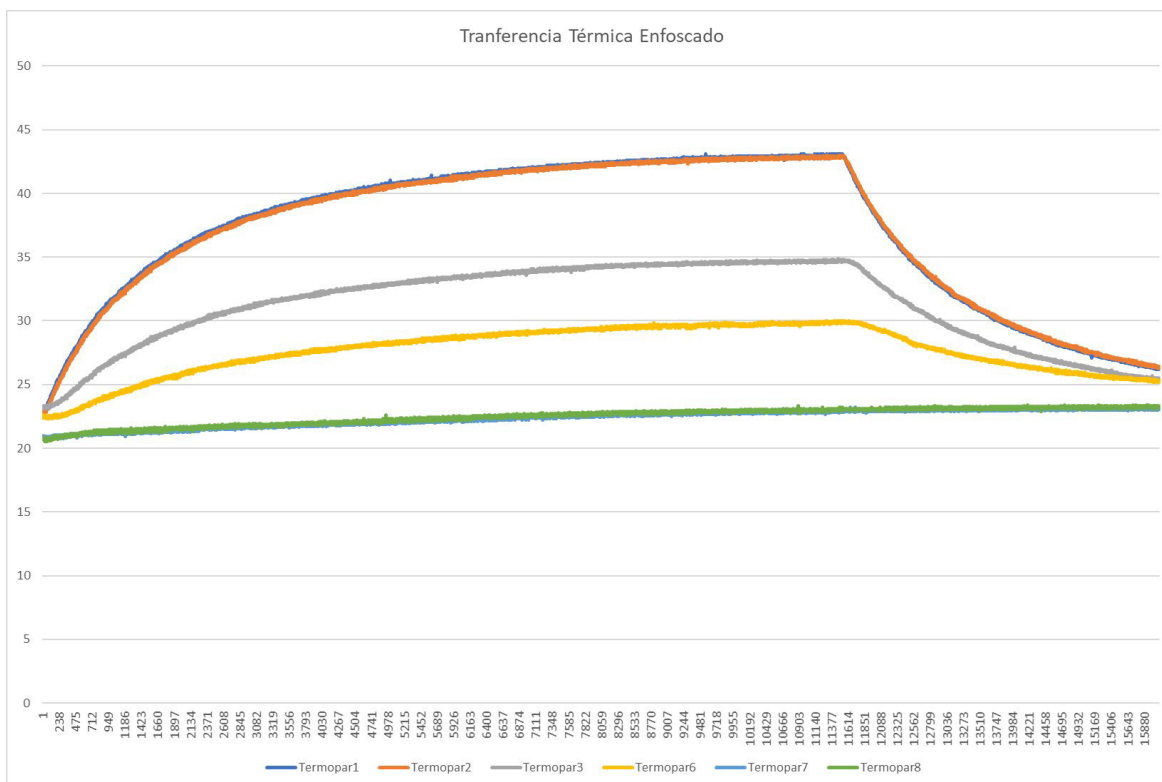
Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 4.2 se logra apreciar que los termopares 1 y 2 mantiene casi las mismas temperaturas, de la misma manera los termopares 7 y 8, mientras que los termopares 3 y 6 si presentan ciertas diferencias.

Los termopares 1 y 2 midieron un incremento constante de temperatura, comenzando en 22 °C aproximadamente hasta casi a los 44 °C sin llegar a un estado estacionario, se observa una caída súbita de temperatura debido a la desconexión de la fuente de calor, la resistencia calefactora.

Los termopares 3 y 6, al igual que los dos primeros, tuvieron un crecimiento de temperatura constante durante la prueba, aunque a un nivel menor. En promedio, la diferencia de temperatura entre ellos fue de 4.26 °C durante la prueba.

Los termopares 7 y 8 también tuvieron un crecimiento constante a lo largo de la prueba; sin embargo, como éstos estaban cerca del sumidero de calor, su crecimiento no fue tan abrupto como en los otros termopares, oscilando entre los 21 y 23 °C.



Gráfica 4.2. Comportamiento de la transferencia térmica en los cilindros de prueba
 Fuente: Elaboración propia

4.4. Método de Aparato de Placa Caliente con Guarda

Este método se desarrolló con el apoyo del Centro Nacional de Metrología (CENAM), en donde se recibió el apoyo técnico y las facilidades para operar el Aparato de Placa Caliente con Guarda (APCG). Como el APCG requiere que las placas de prueba sean de 17 x 17 x 2 cm, se seleccionaron las placas Pb20 y Pb22, las cuales mostraron mayor firmeza y cantidad de aguja de pino. Además, se fabricó una placa de características similares, pero sin aguja de pino, para poder hacer comparativas de conductividad térmica entre ellas (placa Pb16). Los resultados se presentan en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Mediciones tomadas del APCG

Tfria	Tcaliente	Tc-Tf	tensión	corriente	calor	espesor	área	dif T	λ
14.2865	38.1335	23.8470	31.1084	0.3267	10.1643	0.0228	0.0214	23.8470	0.2265
14.2972	38.2049	23.9077	31.1082	0.3267	10.1641	0.0228	0.0214	23.9077	0.2259
14.2796	38.2285	23.9489	31.1080	0.3267	10.1639	0.0228	0.0214	23.9489	0.2255
14.2816	38.2411	23.9595	31.1080	0.3267	10.1638	0.0228	0.0214	23.9595	0.2254
14.2720	38.2864	24.0144	31.1080	0.3267	10.1638	0.0228	0.0214	24.0144	0.2249
14.2745	38.3101	24.0356	31.1081	0.3267	10.1637	0.0228	0.0214	24.0356	0.2247
14.2891	38.3458	24.0566	31.1078	0.3267	10.1636	0.0228	0.0214	24.0566	0.2245
//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
-6.4702	14.6441	21.1143	29.3773	0.3087	9.0695	0.0228	0.0214	21.1143	0.2284
-6.4925	14.6362	21.1287	29.3769	0.3087	9.0693	0.0228	0.0214	21.1287	0.2283
-6.5142	14.6218	21.1360	29.3770	0.3087	9.0694	0.0228	0.0214	21.1360	0.2282
-6.5046	14.6245	21.1291	29.3769	0.3087	9.0693	0.0228	0.0214	21.1291	0.2283
-6.4806	14.6299	21.1106	29.3771	0.3087	9.0695	0.0228	0.0214	21.1106	0.2285
-6.4956	14.6376	21.1333	29.3770	0.3087	9.0694	0.0228	0.0214	21.1333	0.2282
Promedio									
13.8547	34.2478	20.3931	29.3776	0.3087	9.0696	0.0228	0.0214	20.3931	0.2364

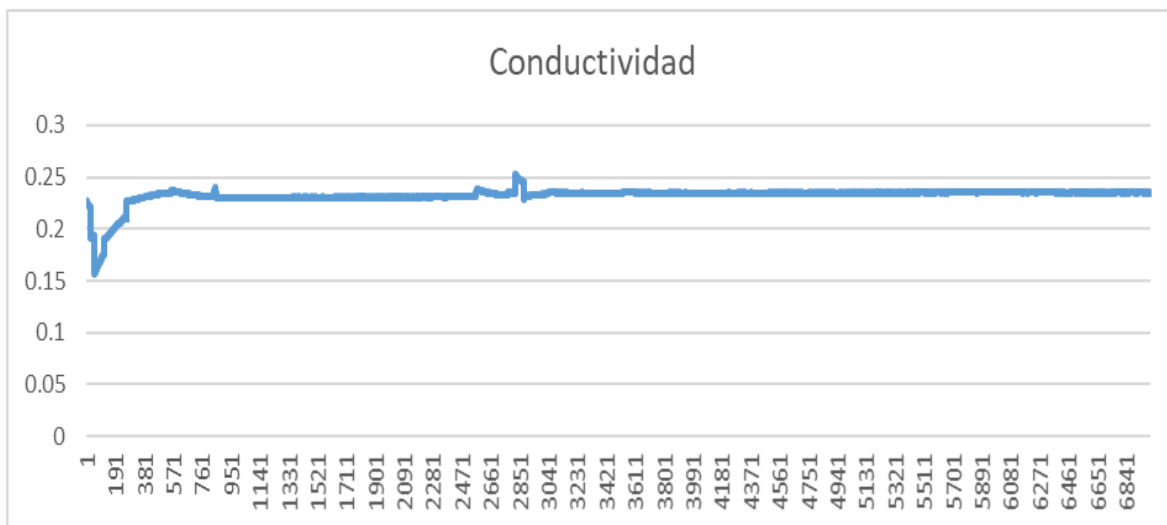
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de pruebas del CENAM

De la Tabla 4.7, se puede apreciar que el gradiente de temperatura entre la temperatura caliente aplicada como fuente de calor y la temperatura fría, sumidero de calor, fue de 20.39°C. En las hojas de resultados incluidas en los anexos de este documento se citan los gradientes de temperatura que para la prueba Pb16 es de: 19.9°C (anexo 2), para la prueba Pb20 es de: 20.4 °C (anexo 3), y para la prueba Pb22 es de: 19.9°C (anexo 4).

Se puede observar también que existe una tensión y una corriente eléctrica controladas columnas 4 y 5, las cuales dan la potencia de la fuente de calor, se observan también, en la columna 7 y 8 especificaciones físicas de las placas de prueba, el espesor y el área.

De los valores medidos y calculados de la Tabla 4.7 se obtuvo finalmente la conductividad térmica, plasmada en la última columna de la misma tabla y graficada en la gráfica 4.3.

En la primera parte de la gráfica 4.3 se puede observar el proceso de precalentado del APCG junto con las placas de prueba, llegando al segundo 381 se observa cómo la gráfica comienza a llegar al estado estacionario dónde el valor de la conductividad está entre 0.2 y 0.25.



Gráfica 4.3. Conductividad térmica λ

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de pruebas del CENAM

Para calcular la conductividad térmica del material, λ , se utilizó un rango de valores medidos dentro del estado estacionario de las pruebas, estos cálculos se promediaron y finalmente se obtuvo el valor.

El proceso de prueba con APCG se realizó para las tres placas de prueba fabricadas, Pb16, Pb20 y Pb22, en la Tabla 4.8 se muestra el resumen.

Tabla 4.8. Conductividad térmica en placas de prueba

Muestra	Pb16	Pb20	Pb22
Cemento (g)	200	200	200
Arena (g)	600	588	584
Agua (ml)	110	120	130
Aguja de Pino (g)	0	12	16
Espesor (m)	0.023	0.022755	0.023
Conductividad Térmica [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	0.3154	0.2364	0.2631

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de pruebas del CENAM

Conclusiones

Este proyecto surgió del conocimiento de la pobreza energética que yace en la zona del Ajusco. Uno de los factores críticos que marcan esta pobreza energética es la falta de confort térmico dentro de las viviendas debido a las bajas temperaturas que imperan ahí.

En las partes más altas del Ajusco, aproximadamente a 3000 msnm, es una zona envidiable por sus espectaculares paisajes, destacando principalmente su majestuoso bosque de coníferas. Sin embargo, a estas alturas la belleza se contrapone a la calidad de vida que pueden tener sus habitantes, pues la mayoría padece de pobreza económica y energética. Uno de los factores que demuestra dichas afirmaciones es la temperatura de confort dentro de las viviendas, pues según datos del SMN, se tiene una temperatura media promedio de 13.4 °C, mientras que la norma mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 establece que los parámetros mínimos de confort térmico que las viviendas está entre 18 y 25 °C.

Si bien es cierto que existen muchas estrategias que pueden tomarse para aislar térmicamente una vivienda, como dobles paredes, dobles ventanas, aislantes de lana mineral, poliestirenos, paredes de vidrio, etc., estas estrategias son costosas y la población en su mayoría no tiene la capacidad económica de solventar el gasto.

En este sentido, se estableció para este trabajo de investigación que el material aislante debía cumplir con criterios de sustentabilidad y bajo costo, por lo que se decidió utilizar un material propio de la región: arena y aguja de pino, para aplanar las paredes de las casas y con ello mantenerlas aisladas del exterior para resguardar dentro el calor generado.

La aguja de pino es un material muy abundante la zona del Ajusco, por lo que es sin duda el material que más se podría ajustar a las necesidades de aislamiento de las viviendas de la zona del Ajusco para que sus habitantes mejoren el confort térmico. No es el mejor material por sus características aislantes, comparada con la lana mineral, la celulosa de papel o el poliestireno expandido, ya que todos ellos poseen un menor nivel de conductividad térmica, si no por su accesibilidad y nulo costo.

En el proceso de determinar la mezcla ideal del enfoscado, se fabricaron placas de prueba con diferentes porcentajes de materiales entre cementantes, arena y aguja

de pino para que las placas tuvieran una rigidez aceptable. Se observó que entre mayor era el porcentaje de aguja de pino en la mezcla, más débil se volvía la placa.

Se decidió volver a fabricar las placas de prueba Pb20 y Pb22 debido a que fueron las placas con más aguja de pino que mostraron mayor estabilidad y resistencia tanto al momento de elaboración como al momento de corte. Las pruebas fabricadas, destruidas y seleccionadas, demuestran que una mezcla con mucha aguja de pino, más del 2 %, es débil y quebradiza y no soportaría mucho tiempo aplicada como enfoscado en una pared debido, por una parte, a una mayor absorción de agua y por otra a la creación de más huecos dentro de su estructura, mientras que una mezcla pobre en aguja de pino sería como aplicar un enfoscado tradicional.

La placa de prueba Pb16, que no incluía aguja de pino, se refabricó con el fin de tener un punto de comparación de la transferencia térmica entre las placas con aguja de pino y ésta.

En el proceso de medición de la conductividad térmica del material, se realizaron tres métodos de prueba: Caja de Pruebas Aislada, Barras Concéntricas Cortadas y Aparato de Placa Caliente con Guarda (APCG).

El método de **Caja de Pruebas Aislada**, fue el primer intento para determinar la conductividad térmica; sin embargo, las mediciones de temperatura durante el periodo de aplicación de la prueba (de una hora), mostraron un crecimiento constante (tipo parabólico), sin llegar a un estado estacionario y aumentar el tiempo de medición fue una limitante en la caja de pruebas, por presentar fallas. En este sentido, se consideró que este método no era recomendable para analizar la transferencia térmica de los materiales, además de no seguir un procedimiento certificado, por lo que se descartó este método de prueba.

El método de **Barras Concéntricas Cortadas**, consiste en determinar la conductividad térmica de un material por medio de un material de referencia mediante la técnica de estado permanente (Lira, 2008b). Sin embargo, durante la prueba, se observó también un incremento constante de la temperatura, sin llegar a estabilizarse. Esta problemática puede deberse a distintas causas: que no fue suficiente el tiempo dedicado a las pruebas; que no fueron correctas las mediciones o que el equipo de barras concéntricas cortadas no es el adecuado para analizar la conductividad térmica de materiales de construcción, así que este método también se descartó.

El método de **Aparato de Placa Caliente con Guarda** (APCG), fue elaborado por el Centro Nacional de Metrología y utiliza un método primario de medición con un aparato de placa caliente para determinar la conductividad térmica de materiales aislantes y de algunos otros utilizados para edificaciones.

Como se mencionó, para poder realizar las pruebas con el Aparato de Placa Caliente con Guarda, se tuvieron que volver a fabricar algunas placas de prueba. Las placas fabricadas fueron las que mostraron mejor firmeza dentro de las que se cortaron con la broca diamantada.

A las nuevas placas de prueba Pb16, Pb20 y Pb22 se les aplicó el método de **Aparato de Placa Caliente con Guarda**, el cual si llegó a el estado estacionario como se observa en la gráfica 4.3, cuyos valores nos indicaron que:

La placa Pb20 con conductividad térmica de $\lambda=0.2364 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ tiene una reducción de 25.0% de conductividad térmica respecto a la placa Pb16 con conductividad térmica de $\lambda=0.3154 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

La placa Pb22 con conductividad térmica de $0.2631 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ tiene una reducción de 16.6% de conductividad térmica respecto a la placa Pb16 con conductividad térmica de $0.3154 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

El hecho de que la mezcla de enfoscado con aguja de pino no presente los niveles más bajos de conductividad térmica, en comparación con otros materiales aislantes, no significa que estos no sean bastante aceptables para reducir la rápida transmisión de calor entre el interior de una vivienda y su exterior.

La finalidad de fabricar placas con cementantes, arena y aguja de pino para aplicarles pruebas de transferencia térmica se hizo con la idea de, si se lograban buenos resultados, igualar la mezcla y aplicarla como enfoscado a una vivienda para corroborar su efectividad, trabajo propuesto para una futura investigación, ya que sí se lograron los resultados esperados.

Algunas técnicas de construcción para aislar térmicamente las viviendas consisten en la fabricación de paredes paralelas rellenas de material aislante como paja o lana de oveja, como propuesta adicional, se podrían rellenar con aguja de pino y analizar su comportamiento.

Referencias Bibliográficas

- Ajusco. (sf). Recuperado marzo 27, 2017, de <http://www.ciudadmexico.com.mx/cercanias/ajusco.htm>
- Aloma, E. y Malaver, M. (2007). *Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot*. En textos universitarios de termodinámica, Universidad Simón Bolívar, Universidad Nacional Experimental Marítima del Caribe, Venezuela 2007. Recuperado junio 07, 2007 de https://www.researchgate.net/publication/256974745_Los_conceptos_de_calor_trabajo_energia_y_teorema_de_Carnot_en_textos_universitarios_de_termodinamica
- Calor y calorimetría. (sf). Recuperado abril 08, 2017, de http://laplace.us.es/wiki/index.php/Calor_y_calorimetría
- Castañeda, N., Ruiz, T. & Jiménez, A. (2013). *Comportamiento y confort térmico de vivienda en la Ciudad Rural Sustentable Nuevo Juan Del Grijalva Chiapas, México*. Universidad Nacional Autónoma de Chiapas. Recuperado de: http://www.espacioimasd.unach.mx/articulos/num2/pdf/Comportamiento_y_confort_termico_de_vivienda_en_la_ciudad_rural_sustentable_nuevo_Juan_del_Grijalva_Chiapa_Mexico.pdf
- Clima. Distrito Federal. (sf). Recuperado marzo 27, 2017, de <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>
- Confort Térmico | Construpedia, enciclopedia construcción. (sf). Recuperado marzo 24, 2017, de http://www.construmatica.com/construpedia/Confort_Térmico
- Chapple, Paula (2008). *Confort térmico en las viviendas: Estudio técnico*. Revista BIT 61, julio de 2008, pp 38-41. Recuperado de: <http://biblioteca.cchc.cl/datafiles/21264.pdf>
- Garcés, R. (2004). *Hormigón de aserrín*. (Tesis de maestría inédita). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Harman, L. (2010). *Confort Térmico en Viviendas Altoandinas: un enfoque Integral*. CARE Perú. Recuperado de: <http://www.care.org.pe/wp-content/uploads/2015/06/CONFORT-TERMICO-EN-VIVIENDAS->

[ALTOANDINAS-UN-ENFOQUE-INTEGRAL1.pdf](#)

Humedad máxima / humedad absoluta | Academia Testo. (sf). Recuperado abril 07, 2017, de <http://www.academiatesto.com.ar/cms/humedad-maxima-humedad-absoluta>

Jutglar i B. L. (1998). *Aislamiento térmico*. Barcelona, España: Ceac.

Kvisgaard, Bjørn (2000). *Thermal Comfort, Denmark*. INNOVA Air Tech instruments A/S. Recuperado de: http://www.innova.dk/books/thermal/thermal_comfort

Ladulceseguros.com.ar. (2017). *La Dulce Cooperativa de Seguros Ltda.* [en línea] Recuperado junio 07, 2017de <http://www.ladulceseguros.com.ar/agenda/agenda1d.htm>

Lira, L.; González, O. y Méndez, E. (2008a). *Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones*. Simposio de Metrología 2008, CENAM, Querétaro.

Lira, L.; González, O. y Méndez, E. (2008b). *Sistema de medición de la conductividad Térmica en Materiales Sólidos Conductores, Diseño y Construcción*. Simposio de Metrología 2008, CENAM, Querétaro.

Maslow, A. H. (2008). *Motivación y personalidad*. Barcelona: Diaz de Santos. Pirámide de Maslow: La jerarquía de las necesidades humanas. (2016, diciembre 08). Recuperado abril 12, 2017, de <https://psicologiymente.net/psicologia/piramide-de-maslow#!>

Monroy, M. M. (2006). *El Manual del Calor*. Las Palmas de Gran Canaria, España. ICARO. Recuperado de marzo 2017, de <https://m2db.files.wordpress.com/2014/09/manual-2-calor.pdf>

Muñoz, A; Chejne, F; Espinel S., J; Londoño G., C. (2006). *Evaluación de la celulosa de papel y de las cenizas de carbón, como materiales aislantes alternativos*. Dyna, 73() Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49614801>

NMX-AA-164-SCFI-2013. *Edificación Sustentable - Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos*. México. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/D03156.pdf>

Norma Básica de Edificación (2004). *Condiciones Térmicas en los Edificios NBE-CT-79*. Recuperado de: <http://www.efenergia.com/wp-content/uploads/NBE->

[CT-79.pdf](#)

RAE (2020). *Definición de Enfoscado*. Real Academia Española. Felipe IV, 4-28014 Madrid. Recuperado de: <https://dle.rae.es/enfoscado>

Rodríguez, J. (2017). *Introducción a la Termodinámica con algunas aplicaciones de Ingeniería*. Universidad Tecnológica Nacional [en línea], Recuperado junio 07, 2017 de <https://www.ier.unam.mx/~ojs/pub/Curso%20Mabe%20Termo/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Termodinamica.pdf>

Romero, M. (2010). *Confort Térmico y Ahorro de Energía en la Vivienda Económica en México: Regiones de Clima Cálido Seco y Húmedo*. CONAVI-CONACYT. Recuperado de: <http://2006-2012.conacyt.gob.mx/fondos/FondosSectoriales/CONAVI/Documents/6-RomeroMoreno.pdf>

SMN (sf). *Información Climatológica por Estado*. Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado marzo 27, 2017, de <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=df>

Anexos

Anexo 1. Mediciones climatológicas en el Ajusco

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													
NORMALES CLIMATOLÓGICAS													
ESTADO DE: DISTRITO FEDERAL													
PERIODO: 1951-2010													
ESTACION: 00009002 AJUSCO													
LATITUD: 19°13'00" N.													
LONGITUD: 099°12'00" W.													
ALTURA: 2,900.0 MSNM.													
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	15.3	16.3	18.3	19.3	19.2	17.6	16.2	16.5	15.9	16.1	15.8	15.4	16.8
MAXIMA MENSUAL	18.4	19.7	21.5	22.5	21.2	19.7	18.7	19.6	17.6	18.3	18.1	17.3	
AÑO DE MAXIMA	1973	1974	1980	1975	1983	1983	1980	1962	1962	1963	1972	1972	
MAXIMA DIARIA	24.5	24.0	26.0	29.0	27.0	24.0	23.5	30.5	22.0	26.0	21.5	21.5	
FECHA MAXIMA DIARIA	26/1973	02/1978	11/1980	06/1981	02/1983	09/1964	15/1963	06/1974	02/1963	01/1963	06/1969	12/1961	
AÑOS CON DATOS	24	22	24	26	26	25	25	26	26	26	25	25	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	9.1	10.0	11.7	13.1	13.4	12.6	11.6	11.9	11.6	11.1	10.2	9.7	11.3
AÑOS CON DATOS	24	22	24	26	26	25	25	26	26	26	25	25	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	2.8	3.7	5.2	6.9	7.6	7.6	7.1	7.4	7.3	6.2	4.6	3.9	5.9
MINIMA MENSUAL	-1.1	1.7	3.5	3.9	5.7	4.6	3.9	5.4	5.1	4.2	1.5	1.5	
AÑO DE MINIMA	1965	1980	1986	1977	1980	1981	1981	1980	1980	1987	1979	1979	
MINIMA DIARIA	-6.0	-3.0	-3.0	-2.0	3.0	1.0	2.0	2.5	0.0	-1.5	-4.0	-5.5	
FECHA MINIMA DIARIA	27/1965	05/1969	13/1983	12/1971	01/1973	11/1980	12/1980	26/1981	25/1975	20/1967	17/1974	18/1966	
AÑOS CON DATOS	24	22	24	26	26	25	25	26	26	26	25	25	
PRECIPITACION													
NORMAL	16.3	10.5	14.8	36.1	93.0	203.7	223.5	231.3	203.4	76.0	12.2	9.0	1,129.8
MAXIMA MENSUAL	139.0	49.5	115.0	114.5	226.0	396.0	324.0	453.0	412.5	201.4	47.5	38.6	
AÑO DE MAXIMA	1980	1968	1988	1962	1972	1986	1987	1969	1984	1976	1964	1968	
MAXIMA DIARIA	70.0	30.5	86.0	36.0	96.0	70.0	65.0	75.0	81.0	74.0	23.5	28.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	25/1980	21/1965	04/1988	05/1973	03/1972	14/1981	23/1978	19/1976	04/1973	06/1976	03/1970	02/1984	
AÑOS CON DATOS	28	26	28	27	28	26	27	27	27	27	27	27	
EVAPORACION TOTAL													
NORMAL	103.5	116.4	160.7	157.4	147.1	123.8	106.8	111.2	97.4	99.2	92.7	89.0	1,405.2
AÑOS CON DATOS	24	22	24	24	24	22	23	23	23	23	24	24	
NUMERO DE DIAS CON LLUVIA													
NORMAL	2.0	2.1	3.3	6.6	12.9	18.6	23.6	21.9	19.9	9.3	3.3	2.0	125.5
AÑOS CON DATOS	28	26	28	27	28	26	27	27	27	27	27	27	
NIEBLA													
NORMAL	0.1	0.4	0.4	0.5	0.8	2.0	3.9	2.2	1.5	2.0	0.3	0.7	14.8
AÑOS CON DATOS	28	26	28	27	28	26	27	27	27	27	27	27	
GRANIZO													
NORMAL	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.5	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	1.8
AÑOS CON DATOS	28	26	28	27	28	26	27	27	27	27	27	27	
TORRENTA E.													
NORMAL	0.2	0.5	0.1	0.7	0.6	3.3	2.4	3.8	1.6	2.5	0.4	0.7	16.8
AÑOS CON DATOS	28	26	28	27	28	26	27	27	27	27	27	27	

Fuente: SMN, 2017

Anexo 2. Hoja de resultados de la placa Pb16 o 0A – 0B

Número de Prueba: Una	
Descripción de la muestra	
Características:	Cemento aislante
Identificación:	0 A y 0 B
Dimensiones:	Placas de 17 cm x 17 cm x 2.3 cm.
Descripción del patrón	
Patrón nacional:	CNM-PNE-16.
Nombre del aparato:	Aparato de placa caliente con guarda.
Orientación de los platos:	Horizontal.
Modo de operación:	Doble lado de medición.
Procedimiento de prueba	
Estado permanente con aparato de placa caliente con guarda.	
Valores experimentales	
Calor disipado durante la prueba / W	11.71
Temperatura en la placa caliente / °C	34.0
Temperatura en la placa fría / °C	14.1
Gradiente de temperatura en la muestra / °C	19.9
Temperatura media o de la prueba / °C	24.0
Temperatura ambiente / °C	21.8
Humedad relativa / %HR	48.9
Espesor promedio de las muestras / m	0.023
Área de medición / m ²	0.02145
Conductividad térmica aparente / W m⁻¹K⁻¹	0.3154
Incertidumbre relativa expandida (k=2) / %	3.3



Fuente: Centro Nacional de Metrología, CENAM.

Anexo 3. Hoja de resultados de la placa Pb20 o 12A – 12B

Número de Prueba: Una	
Descripción de la muestra	
Características:	Cemento aislante
Identificación:	12-A y 12-B
Dimensiones:	Placas de 17 cm x 17 cm x 2.28 cm.
Descripción del patrón	
Patrón nacional:	CNM-PNE-16.
Nombre del aparato:	Aparato de placa caliente con guarda.
Orientación de los platos:	Horizontal.
Modo de operación:	Doble lado de medición.
Procedimiento de prueba	
Estado permanente con aparato de placa caliente con guarda.	
Valores experimentales	
Calor disipado durante la prueba / W	9.07
Temperatura en la placa caliente / °C	34.2
Temperatura en la placa fría / °C	13.9
Gradiente de temperatura en la muestra / °C	20.4
Temperatura media o de la prueba / °C	24.1
Temperatura ambiente / °C	22
Humedad relativa / %HR	52
Espesor promedio de las muestras / m	0.023
Área de medición / m ²	0.021
Conductividad térmica aparente / W m⁻¹K⁻¹	0.236
Incertidumbre relativa expandida (k=2) / %	2.7



Fuente: Centro Nacional de Metrología, CENAM.

Anexo 4. Hoja de resultados de la placa Pb22 o 16A – 16B

Número de Prueba: Una	
Descripción de la muestra	
Características:	Cemento aislante
Identificación:	16-A y 16-B
Dimensiones:	Placas de 17 cm x 17 cm x 2.3 cm.
Descripción del patrón	
Patrón nacional:	CNM-PNE-16.
Nombre del aparato:	Aparato de placa caliente con guarda.
Orientación de los platos:	Horizontal.
Modo de operación:	Doble lado de medición.
Procedimiento de prueba	
Estado permanente con aparato de placa caliente con guarda.	
Valores experimentales	
Calor disipado durante la prueba / W	9.77
Temperatura en la placa caliente / °C	34
Temperatura en la placa fría / °C	14
Gradiente de temperatura en la muestra / °C	19.9
Temperatura media o de la prueba / °C	24
Temperatura ambiente / °C	22.1
Humedad relativa / %HR	48
Espesor promedio de las muestras / m	0.023
Área de medición / m ²	0.021
Conductividad térmica aparente / W m⁻¹K⁻¹	0.2631
Incertidumbre relativa expandida (k=2) / %	3.2



Fuente: Centro Nacional de Metrología, CENAM.