**Universidad
Autónoma
Metropolitana**

Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

**DISEÑO, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS
TERMOFÍSICAS DE PANELES AISLANTES PARA MUROS,
REALIZADOS CON BOTELLAS REUTILIZADAS DE PET, ESPUMA DE
POLIURETANO Y ACABADO APARENTE EN UNA DE SUS CARAS.**

Mtro. Héctor Valerdi Madrigal

Tesis para optar por el grado de Doctor en Diseño

Posgrado en Diseño Bioclimático

Miembros del Jurado:

Dr. Aníbal Figueroa Castrejón

Director de la tesis.

Dr. Pablo David Elías López.

Codirector de la tesis

Asesores

Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet.

Dr. Hiram Isaac Beltrán Conde.

Dr. Edwing Antonio Almeida Calderón.

Ciudad de México.

Febrero de 2021.

Resumen

El siguiente trabajo de investigación surge por la necesidad e inquietud de atender diferentes edificaciones que presentan problemas de sobrecalentamiento por radiación solar directa, enfriamiento nocturno y principalmente invernal. Regularmente la envolvente de algunos espacios habitables (principalmente los de escasos recursos) no son tomados en cuenta ya que son elementos que difícilmente son considerados como parte de un diseño arquitectónico. Por lo tanto, no son atendidos por el usuario, con respecto a aislamiento térmico y mucho menos se procura un acabado final que brinde identidad a la vivienda. La regulación de la temperatura interior se lleva a cabo por medio de abrir o cerrar puertas y ventanas, muchas veces los elementos verticales son de sistemas constructivos diferentes, pueden ser de block hueco, tabique rojo, tabique gris, madera o algún tipo de lámina. En la actualidad existen algunos productos que se venden como aislantes térmicos para la construcción, principalmente espuma de poliuretano, poliestireno, fibra de vidrio, lana mineral, por mencionar algunos. Por todo lo anterior, la presente tesis tiene como objeto llevar a cabo una investigación que permita diseñar, analizar y evaluar nuevos elementos térmicos de tipo panel modular aislante para muros, conformados por la combinación de diferentes materiales, como son:

- El polietileno tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET) en forma de botellas reutilizadas que aprovecha el aire inerte contenido como aislante de costo cero.
- La espuma de poliuretano de alta densidad, la cual también incorpora burbujas de aire al momento de realizar la reacción de polimerización.
- Fachaletas de cemento/mortero/arena con diversos acabados aparentes como tabique rojo, sillar rojo y beige, piedra laja o cantera, para soportar la intemperie, con la selección de estos estilos de fachada se evita tener que pintarlos de manera regular, reduciendo el costo de mantenimiento.

La intención final de estos paneles es brindar en primer lugar el beneficio de mejorar la temperatura interior y aportar un mejor confort térmico al usuario, en segundo lugar, permite generar fachadas con mayor apropiación de estilo, de manera rápida y económica. Estos paneles, aportan un valor ecológico adicional al mitigar el impacto ambiental que genera el desperdicio del PET.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	7
ESTRUCTURA METODOLÓGICA	13
Antecedentes del protocolo de investigación	13
Planteamiento del problema.....	15
Hipótesis	17
Objetivo General	17
Objetivos Particulares.....	18
CAPITULO 1	19
Situación de la vivienda popular en México	20
1.1. Breve historia de la vivienda en México desde el siglo XX a la actualidad.....	20
1.2. Diferentes tipologías de vivienda	26
CAPITULO 2	34
2. Aislantes Térmicos.....	35
2.1. ¿Qué son los aislantes térmicos?.....	35
2.2. Antecedentes del uso de aislantes en México.....	37
2.2.1. Materiales actuales para el aislamiento térmico en construcción.....	38
2.2.2. Fibra de vidrio	39
2.2.3. Lana mineral	40
2.2.4. Espuma de poliestireno	41
2.2.5. Espuma de poliuretano	42
2.2.6. Perlita expandida	43
2.2.7. Comparativa de materiales aislantes.....	43
2.2.8. Factor energético	44
CAPITULO 3	48
3. Antecedentes	49
3.1. ¿Qué es el PET?	50
3.2. Principales características físicas del PET	50
3.3. Principales características químicas del PET	51
3.4. Principales características termofísicas del PET	52
CAPITULO 4	53
4. Acotación territorial para el caso de estudio.....	54
4.1. Localización geográfica del municipio Nicolás Romero.....	54
4.2. Relieve del municipio Nicolás Romero	55
4.3. Edafología del municipio Nicolás Romero	57
4.4. Geología del municipio Nicolás Romero.....	58
4.5. Hidrología del municipio Nicolás Romero	60
4.6. Vegetación del municipio Nicolás Romero	61
4.7. Clima del municipio Nicolás Romero	64
4.8. Análisis climatológico de Nicolás Romero	65
4.9. Análisis de temperatura	66
4.10. Análisis de humedad.....	71
4.11. Precipitación y evaporación	74
4.12. Índice ombrotérmico	77
4.13. Análisis de radiación solar	78
4.14. Análisis de nubosidad	81

4.15.	Análisis de viento	82
4.16.	Clasificación de clima según Köppen-García	84
4.17.	Carta psicrométrica	85
4.18.	Triángulos de confort	87
4.19.	Carta bioclimática	89
4.20.	Días-Grado	91
4.21.	Medio Artificial	92
4.21.1.	Antecedentes históricos	92
4.21.2.	Vivienda en el municipio de Nicolás Romero	95
CAPITULO 5		97
5.	Propuesta de Diseño de los paneles aislantes	98
5.1.	Propuesta de conformación de los paneles	103
5.2.	Parte visual de los paneles	104
5.3.	Parte aislante de los paneles	108
5.4.	Elementos complementarios del sistema de paneles	112
CAPITULO 6		116
6.	Delimitación climática para la implementación del sistema aislante	117
6.1.	Selección de la vivienda para caso de estudio	119
6.2.	Descripción de la vivienda caso de estudio	121
6.3.	Sistema constructivo de la vivienda caso de estudio	125
6.4.	Descripción de Muros, Techos, Suelos y Acristalamientos	127
6.5.	Muros	128
6.6.	Techos	128
6.7.	Suelos	129
6.8.	Acristalamientos	130
CAPITULO 7		131
7.	Metodología. Definición de parámetros para el caso de estudio	132
7.1.	Calibración de dispositivos de medición de temperatura y humedad	132
7.2.	Ubicación y colocación de los equipos de medición	133
7.3.	Registro y adquisición de datos meteorológicos	135
7.4.	Proceso de adquisición de datos climáticos	136
7.5.	Características termofísicas de los materiales empleados en las simulaciones numéricas	137
7.6.	Definición de zona de confort	138
7.7.	Modelado para simulación numérica	140
7.7.1.	Temperatura de suelo, infiltración y entorno	140
7.7.2.	Modo programado	140
7.8.	Calibración del modelado digital para simulación	143
a)	Sistema constructivo de la vivienda a modelar	144
b)	Modelo tridimensional digital de la vivienda	144
c)	Datos climáticos	145
d)	Datos <i>in situ</i> de comportamiento térmico de la vivienda	145
e)	Documentación	145
f)	Valores de cerramientos y envolvente	146
g)	Cargas internas	147
h)	Identificación de posibles errores	147
i)	Repetición del proceso	148

j) Resultados.....	150
7.9. Validación del modelo de simulación numérica.....	152
7.10. Temperatura interior recamara 2, semana cálida.....	153
7.11. Temperatura interior recamara 2, semana fría.....	154
7.12. Temperatura superficial interior de losa recamara 2, semana calida.....	155
7.13. Temperatura superficial interior de losa recamara 2, semana fría.....	156
7.14. Temperatura superficial exterior de losa recamara 2, semana cálida.....	157
7.15. Temperatura superficial exterior de losa recamara 2, semana fría.....	158
7.16. Temperatura superficial interior de muro recamara 2, semana cálida.....	159
7.17. Temperatura superficial interior de muro recamara 2, semana fría.....	160
7.18. Temperatura superficial exterior de muro recamara 2, semana cálida.....	161
7.19. Temperatura superficial exterior de muro recamara 2, semana fría.....	162
CAPITULO 8.....	163
8. Valores termofísicos del sistema del panel aislante.....	164
8.1. Obtención de valores de los materiales del sistema aislante propuesto.....	164
8.2. Validación de características termofísicas del sistema de asilamiento propuesto.....	165
CAPITULO 9.....	170
9. Implementación del sistema aislante propuesto a la vivienda seleccionada.....	171
9.1. Comparación con aislante vs sin aislante recamara 2, invierno.....	172
9.2. Comparación con aislante vs sin aislante recamara 2, primavera.....	174
9.3. Comparación con aislante vs sin aislante comedor, invierno.....	176
9.4. Comparación con aislante vs sin aislante comedor, primavera.....	178
Conclusiones.....	181
Propuestas.....	183
Aportaciones.....	183
Bibliografía.....	185
Índice de imágenes.....	187
Índice de Diagramas.....	188
Índice de Tablas.....	188
Índice de Gráficas.....	189

INTRODUCCIÓN

El ser humano, desde sus inicios y de manera instintiva ha buscado refugio de las inclemencias del clima. Existen registros de que los primeros espacios habitados por el hombre fueron cuevas, donde plasmaron de manera pictórica diversas actividades de su vida cotidiana. Después, con el control del fuego lograron mejorar las condiciones de dichos espacios tanto de manera lumínica como térmica principalmente. Con el paso del tiempo y la evolución de la especie, las cuevas fueron abandonadas para generar nuevos espacios habitables, pasando por diversos materiales y sistemas constructivos, algunos de los cuales siguen vigentes hasta nuestros días. La construcción con madera, tierra, paja, papel, piedra, adobe, pieles e incluso hielo está presente en diferentes partes del planeta. Con el avance de la tecnología surgen nuevos materiales constructivos como el concreto, acero, vidrio y diferentes polímeros, por mencionar algunos. A la par del desarrollo humano, surgen diferentes corrientes de arquitectura que abordan desde diferentes aristas los requerimientos del espacio habitable, muchas veces determinado por la localización geográfica y los materiales disponibles en el sitio.

En una reseña obligada por la historia de la arquitectura y el confort al interior del espacio habitable, se debe resaltar que, en la antigua Grecia, Sócrates (470 a 399 a.C.) (Jenofonte, 1993) manifestó que la orientación de las casas debía ser al sur para permitir la entrada de sol por el pórtico en invierno y permitir el sombreado en el verano. Aristóteles (384 a 322 a.C.) (Aristóteles, 2000) citaba que *“resguardarse del frío del norte y aprovechar el calor del sol era una manera moderna y civilizada de vivir”*. En el caso de Roma, Vitrubio (siglo I a.C.) (Vitruvio, 1970) en su obra “diez libros de Arquitectura” menciona que es importante tomar en cuenta el país y el clima en el que se va a construir, ya que una casa apropiada para Egipto no lo es para Roma. Hace también alusión a que los nuevos edificios no deben generar sombra a los ya existentes, dejando entrever un ejercicio concreto del uso de la arquitectura solar pasiva.

No se puede pasar por alto el Palacio de Cristal de Londres de Joseph Paxton, que albergó la exposición mundial de 1851, donde los principales materiales fueron el metal y el cristal, revolucionando la arquitectura moderna en ese momento, utilizó el sol

como fuente de iluminación. Posterior a esto en el primer tercio del siglo XX, Le Corbusier en algún momento manifestó que “...La casa es una máquina de habitar. Baños, sol, agua caliente, agua fría, temperatura a voluntad, conservación de los alimentos, higiene, belleza mediante la proporción. Un sillón es una máquina de sentarse...” mostrando que el espacio interior se podía controlar a placer para el confort humano por medios mecánicos.

Por otra parte, si bien no es el único factor determinante de la arquitectura de mediados del siglo XX, se puede tomar como punto de partida la reconstrucción de Europa después de la segunda guerra mundial. Donde se marcó un parteaguas en la industrialización en serie de diversos materiales llevándolos a una estandarización de producción, embalaje y distribución por los diferentes países que compartían los recursos disponibles, basados en el Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM), fundado en 1928 en la Sarraz, Suiza. El cual buscaba fomentar un intercambio de ideas de arquitectos y urbanistas de todo el mundo, para así comparar los diferentes estilos y técnicas de diversos lugares, se plantea un ejercicio de postguerra que retomó el predimensionamiento tanto de materiales como de recursos industrializados. Siguiendo en ese momento el estilo de la arquitectura modular, que tiene un auge impresionante y apareciendo de manera acelerada por toda Europa casas y edificios de rápida construcción en serie. Este modelo constructivo llega al continente americano y es adoptado por diferentes países. Previamente a esto y como antecedente importante Frank Lloyd Wright, en el año de 1932 escribió un libro sobre planificación urbanística en América (Lloyd Wright, 1932). Sin embargo, en algunos países de Latinoamérica, principalmente, no se permea el concepto completo, ni se analiza de manera integral y oportuna el diseño de grandes unidades habitacionales o multifamiliares. Esto provocó finalmente que el usuario padezca de problemas tales como falta de asoleamiento, ventilación deficiente en algunos casos y sobrecalentamiento, por mencionar algunos. La regionalización de este esquema constructivo buscaba construir el mayor número de viviendas posibles en un predio determinado y de grandes extensiones (LeCorbusier, 1985). La utilización de nuevos materiales y sistemas constructivos no contempló que se podría perder ese confort higrotérmico que se había buscado por muchos siglos y que la

arquitectura vernácula había logrado conseguir y desarrollar de una manera adecuada. En ese momento lo tradicional no era compatible con el progreso de la construcción de las ciudades y los nuevos sistemas constructivos, de tal manera que se desecharon siglos de conocimiento. En México la mayoría de los multifamiliares y unidades habitacionales se construyeron entre los años 50 y 70, de tal manera que el crecimiento de la ciudad fue acelerado, ambicioso, en algunos casos mal planeado y proyectado. En este esquema de construcción de vivienda se funda el 21 de abril de 1972 el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT)¹, el cual construyó en el año de 1973, la unidad habitacional del Rosario, con una extensión de 350 hectáreas, que en su momento fue la más grande de Latinoamérica.

Por otra parte, en diferentes momentos y en diferentes partes de mundo surgen diversos autores que con sus métodos y publicaciones se enfocan en el tema del confort higrotérmico de los espacios habitables y son el referente actual del bioclimatismo moderno. Quienes buscan generar viviendas confortables por medio de estrategias pasivas de diseño y la implementación de nuevas tecnologías en caso de ser necesario. Tal es el caso de Alexander Klein quien en 1934 comenzó a diseñar utilizando la gráfica solar. Otro ejemplo, es Víctor Olgyay que con su libro “Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas” editado en 1963 y con la carta bioclimática, permite delimitar las zonas de confort higrotérmico, tomando como referentes la humedad relativa, temperatura de bulbo seco, viento, radiación y el metabolismo de las personas dependiendo las actividades.

Otro autor importante es Baruch Givoni, que con su publicación “Climate and Architecture” de 1969 y tomando como referencia la carta psicrométrica, la cual contempla la temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, humedad relativa, humedad específica, temperatura de punto de rocío, entalpía y volumen específico, delimita zonas de confort y propone estrategias de diseño bioclimático. Hasta ese momento la relación de confort higrotérmico entre el usuario y el espacio habitable

¹ El Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT) es una institución tripartita en México que cuenta con la participación del sector de los trabajadores, el sector empresarial y el gobierno. Su función principal es proporcionar a los trabajadores créditos hipotecarios y no hipotecarios relacionados con la vivienda.

parecía estar atendido, sin embargo, en algunos casos ocurrió una ruptura en algún momento de la historia entre construcción y el diseño del espacio.

Un ejemplo de lo que se menciona en el párrafo anterior, se puede observar en el caso donde el Centro de Estudios de la Elam de Meda en 1968, solicita a los arquitectos Forges y Razani quienes a su vez integran al diseñador Bruno Munari, que proyecten un espacio habitable modular de 50 m² para dos personas al cual se le puedan agregar nuevos módulos habitables o de servicio en caso de ser necesario (Munari, 1993). En el proyecto solo había atención al espacio habitable considerando principalmente la cuestión de maximizar la disposición y forma del mobiliario, así como de los módulos de servicio sanitario. De tal manera que se consiguiera obtener la mayor cantidad de área libre para el desarrollo de las actividades cotidianas, no así para el confort humano en cuestiones higrotérmicas, ya que los módulos estaban diseñados para ser troquelados en metal, un material con características térmicas desfavorables para la construcción de viviendas. El diseño y acomodo del mobiliario funcionó bastante bien, incluso planteaba módulos de servicio sanitarios fabricados en una sola pieza para aprovechar cada centímetro cuadrado destinado a esta actividad que retomaba la importancia de tener espacios limpios y salubres para el usuario. El resultado era una vivienda funcional cuyo objetivo simplemente era el de maximizar el espacio habitable, sin tomar en cuenta factores como ventilación y asoleamiento.

En México, hoy en día existe una falta de diseño bioclimático evidente, en cuanto a vivienda se refiere. La normatividad existente, que son la NOM-008-ENER-2001² y la NOM-020-ENER-2011³, atienden únicamente el desempeño de la envolvente del edificio y se enfocan principalmente en reducir el consumo energético que se empleará en ventiladores y sistemas de aire acondicionado. Según datos de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)⁴ la energía empleada en el acondicionamiento

2 Norma Oficial Mexicana de eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no habitacionales (hospitales, hoteles, escuelas, oficinas, aeropuertos, entre otros), muestra el estándar mínimo que la envolvente de un inmueble debe cumplir.

3 Norma Oficial Mexicana de eficiencia en edificaciones, envolvente de edificios para uso habitacional (casas y Departamentos), muestra el estándar mínimo que la envolvente de un inmueble debe cumplir.

4 Es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, que fue creada a través de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de noviembre del 2008, y tiene como objetivo central promover la eficiencia energética y fungir como órgano técnico en materia de aprovechamiento sustentable de la energía.

de un inmueble puede oscilar entre un 30% a un 60% dependiendo el estado de la República Mexicana y el tipo de clima. Si bien la normatividad antes mencionada es un primer paso para mejorar el desempeño térmico de la envolvente de la edificación, se está muy lejos aún de analizar, proponer y diseñar espacios que atiendan de manera adecuada el confort higrotérmico, principalmente para el prototipo de vivienda que se pretende favorecer con la implementación de los paneles propuestos en esta tesis. Es importante mencionar que dicha normatividad solo se aplica para las nuevas edificaciones, situación que deja un enorme rezago en el campo inmobiliario, pues en el mejor de los casos a partir de 2011 se implementó en el rubro de la vivienda. Según datos oficiales publicados en la página web de la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2016), existen seis unidades verificadoras en el país correspondientes a la certificación de la NOM-020-ENER-2011 y siete de la NOM-008-ENER-2001. Se puede entender entonces que la mayor parte de las viviendas construidas antes de 2011, no contaban ni siquiera con los estándares mínimos que marca la normatividad actual. Otro esfuerzo por parte del INFONAVIT es la implementación de la llamada Hipoteca Verde, la cual a partir del año 2007 implicó que todos los créditos otorgados a los trabajadores, ya sea para compra, construcción, ampliación o remodelación consideraran un porcentaje del monto total destinado a la implementación de ecotecnologías. Las cuales tienen como objetivo disminuir el gasto de recursos energéticos tales como gas y electricidad, considerando calentadores solares y lámparas ahorradoras o de tecnología LED. También se busca reducir el consumo de agua, con llaves mezcladoras y regaderas ahorradoras y para el W.C. con sistema de doble descarga. Todo esto es una buena acción de cuidado para el medio ambiente, sin embargo, no se atendía en ningún caso la problemática de sobrecalentamiento de la vivienda. El mayor acercamiento de las ecotecnologías a esta problemática y que se pueden implementar por medio de proveedores autorizados de hipoteca verde son los impermeabilizantes que manifiestan tener un efecto termoaislante. En la realidad el problema de sobrecalentamiento es atendido por el usuario con la implementación de ventiladores y en un número mínimo de casos, según la última encuesta del INEGI, sistemas de aire acondicionado de bajo consumo energético, también incluidos en los

catálogos de proveedores autorizados por el INFONAVIT. No se debe perder de vista que en ninguno de los casos antes mencionados se ha buscado implementar un diseño bioclimático en la vivienda de interés social.

La construcción masiva de vivienda de interés social en México demuestra que esta tipología es la más vulnerable en cuestión de calidad de materiales (considerando que es vivienda nueva), sistemas constructivos, orientación, confort térmico y acústico por mencionar algunos. A pesar de los diferentes esfuerzos con respecto a la normatividad y las instancias federales antes mencionadas, se sigue construyendo vivienda que solo responde a los intereses particulares de las constructoras y no a los intereses del usuario final o el medio ambiente en su caso. Tal es el ejemplo de la Unidad habitacional San Buenaventura, en el municipio de Ixtapaluca, que se planteó para albergar a poco más de 115 mil habitantes. En la Imagen 1, se puede observar que la orientación de las viviendas no tiene relación alguna con un estudio de asoleamiento, esto puede generar en algunos casos ganancias solares no deseadas y el color del impermeabilizante es rojo. Sumando estos dos factores seguramente se presenta sobrecalentamiento del interior de los espacios habitables.

Imagen 1. Unidad Habitacional San Buenaventura Foto: Livia Corona.

ESTRUCTURA METODOLÓGICA

Antecedentes del protocolo de investigación

La principal inquietud de esta tesis es desarrollar un elemento aislante que mejore el comportamiento térmico de los espacios arquitectónicos, basado en los criterios bioclimáticos, y así mitigar la problemática de sobrecalentamiento principalmente en vivienda de interés social, de bajos recursos y/o autoconstrucción.

Se plantea atender la problemática de sobre calentamiento al interior del espacio habitable por medio del diseño e implementación de paneles aislantes. Dichos elementos mejoraran en diversos sentidos el concepto integral de la vivienda, por una parte, se atenderá la cuestión de confort térmico y por otra parte se dará la opción de mejora sobre la fachada, permitiendo al usuario apropiarse de una imagen diferente a los materiales empleados en la vivienda de bajo presupuesto.

Vale la pena recalcar que los aislantes térmicos ya se usan en muchos países y sus principales objetivos son:

1. Reducir el flujo conductivo de calor en espacios habitables en temporada de calor.
2. Reducir el flujo conductivo de calor en espacios habitables en temporada de frío.
3. Ahorro de energía evitando pérdidas o ganancias de temperatura.
4. Controlar temperatura en espacios que por su actividad lo requieren.

En este caso se pretende combinar las propiedades termofísicas de un aislante con la posibilidad de elegir entre diferentes sistemas constructivos, que permitan al usuario tener la opción de individualizar la tipología de la fachada de su vivienda a un costo accesible.

En México, en realidad no existe la cultura del aislamiento térmico, principalmente por dos variantes, la primera, a pesar de la gran diversidad de climas que tiene el país, estos no son tan extremos como en otras latitudes del planeta y si esto llega a suceder no es por periodos largos, o es de manera esporádica. La segunda, debido al sistema

constructivo predominante (muros: tabique rojo, tabicón, block, losas: maciza de concreto, vigueta y casetón) es difícil su implementación, regularmente los problemas de sobrecalentamiento se resuelven con ventiladores y/o sistemas de climatización mecánicos. Con respecto a las bajas temperaturas difícilmente vemos sistemas de calefacción, estos problemas se resuelven principalmente con chimeneas, fogones o aumentando el nivel de arropamiento CLO⁵ por parte del usuario. Es importante mencionar que en algunos lugares se necesita la estrategia de masividad y en otros no, de tal manera que este proyecto aplicará solo para las regiones a las cuales se adapte. Y además no pretende sustituir ninguna estrategia pasiva, por el contrario, se debe considerar como un elemento que ayude a lograr el confort térmico de los usuarios.

Sin embargo, existe un mercado de productos aislantes que se enfoca principalmente en el rubro de edificios industriales y comerciales. Recientemente se han comenzado a implementar aislantes térmicos en la vivienda, aunque de manera muy reservada, quizás la falta de opciones en el mercado y la poca información sobre los beneficios ha frenado su desarrollo e implementación a nivel habitacional. Se puede mencionar que en la actualidad existen cambios climáticos en las diferentes estaciones del año y son cada vez más representativos, las temperaturas han ampliado sus rangos de oscilación, presentándose días más calurosos y fríos, teniendo un impacto directo en los espacios habitables. Si bien es un problema que tendrá sus particularidades dependiendo del tipo de clima, la ubicación geográfica, orientación donde se encuentren estos espacios, esta situación se puede ver agravada en edificaciones que no cuentan con estrategias pasivas para el confort o sistemas de climatización artificial.

⁵ El CLO es una unidad de medida empleada para el índice de indumento, que procede del inglés cloth, vestimenta.

Planteamiento del problema

Los sistemas de aislamiento térmico han sido utilizados por el hombre desde que aparecieron sistemas constructivos que permitían generar espacios habitables, uno de los ejemplos más representativos de aislamientos térmicos es sin duda la casa vikinga, que utilizaba tierra y hierba para protegerse de las inclemencias del clima. Otro ejemplo son las pieles que utilizan los esquimales dentro del iglú y que permiten generar una cámara de aire entre la superficie del hielo y las pieles, logrando disminuir en más de 20 ° C (Gonzalo, 2015) el diferencial térmico de la temperatura exterior con respecto al interior. Las nuevas tecnologías han permitido un avance significativo en cuestión de aislamiento térmico y en algunos casos un mismo producto ofrece también aislamiento acústico.

Ha surgido de manera discreta cierta normatividad, que evalúan el aislamiento, pero no contemplan alternativas pasivas, estas normas son: NOM-008-ENER-2001 y NOM-020-ENER-2011, para edificación nueva de uso no residencial y edificación nueva de uso residencial, respectivamente. Éstas coadyuvan a evitar el sobrecalentamiento de los edificios analizando la envolvente, sin embargo, persiguen como primer objetivo la eficiencia energética de la edificación, buscando que en el interior del espacio analizado se rebase lo menos posible la temperatura de confort. Pero su principal objetivo es minimizar el tiempo y el consumo energético de los equipos mecánicos, lo anterior, aunado a un equipo eficiente y de bajo consumo energético. Lo anterior dará como resultado que la normatividad certifique el edificio, otorgando lo que se denomina una etiqueta amarilla (Imagen 2) que respalda una disminución del consumo energético.

Imagen 2. Etiqueta de certificación NOM-020-ENER-2011.

Por todo lo anterior, el problema de sobrecalentamiento de las viviendas construidas antes del año 2011 es mayor y no se atiende de manera directa y contundente. De tal manera que se propone diseñar un sistema de aislamiento que atienda el control de la ganancia térmica relacionada a la transmisión de energía calorífica, conductividad de los muros y aislamiento conductivo. Y que permita la fácil implementación para mejorar en lo posible los problemas de diseño y así lograr que la vivienda sea un lugar habitable con mejores condiciones para el usuario final. En particular, este trabajo se llevó a cabo con datos adquiridos a partir de una estación meteorológica y una vivienda caso de estudio que se encuentra en el municipio Nicolas Romero del Estado de México.

Hipótesis

El diseño, simulación, análisis y evaluación de un panel multifuncional fachada/aislante, combinando materiales y acabados, integrado por fachaleta de mortero/cemento/arena, botellas reutilizadas de PET y espuma de poliuretano, puede ser una solución viable para i) el problema de sobrecalentamiento que presentan algunas viviendas del Estado de México, mejorando notablemente las condiciones de confort térmico para el usuario, y ii) que no modifica el sistema constructivo original.

Objetivo General

Diseñar, analizar y evaluar las características termofísicas de paneles aislantes para muros, realizados con botellas reutilizadas de PET, espuma de poliuretano y acabado aparente en una de sus caras, para atender la problemática causada por radiación solar directa, conductividad térmica y transferencia de calor a través de los muros.

Objetivos Particulares

Diseñar un panel aislante que sea de fácil implementación, ligero y que no requiera un refuerzo estructural, que su diseño no altere el sistema constructivo de la edificación, que el acabado del panel sea; tabique rojo, sillar o piedra para muros exteriores.

Desarrollar prototipos de panel aislante en función de la sujeción y distribución homogénea de las botellas de PET dentro de la espuma de poliuretano.

Diseñar un sistema modular de paneles aislantes, el cual pueda ser accesible en cuanto a costo se refiere, con un desempeño térmico eficiente para reducir significativamente las altas temperaturas que se puedan generar al interior de la vivienda.

Analizar en su conjunto el sistema aislante propuesto, para determinar su desempeño térmico, utilizando botellas de PET de 600 mL.

Evaluar el comportamiento térmico de una vivienda del municipio de Nicolás Romero, Estado de México antes y después de implementar el panel.

Elaborar y validar un archivo de clima para el municipio de Nicolás Romero, Estado de México.

Elaborar un modelo digital 3D de la vivienda para realizar simulaciones numéricas con y sin el sistema de paneles aislantes para validar su eficiencia.

Realizar un análisis comparativo de temperaturas con y sin el sistema de paneles propuesto.

CAPITULO

1

Situación de la vivienda popular en México

1.1. Breve historia de la vivienda en México desde el siglo XX a la actualidad

A principios del siglo XX, en la última etapa del Porfiriato y como resultado de la migración del campo a las ciudades, el progreso e industrialización del país, se requería de una mayor cantidad de mano de obra y con ello un lugar donde vivir. Es aquí donde por primera vez se considera dotar de una vivienda a los obreros y sus familias. De tal manera que el entonces presidente Porfirio Díaz, aprobó la ley sobre casas de obreros y empleados públicos residentes en Chihuahua (Sánchez, 2012).

En 1916, el primer Jefe Constitucionalista Venustiano Carranza Garza, instruyó la reducción del pago de la vivienda rentada a solo la mitad de su monto pactado originalmente o hasta tres cuartas partes de su valor catastral. Posteriormente en la Constitución de 1917, se redactó en el artículo 123, Frac. XII, que los patrones están obligados a proveer a sus trabajadores de viviendas cómodas e higiénicas (Sánchez, 2012).

En 1925 se creó la Dirección de Pensiones Civiles teniendo como principal objetivo otorgar créditos a los trabajadores del Estado para la construcción o adquisición de vivienda.

En 1929 y 1932 se celebraron en el Distrito Federal los primeros concursos cuyo objetivo era el de proponer mejoras y redensificar las viviendas de las distintas clases obreras.

En 1933 por decreto del Poder Ejecutivo Federal, se creó el Banco Nacional Hipotecario Urbano y de Obras Públicas, S.A., institución que hoy lleva el nombre de Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, (BANOBRAS).

En 1934 por medio de un decreto Presidencial, se instruyó al Departamento del Distrito Federal para la construcción de viviendas para trabajadores de ingresos mínimos.

En 1935 se construyó el edificio Ermita (Imagen 3), a cargo del arquitecto Juan Seguro, siendo este el primero en su clase y denominado Edificio Obrero, éste resaltaba la necesidad de dotar de un espacio digno a los trabajadores.

Imagen 3. Edificio Ermita, Fuente: México en fotos, Fotos Antiguas / Distrito Federal / Ciudad de México.

Según registros de la Secretaría de la Defensa Nacional, en 1942 dentro del marco de diversas situaciones políticas y por el hundimiento de dos barcos mexicanos por parte de Alemania, México declaró la guerra al eje Berlín-Roma-Tokio (Alemania, Italia y Japón). Situación que derivó en el decreto de la congelación de rentas de viviendas y de manera simultánea se dio la creación del Comité Intersecretarial de la Habitación para los trabajadores.

En 1943 por decreto del entonces presidente General Manuel Ávila Camacho se creó el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), años después esta institución de la mano del Arquitecto Mario Pani construyó diversas unidades habitacionales para sus trabajadores (Imagen 4 Imagen 4).

Imagen 4. Unidad Habitacional Santa Fe del IMSS, fuente <http://mediateca.inah.gob.mx/>.

En 1949 se construyó el Centro Urbano Miguel Alemán, también a cargo del Arquitecto Mario Pani, esto detonó la construcción de otros conjuntos multifamiliares, tales como el Conjunto Habitacional Tlatelolco y el Multifamiliar Presidente Juárez.

En 1954, surgió la primera Ley Condominal, dicha ley incide sobre el régimen de propiedad en condominio de los departamentos, edificios divididos en pisos, conjunto de viviendas horizontales. También surgió el Instituto Nacional de la Vivienda (INVI), cuya principal misión fue “*atender las necesidades habitacionales de los estratos sociales económicamente pobres*”.

En 1963 se constituyó el Banco de México y el Fondo de Operación y Financiamiento Bancario a la Vivienda (FOVI) siendo esta la primera instancia en promover la construcción y mejora de la vivienda de interés social otorgando créditos por medio de la banca privada.

1972 fue un año trascendental ya que por medio de una reforma constitucional se obligó a los patrones a participar con aportaciones económicas para constituir el Fondo Nacional de la Vivienda. Al mismo tiempo se estableció un crédito más accesible destinado a la adquisición de casa habitación, de alguna manera éste fue el origen del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT).

En 1973 se promovió un Fideicomiso de Interés Social para el Desarrollo de la Ciudad de México (FIDEURBE). Ese mismo año el Arquitecto Luis Orvañanos, fundó grupo GEO, según registros de este grupo inmobiliario más de 1.8 millones de personas en el país vive en una casa GEO.

En 1974 se estableció la Comisión para la Tenencia de la Tierra (CORETT). Al mismo tiempo por medio de un decreto se adicionó a la Ley del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores al Servicio del Estado (ISSSTE), el Fondo de la Vivienda del ISSSTE (FOVISSSTE).

En 1984, se modificó el artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, incluyendo como garantía el derecho a una vivienda digna y decorosa, surgiendo así la Ley Federal de Vivienda.

En septiembre de 1985, la Ciudad de México sufrió el terremoto más grande registrado en toda su historia. Dicho fenómeno registró 8.1 grados en la escala de Richter, con una duración cercana a los dos minutos. Parte del Conjunto Habitacional Tlatelolco (Imagen 5) y el Multifamiliar Juárez, colapsaron. Gran parte de la ciudad se vió afectada en muchos sectores, tanto de vivienda como de infraestructura, quedando algunos cuadrantes en ruinas y algunos otros en condiciones de demolición. A raíz de este fenómeno se replantearon algunos de los sistemas constructivos, la forma de construir y la necesidad de una supervisión más estricta, surgiendo así la figura de Director Responsable de Obra (DRO).

Imagen 5. 19 de septiembre de 1985, Edificio Nuevo León, en la plaza de Tlatelolco.

Fuente: www.elpais.com.

En ese momento la gran cantidad de personas damnificadas optaron por migrar a diferentes estados de la República Mexicana, lo que permitió el crecimiento y surgimiento de nuevas instancias desarrolladoras de vivienda en todo el país, diversificando las opciones para adquirir un crédito hipotecario por medio de alguna instancia gubernamental. En cuanto al entonces Distrito Federal, el presidente Miguel de la Madrid Hurtado, mandató expropiar más de 7,000 predios y el gabinete económico del Gobierno Federal implementó un presupuesto extraordinario de más de 200 millones de pesos para el programa de Renovación y Construcción de Vivienda Popular.

Entre 1988 y 1994, el presidente Carlos Salinas de Gortari (1988 - 1994) mandató diversas modificaciones en materia de vivienda y desarrollo urbano. Principalmente dió oportunidad a ejidatarios y comuneros de negociar sus terrenos en forma privada con agentes particulares o públicos. Esto permitió que los grupos desarrolladores pudieran adquirir terrenos a muy bajo costo y para construir desarrollos habitacionales alejados de las ciudades. Permitiendo así el crecimiento de la mancha urbana, que no necesariamente contaba con los servicios de infraestructura y comunicación necesarios, y por primera vez se comenzó a observar de manera significativa el fenómeno de

ciudades dormitorio, ya que los traslados trabajo-casa y viceversa pueden ser de varias horas.

En el año 2000, el presidente Vicente Fox Quezada, incrementó el promedio anual de financiamiento hasta 750,000 viviendas. Algunos programas gubernamentales de vivienda permitieron acceder a un segundo crédito hipotecario, siempre y cuando el primer crédito ya se hubiera finiquitado. Sin embargo, la expansión de la mancha urbana carente de planeación y supervisión provocó que el gobierno implementara de manera emergente programas como el Desarrollo Urbano Integral Sustentable (DUIS) para mejorar la planeación, supervisión y el control del crecimiento urbano.

En 2015 el INFONAVIT reportó que 200,000 viviendas fueron abandonadas por diversos problemas, entre los que destacan principalmente la falta de servicios como agua potable, recolección de basura, sistemas de transporte y falta de seguridad. Seguidos también de inundaciones y problemas estructurales debidos principalmente a que el tipo de cimentación no corresponde al tipo de suelo donde fueron construidos, provocando hundimientos y fracturas en muros y losas.

En 2016 se reconoció la Ley de Vivienda, lo que permitió favorecer a la población que no es sujeta de crédito y así recuperar el derecho a una vivienda digna. Se creó el programa “esta es tu casa” que a través del ahorro previo del beneficiario y un subsidio Federal permite adquirir vivienda nueva o usada (anteriormente los programas favorecían primordialmente la adquisición de vivienda nueva), mejorar o ampliar una vivienda ya existente. Y surge la opción de comprar un lote con servicios mínimos (agua, drenaje y luz) y promover la autoconstrucción dependiendo las necesidades de cada familia, el subsidio es otorgado por la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI).

Finalmente, en 2018 se vislumbró un problema particular a nivel nacional, el cual presenta cifras de conjuntos habitacionales abandonados en su totalidad y por otra parte el rezago que aún existe de personas que no cuentan con acceso a una vivienda. La CONAVI informó también que en algunos casos las viviendas construidas en los últimos años han reportado superficies de apenas 28 m².

En todo lo mencionado con anterioridad se pueden observar diversos esfuerzos por dignificar la denominada vivienda popular u obrera. Sin embargo, es importante

mentar que muchos de estos esfuerzos se dirigieron a implementar y favorecer el abastecimiento de agua potable, acceso a drenaje, servicio eléctrico y piso firme de concreto. No forzosamente se consideraba en un inicio contar con losas de concreto y con el tiempo la tipología fue evolucionando hasta lo que conocemos hoy en día como vivienda de interés social. La cual puede ser unifamiliar o multifamiliar, incluso pueden llegar a ser unidades habitacionales multifamiliares, pero en todo lo anterior no se observa ni considera en algún momento de su historia el confort térmico para el usuario. Sus principales enfoques están orientados a la cantidad de metros cuadrados, la actualización de sistemas constructivos y el acceso a servicios básicos.

1.2. Diferentes tipologías de vivienda

Mucho se habla sobre la situación de la vivienda en México, el artículo 4° Constitucional menciona lo siguiente: “toda familia tiene derecho a disfrutar de vivienda digna y decorosa. La ley establecerá los instrumentos y apoyos necesarios a fin de alcanzar tal objetivo” (Congreso Constituyente, 1917), sin embargo, no define que es digna y decorosa, ni tampoco establece cuales son los instrumentos y apoyos necesarios. De tal manera que los criterios de ejecución de obra quedan a la interpretación y lineamientos de los reglamentos de construcción. Los cuales mencionan las características mínimas de una vivienda habitable y de condiciones adecuadas para el desarrollo de las actividades cotidianas y de vivienda. En 2018 el subdirector de Vulnerabilidad Estructural del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) M. I. Joel Aragón Cárdenas, explicó que, de los 2400 municipios del país, solo 165 cuentan con un reglamento de construcción, de los cuales 74 no cuentan con Normas Técnicas Complementarias (Cárdenas, 2018). Si bien la constitución otorga un derecho a los mexicanos, no marca sanción alguna en caso de que este derecho no se cumpla, aunado a que cada municipio es libre, soberano y responsable de sus propias leyes, la situación de esta garantía se encuentra en una realidad lejana. Por otra parte, el Gobierno Federal ha implementado diversas instituciones y mecanismos de apoyo para la vivienda,

quizás los más representativos son; el INFONAVIT, también el FOVISSSTE, sin embargo, estas dos instituciones en la actualidad funcionan principalmente para la adquisición de vivienda ya construida en zonas urbanas o nuevos conjuntos habitacionales en la periferia de las ciudades. Además, aparece la figura de un intermediario inmobiliario, los fondos del trabajador se obtienen principalmente por deducciones a su salario, situación que magnifica la brecha con las personas que viven en zonas rurales y su actividad primordial es en el rubro agropecuario. Y no existe un patrón que les dé acceso a estos programas de vivienda, sin embargo, existe la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF) y esta figura si contempla a las zonas rurales, así como la construcción y mejoramiento de vivienda. Por otro lado, en la Ciudad de México existe también el INVI, al cual solo puede acceder la población residente de esta entidad, el cual se acota principalmente al sector de bajos recursos económicos, vulnerable y en situación de riesgo. Su función primordial es contribuir a la realización del derecho humano básico que significa la vivienda y permite que las personas que califican a este programa no forzosamente tengan un trabajo fijo. Y a pesar de todos los esfuerzos Federales y Estatales es difícil cubrir toda la demanda de vivienda digna en México.

Tomando en cuenta solo uno de los factores que no está tipificado en el concepto de la vivienda digna, el presente trabajo busca generar una opción para el mejoramiento del confort humano en el espacio habitable. Haciendo a un lado diversos servicios con los que debe contar una vivienda, como, abastecimiento de agua, drenaje, luz, gas, entre otros. La temperatura al interior es un tema de vital importancia, principalmente en la vivienda denominada como precaria. El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) determina la siguiente definición “*Una vivienda es precaria en pisos cuando estos son de tierra; precaria en techos, cuando son de material de desecho, de lámina de cartón, metálica o asbesto; y precaria en muros, cuando son elaborados de material de desecho, lámina de cartón, metálica o asbesto, barro o bajareque, carrizo, bambú, palma o madera.*” (CONEVAL, 2018). Sin embargo, dicha definición no forzosamente corresponde a una realidad absoluta, ya que algunos sistemas constructivos mencionados como el bajareque, por ejemplo, responde a diversos factores, entre ellos al tipo de clima y mantienen una relación directa con el

confort higrotérmico al interior del espacio. Un edificio comunitario en Guadalajara (Imagen 6), construido para el Instituto Mexicano para el Desarrollo Comunitario (IMDEC), posee muros de bajareque y una celosía de carrizo entretejido, todo esto utilizando materiales de la región. Por otra parte, depende del concepto de la edificación, para poder encasillar algunos sistemas constructivos como únicos de la vivienda precaria, por ejemplo, la madera y la palma, los cuales son materiales empleados en hoteles gran turismo del sureste de México, solo por acotarlo a una región particular del país.

Imagen 6. Edificio de alojamiento y reunión al Instituto Mexicano para el Desarrollo Comunitario (IMDEC). Desarrollado por los arquitectos del Colectivo bma en Barranca de Huentitán, Guadalajara, fuente: Colectivo bma / Francisco Martínez de Patio.workshop + Pedro Bravo de BA arquitectos.

Otro ejemplo es el Aeropuerto Internacional de Bahías de Huatulco (Imagen 7) que integra techos de madera y de palma, sin ser una edificación precaria. Dicho sistema permite generar una identidad particular al mismo tiempo que permite una ventilación adecuada para el tipo de clima de la región.

Imagen 7. Aeropuerto Internacional de Bahías de Huatulco.

Fuente: <https://aeropuertos.net>

Como se mencionó anteriormente, muchos hoteles exclusivos del sureste de México, tales como el hotel Dorado Maroma (Imagen 8) en la Riviera Maya cuentan con bungalós de madera y palma como atracción principal. Los cuales están catalogados como espacios de lujo por sus comodidades y exclusiva ubicación, combinando materiales y sistemas constructivos que se han utilizado desde hace siglos, sin considerar que sean edificaciones precarias.

Imagen 8. El Dorado Maroma, by Karisma.

Fuente: <https://www.eldoradosparesorts.com>

Otro material supuestamente enmarcado en el apartado de los precarios es la lámina de metal o asbesto, este último ha sido prohibido en muchos países por su supuesta relación con el cáncer. Sin embargo, existen muchos ejemplos de viviendas conceptuales que utilizan láminas de metal, aunque quizás no sea el mejor material con relación al confort térmico al interior. Los cuales implementan el uso de aislantes térmicos en el sistema constructivo, así como aire acondicionado o calefacción dependiendo de la época del año. Dichos sistemas constructivos, con los implementos antes mencionados, se emplean en países como Estados Unidos de Norteamérica, Alemania u Holanda por mencionar algunos (Imagen 9).

Imagen 9. (Izq.) Casa Bru 1.25, por SoHo Architektur; Baviera, Alemania. (Centro) remodelación de apartamento, por Im y David Schafer; San Diego, California, Estados Unidos. (Der.) Studio R-1, por architecten|en|en; Eindhoven, Holanda.

Por todo lo anterior, es difícil decir que un material defina la precariedad de una vivienda o un edificio. Seguramente la definición generada por la CONEVAL se refiere más bien a la temporalidad o bajo costo de un sistema constructivo, o a la deficiente ejecución de este, la falta de asesoría, o quizás a la reutilización de algunos materiales que otras personas desechan y son empleados en las condiciones en que se encuentran, que podrían no ser las mejores. Todo esto genera un tipo de vivienda (Imagen 10) que contrasta con todos los ejemplos anteriores, regularmente este tipo de construcciones se encuentran en asentamientos que son irregulares y carecen de cualquier supervisión, reglamentación o normatividad al momento de su edificación. Es importante mencionar que no es precisamente éste el tipo de vivienda que se pretende mejorar con el sistema de paneles propuestos en este trabajo. De esta manera se pueden enumerar diferentes

ejemplos donde el uso de los materiales y sistemas constructivos por sí mismos, no definen la calidad del espacio.

Imagen 10. La Cuesta en Ecatepec. Foto: Mauricio Castillo/VICE News.

Para muchos teóricos e investigadores la concepción de la ciudad corresponde a un ente el cual se transforma crece y se contrae de manera aleatoria, esto debido a diferentes fenómenos económicos y de migración. Sin embargo, también existen los fenómenos naturales, tales como sismos, inundaciones, deslaves, etc. En particular, la Ciudad de México ha sufrido a lo largo de su historia diferentes episodios relacionados a los sismos, situación que ha permitido que surjan figuras como el DRO, normas técnicas complementarias, e incluso sistemas constructivos denominados antisísmicos. A raíz del sismo del 19 de septiembre del 2017, en su momento el entonces jefe de Gobierno, Miguel Ángel Mancera, inició un programa para la construcción de vivienda antisísmica, donde participaron diferentes instituciones de educación superior tales como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Anáhuac, el Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Este programa fue la principal herramienta de reacción de las autoridades capitalinas con la finalidad de proveer con una vivienda a los damnificados de algunas delegaciones (ahora Alcaldías) de la Ciudad de México.

A pesar de lo anterior, no todas las viviendas reconstruidas por este tipo de fenómenos se construyen bajo el sistema antisísmico, un ejemplo de ello es la periferia de la Ciudad de México, donde muchas de las viviendas se construyeron principalmente con el sistema de block hueco y techumbre de lámina o asbesto (Imagen 11). Esta tipología no es propia de una respuesta a fenómenos naturales, en gran parte corresponde a la autoconstrucción y principalmente al acceso a los materiales de bajo costo y a la relativa rapidez que ofrece este sistema constructivo. Que, si bien provee un espacio habitable con parámetros de dignificación y seguridad, no corresponde forzosamente a buenas u óptimas condiciones de confort para el usuario. De tal manera que en una primera instancia se puede recurrir a esta tipología de vivienda para posteriormente mejorarla con los paneles propuestos en esta tesis. Cambiando no solo la apariencia de la fachada y techumbre, sino que también se aportara de manera significativa una mejora al confort térmico de la vivienda.

Imagen 11. Las familias se ubican en San Lucas Colucán; la reconstrucción de las casas duró poco más de dos meses. Foto Karen Rodríguez. Fuente: (Rodríguez, 2017).

Algunos otros procesos de reconstrucción en la Ciudad de México si contaron con losa maciza (Imagen 12), sin embargo, es difícil pensar en procesos de aislamiento

térmico o mejoramiento de la vivienda cuando el principio básico de tener un lugar donde habitar se ve afectado por un fenómeno natural, como lo fue el sismo del 19 de septiembre de 2017. Cuando se observa la simpleza de las viviendas otorgadas, donde la prioridad era que las familias afectadas recuperaran un espacio donde habitar y con ello parte de su patrimonio. Analizando lo anterior es poco probable plantear en un futuro inmediato el mejoramiento de la vivienda, y de forma propositiva parte de la intención de esta tesis es generar un dispositivo de aislamiento térmico de bajo costo y que permita obtener beneficios al usuario final.

Imagen 12. El Jefe de Gobierno de la Ciudad de México, Miguel Ángel Mancera, dio a conocer las viviendas que se han otorgado gracias al programa de reconstrucción tras el sismo del 19 de septiembre de 2017. Foto: José Luis Villa. Fuente: (Castañón, 2018).

Por otra parte, en las últimas décadas los programas de vivienda han favorecido la construcción de la denominada “vivienda de interés social” que en muchos casos representa la construcción en serie de unos pocos prototipos de edificación y se puede definir como el tipo de casa-habitación hecha para aquellas personas que devengan menos de cuatro salarios mínimos mensuales legales vigentes, o que están en situación vulnerable. La tipología de estas construcciones se justifica en el hecho de garantizar el derecho a una vivienda digna y decorosa (Legislativo, 1917).

CAPITULO

2

2. Aislantes Térmicos

2.1. ¿Qué son los aislantes térmicos?

Antes de generar una definición de que es un aislante térmico, es importante entender que todos los materiales ejercen una resistencia natural al paso del calor, de tal manera que cualquier elemento puede ser tomado como aislante térmico, sin embargo, dicha resistencia cambia en todos los materiales debido a su composición. Los factores que intervienen en la resistencia térmica son la densidad, conductividad y calor específico. Muchos materiales se obtienen de combinar diversos elementos o sustancias, por ejemplo, el concreto es la suma de agua, arena, grava y cemento, y en su conjunto la resistencia térmica final es diferente a la resistencia térmica de cada uno de esos elementos por separado. Entonces, si todos los elementos tienen características de aislantes térmicos ¿Cómo podemos decidir cuáles son los que en el campo de la construcción se consideran aislantes térmicos? La respuesta es simple y el término más adecuado sería **aislante térmico específico**, para poder considerarlo como tal, el material debe poseer una conductividad térmica (λ), $\lambda < 0.08 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ (Chapman, 1990). Su fórmula es:

$$\lambda = \frac{q}{\nabla T}$$

Donde:

- λ , es conductividad térmica
- q , es el flujo de calor (por unidad de tiempo y unidad de área).
- ∇T , es el gradiente de temperatura.

En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ (equivalente a $\text{J}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{K})$ y en unidades básicas a $(\text{Kg}\cdot\text{m}) / (\text{K}\cdot\text{s}^3)$).

El símbolo de la conductividad térmica es la letra griega λ (k en Estados Unidos).

En condiciones de laboratorio, se dice que todo sistema tiende al equilibrio térmico, donde un elemento cederá calor en forma de energía cinética al otro elemento hasta que la cantidad de energía sea igual en ambos materiales. Es en este punto donde se puede implementar un tercer elemento que actúe como barrera al paso del calor entre los dos elementos a equilibrar, al final el equilibrio se podrá concretar como lo plantean las leyes de la física y termodinámica. Sin embargo, se pueden controlar los factores de tiempo y cantidad de calor que el tercer elemento permitirá pasar debido a su coeficiente de conductividad térmica (λ).

Se puede entender por λ a la propiedad física de los materiales que determina la capacidad de conducción de calor, en otras palabras, es la capacidad de un material de conducir calor a partir de la energía cinética de sus átomos o moléculas a los átomos o moléculas de otro material con el que tenga un contacto directo. Por el lado contrario, si la λ es la capacidad de transmitir calor, se debe entender como una propiedad intensiva cuya magnitud inversa ($1/\lambda$) es la resistencia o resistividad térmica, que es entonces la capacidad de los materiales de resistir el paso del calor.

Por su parte los gases también tienen un valor importante cuando se habla de aislantes térmicos, el vacío se puede considerar como uno de los mejores, ya que solo permite que el calor se transmita por radiación. Algunos sistemas de doble acristalamiento utilizan el vacío como sistema aislante, sin embargo, su costo es elevado y la garantía es limitada.

La baja conductividad térmica del aire con baja humedad impide el paso del calor por conducción y debido a su bajo coeficiente de absorción limita la radiación del calor, lo que lo hace una opción más viable en relación costo beneficio.

El aire transmite el calor por convección, esto hace que disminuya su capacidad de aislamiento, a pesar de esto los materiales porosos tienen un buen desempeño en el campo del aislamiento ya que el aire seco e inerte queda atrapado en las pequeñas celdas o poros del material y su comportamiento resulta bastante eficiente. Este principio es utilizado en algunos productos espumantes que combinan diferentes gases los cuales quedan atrapados en las burbujas de la espuma consiguiendo así el efecto aislante de dichos gases.

Analizado todo lo anterior es posible definir que un elemento aislante para la construcción es **“aquel material capaz de reducir el paso de la energía calorífica del exterior al interior o viceversa, de un espacio habitable, así como en espacios interiores adyacentes”**. Es importante mencionar que en la construcción en ocasiones lo que se busca es evitar que haya ganancias de calor al interior de un espacio, pero también se puede buscar que el calor generado al interior no se disipe hacia el exterior. Teniendo así la capacidad de evitar ganancias y evitar pérdidas de calor, situación que debe ser revisada con cuidado al momento de proyectar.

2.2. Antecedentes del uso de aislantes en México

El principal uso de los aislantes térmicos en México se realiza a nivel industria, principalmente en hornos y tuberías de vapor, donde el calor es utilizado en diferentes procesos de producción y fácilmente se puede perder en las tuberías metálicas o de cualquier otro material. Algunos procesos relacionados a la construcción y que requieren altas temperaturas son la elaboración del cemento y el aluminio, por mencionar algunos, estos procesos serían más costosos si no se contara con condiciones aislantes y por ende el producto final incrementaría su precio al usuario. Pero también se utilizan aislantes en procesos que requieren temperaturas por debajo de los cero grados Celsius, algunos de ellos son los tanques criogénicos de almacenamiento. Otros elementos menos críticos pero que también deben contar con aislamientos adecuados son las tuberías de agua helada, sistemas de refrigeración y congelación, de tal manera que en ambos casos el proceso de aislamiento es fundamental.

Para el caso de la construcción de vivienda actual, en la Zona Metropolitana del Valle de México son pocos los casos en los que se emplea el aislamiento térmico, en ocasiones tienden más hacia el aislamiento acústico, el cual también es característico de los materiales termoaislantes. Es importante mencionar que en México se cuenta con una arquitectura vernácula tradicional altamente eficiente en cuestiones de aislamiento térmico. Sin embargo, algunos de esos sistemas constructivos cada vez se emplean

menos en las ciudades y muchos programas de vivienda sustituyen a la arquitectura tradicional, por los nuevos sistemas constructivos.

2.2.1. Materiales actuales para el aislamiento térmico en construcción.

En el mercado globalizado existen diferentes materiales destinados para el aislamiento térmico y no en todos los países están permitidos debido a sus leyes de protección del medio ambiente y de la salud. En México podemos encontrar materiales de las siguientes características:

- Materiales fibrosos o celulares de origen vegetal, tales como el corcho, el algodón, el cáñamo, el coco, la madera y la corteza de árbol, algunos de ellos son cada vez menos comunes pues el proceso de industrialización es caro y presentan menos características térmicas que los materiales minerales. Por otra parte, la PROFEPA⁶ ha implementado acciones y mandatos de protección y regulación ambiental, para combatir la tala inmoderada y clandestina.
- Materiales fibrosos o celulares de origen mineral, tales como la fibra de vidrio, lana mineral, perlita y asbesto, el cual ya está prohibido⁷ en muchos países incluido México, por tal motivo no se describirá en este documento (Información Parlamentaria, Gaceta del Senado, 2010).
- Plásticos orgánicos celulares, algunos de ellos se pueden combinar con gases que mejoran su desempeño aislante, los más comunes son el poliuretano y el poliestireno. Este último ha generado gran debate con respecto a su disposición final y al daño que provoca al medio ambiente, así como a la salud del ser humano. En algunas ciudades del mundo es un producto que ha sido prohibido, sin comprobarse aún los

⁶ La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente Contribuye de manera efectiva en la reducción de la tasa de pérdida promedio anual en bosques y selvas de México, la cual en el periodo 1990 a 2015 registró una disminución del 51 por ciento.

⁷ Se le denomina asbesto a un grupo de minerales del tipo silicato que son separados en fibras. Durante muchos años, el asbesto fue considerado uno de los mejores aislantes descubiertos por el hombre. Sus particularidades lo hacen resistente al calor, la tracción y a algunas sustancias químicas. Sin embargo, se observó que aquellos trabajadores que lo habían utilizado en sus labores diarias comenzaron progresivamente a enfermarse de las vías respiratorias. Su respiración se dificultó, algunos presentaron cáncer y otros murieron.

argumentos de su prohibición. Su proceso de fabricación particular se lleva a cabo al mezclar pequeñas partículas de poliestireno con diferentes productos químicos, lo que permite que estas partículas aumenten su tamaño hasta 50 veces del volumen inicial.

- Finalmente se consideran también los elementos que reducen el flujo conductivo de calor, entre los que destacan los que contienen aire seco o diferentes gases nobles como el argón y algunos otros son sellados al alto vacío, así como los aditivos metálicos sobre los cristales, generando el efecto espejo. Por otra parte, el polarizado u oscurecimiento de cristales también controlado con aditivos metálicos. Y por último, las micas, que evitan de manera selectiva el paso de la radiación solar, los rayos U.V. o simplemente limitan la cantidad de rayos solares al interior por medio de perforaciones o patrones regulares y en algunos casos la desviación de los rayos por medio de surcos con diferentes inclinaciones.

2.2.2. Fibra de vidrio

Se llama fibra de vidrio al resultado de la fusión de arenas con alto contenido de sílice y dependiendo de su industrialización se puede encontrar en dos presentaciones comerciales:

- a) Mezclada con aceite mineral que evita la abrasión entre las fibras logrando un acabado flexible fabricado en diferentes espesores en forma de colchoneta. Su densidad comercial es de 48 kg/m^3 tiene baja conductividad térmica, presenta un buen comportamiento a la deformación y compresión, resiste temperaturas promedio de hasta 454°C , por lo que es frecuentemente utilizada en calentadores y hornos, también se utiliza como aislante acústico.
- b) Mezclada con aglutinantes orgánicos, dependiendo de la dureza que se quiera alcanzar, su presentación es en placas rígidas y semirrígidas, puede

tener densidades que oscilan desde 16 hasta 96 kg/m³. Posee una baja resistencia a la deformación y compresión, resiste temperaturas promedio de hasta 454 °C, se debe proteger de la intemperie y esfuerzos mecánicos.

Las características termofísicas de la fibra de vidrio empleada en la construcción se pueden observar en la Tabla 1.

Material	Densidad	K = Conductividad		Ce = Calor específico	Cv = Calor específico volumétrico		Resistividad
	Kg/m ³	W / m°C	Kcal / mhr°C	J / Kg°C	Kj / m ³ °C	Kcal / m ³ °C	m°C / W
Fibra de vidrio	48,00	0.042	0,03	650	65,00	15,52	25,00

Tabla 1. Características termofísicas de la fibra de vidrio. Fuente: Fernando Tudela y Uralita DB®.

2.2.3. Lana mineral

Material aislante muy parecido en su conformación a la fibra de vidrio, elaborado a partir del estado de fusión de roca basáltica con contenido de aluminio y silicato. Comercialmente se encuentra en dos presentaciones las cuales son:

- a) Mezclado con aceite mineral, que evita la abrasión de sus fibras para generar una colchoneta resistente a la compresión y los impactos, con un alto valor de resiliencia y una baja conductividad. Tiene también un buen comportamiento como aislante acústico, sin embargo, se debe proteger de la intemperie, su densidad es de 96 hasta 144 kg/m³, resiste temperaturas de hasta 650 °C.
- b) Combinada con aglutinantes orgánicos, se pueden lograr placas semirrígidas y rígidas fáciles de cortar, tiene una mala resistencia a la compresión y también a los impactos leves y moderados. Se debe

proteger de la intemperie y esfuerzo mecánico, su densidad es de 120 kg/m³, resiste temperaturas de hasta 982 °C.

Las características termofísicas de la lana mineral empleada en la construcción se pueden observar en la Tabla 2.

Material	Densidad	K = Conductividad		Ce = Calor específico	Cv = Calor específico volumétrico		Resistividad
	Kg/m ³	W / m°C	Kcal / mhr°C	J / Kg°C	Kj / m ³ °C	Kcal / m ³ °C	m°C / W
Lana mineral	140,00	0.04	0.03	750	105,00	25,08	28.57

Tabla 2. Características termofísicas de la lana mineral. Fuente: Fernando Tudela y Uralita DB®.

2.2.4. Espuma de poliestireno

Se produce por medio de una reacción química que expande pequeñas partículas de poliestireno aumentando su tamaño produciendo celdas cerradas, que a su vez atrapan el aire generando pequeñas cápsulas. A pesar de ser un producto combustible se le puede dar un tratamiento para hacerlo no inflamable, de cualquier manera, su exposición al fuego lo deformará, sin posibilidad de que recupere su forma original. Químicamente no contiene clorofluorocarbonos, soporta de manera regular la intemperie, así como los rayos U.V., que generalmente cristalizan los polímeros y posee características impermeables. Aunque requiere barrera de vapor y es mejor protegerlo de la intemperie, se puede fabricar de baja y alta densidad, aunque la más comercial para la construcción es de 32 kg/m³. Es un material muy ligero y su temperatura máxima de aplicación es de 80 °C.

Las características termofísicas de la espuma de poliestireno empleada en la construcción se pueden observar en la Tabla 3.

Material	Densidad	K = Conductividad		Ce = Calor específico	Cv = Calor específico volumétrico		Resistividad
	Kg/m ³	W / m°C	Kcal / mhr°C	J / Kg°C	Kj / m ³ °C	Kcal / m ³ °C	m°C / W
Espuma de Poliestireno	30,00	0.03	0.03	1.700	51,00	12,18	21.74

Tabla 3. Características termofísicas de la espuma de poliestireno. Fuente: Fernando Tudela y Uralita DB®.

2.2.5. Espuma de poliuretano

Es el resultado de la reacción química de polímeros plásticos que generan un material irregular de celda cerrada y superficie muy lisa, con una gran adherencia a cualquier tipo de superficie, normalmente es inyectado y espumado en sitio. Químicamente contiene clorofluorocarbonos, no soporta mucho la exposición a la intemperie, principalmente los rayos U.V., posee características impermeables, se puede fabricar en diferentes densidades, aunque la más comercial para la construcción es de 32 kg/m³. Es un material muy ligero y su temperatura máxima de aplicación es de 110 °C y su formulación varía dependiendo el proveedor, además tiene muy baja resistencia a los impactos y a la compresión.

Las características termofísicas de la espuma de poliestireno empleada en la construcción se pueden observar en la Tabla 4.

Material	Densidad	K = Conductividad		Ce = Calor específico	Cv = Calor específico volumétrico		Resistividad
	Kg/m ³	W / m°C	Kcal / mhr°C	J / Kg°C	Kj / m ³ °C	Kcal / m ³ °C	m°C / W
Espuma de poliuretano	35,00	0.028	0,02	1.590	55,65	13,29	38,46

Tabla 4. Características termofísicas de la espuma de poliuretano. Fuente: Fernando Tudela.

2.2.6. Perlita expandida

Formada por un silicato complejo, es un mineral muy utilizado para el aislamiento térmico. Al exponerse a altas temperaturas, la humedad contenida en su interior genera una explosión, este proceso es muy parecido al de una palomita de maíz, es en esta explosión donde en su interior se forman cavidades que atrapan aire. Sin olvidar que se trata de un mineral, este proceso vitrifica el silicato generando así pequeñas virutas las cuales se combinan principalmente con fibras inorgánicas para conformar las placas aislantes. Una particularidad es la facilidad con la que se pueden hacer segmentos curvos, su temperatura máxima es de 650 °C, a pesar de ser impermeable se debe evitar su exposición a la intemperie, regularmente se protege con un enchapado de aluminio muy fino.

Las características termofísicas de la espuma de poliestireno empleada en la construcción se pueden observar en la Tabla 5.

Material	Densidad	K = Conductividad		Ce = Calor específico	Cv = Calor específico volumétrico		Resistividad
	Kg/m ³	W / m°C	Kcal / mhr°C	J / Kg°C	Kj / m ³ °C	Kcal / m ³ °C	m°C / W
Perlita expandida	130,00	0,045	0,04	835	108,55	25,93	22,22

Tabla 5. Características termofísicas de la perlita expandida. Fuente: Rosales, Monroy.

2.2.7. Comparativa de materiales aislantes

En la Tabla 6, se hace una comparativa de las características termofísicas de los materiales antes descritos, con la finalidad de observar las diferencias entre ellos.

Material	Densidad	K = Conductividad		Ce = Calor específico	Cv = Calor específico volumétrico		Resistividad
	kg/m ³	W / m°C	kcal / mhr°C	J / kg°C	kJ / m ³ °C	kcal / m ³ °C	m°C / W
Fibra de vidrio	48,00	0.042	0,03	650	65,00	15,52	25,00
Lana mineral	140,00	0.040	0.03	750	105,00	25,08	28.57
Espuma de poliestireno	30,00	0.030	0.03	1.700	51,00	12,18	21.74
Espuma de poliuretano	35,00	0.028	0,02	1.590	55,65	13,29	38,46
Perlita expandida	130,00	0,045	0,04	835	108,55	25,93	22,22

Tabla 6. Tabla comparativa de materiales aislantes, elaboración propia.

Haciendo un análisis de la tabla anterior, se puede concluir que la espuma de poliuretano es la que presenta un mejor comportamiento en lo que respecta a la conductividad y resistividad, además de ser la segunda mejor en cuestión de densidad. Es importante mencionar que esta última característica se puede controlar dependiendo el nivel de aislamiento que se requiera.

2.2.8. Factor energético

Hoy en día es difícil no hablar de eficiencia o ahorros energéticos en las viviendas, así como también es casi imposible separar el tema de climatización de los espacios para lograr un confort térmico, ya sea por métodos pasivos o mecánicos. Los cuales pueden ser desde un ventilador hasta un sofisticado sistema de aire acondicionado. Si bien no es el tema central de esta investigación, es importante contextualizar la relación que guarda el confort higrotérmico y el factor de consumo energético y la manera en que se identifica. A pesar de los actuales programas de simulación numérica, es muy complicado realizar un caso de estudio estandarizado, ya que las actividades diarias siempre presentaran variables difíciles de contemplar y controlar. Por lo que la mayoría de las investigaciones se plantean en espacios no habitados o con calendarios de actividades promedio.

Cuantificar el porcentaje de carga térmica de una vivienda relacionada con la radiación solar directa, o por el contrario, el porcentaje de carga térmica generado por las actividades físicas de los habitantes, es algo muy complejo. El uso equipos electrodomésticos, la ganancia térmica generada en la cocina, por mencionar algunas, son actividades que no siempre se realizan de manera regular.

Sin embargo, una manera de cuantificar la eficiencia y el consumo energético se lleva a cabo por medio del balance nacional de energía 2019 Tabla 7. Consumo nacional de energía (Petajoules). Fuente: Sistema de Información Energética, SENER. (SENER, 2019) y también por medio de encuestas. El INEGI⁸ junto con la SENER⁹ y la CONUEE¹⁰, en un trabajo sin precedentes en México, presentaron en noviembre del 2018 los resultados de **“PRIMERA ENCUESTA NACIONAL SOBRE CONSUMO DE ENERGÉTICOS EN VIVIENDAS PARTICULARES (ENCEVI)”**. La cual permite identificar de manera particular los patrones de consumo energético de las viviendas a nivel nacional y divididos por región climática, según la clasificación del INEGI¹¹ (Imagen 13).

	2018	2019	Variación porcentual (%) 2019/2018	Estructura porcentual (%) 2019
Consumo nacional	9,236.86	8,811.06	-4.61	100.00
Consumo sector energético	3,173.87	3,287.55	3.58	37.31
Consumo transformación	1,786.75	1,942.60	8.72	22.05
Consumo propio	1,182.85	1,146.58	-3.07	13.01
Pérdidas por distribución	204.27	198.38	-2.88	2.25
Consumo final total	5,393.45	4,851.57	-10.05	55.06
Consumo no energético	109.74	90.59	-17.45	1.03
Consumo energético	5,283.70	4,760.98	-9.89	54.03
Recirculaciones y Diferencia estadística	669.54	671.93	0.36	7.63

Tabla 7. Consumo nacional de energía (Petajoules). Fuente: Sistema de Información Energética, SENER.

⁸ Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

⁹ Secretaría de Energía.

¹⁰ Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

¹¹ los mapas de la encuesta nacional sobre consumo de energéticos en viviendas particulares (ENCEVI), no reflejan la realidad con respecto a la diversidad de tipos de clima que posee la República Mexicana.

Imagen 13. Distribución de zonas bioclimáticas. Fuente ENCEVI.

Un dato que resalta de manera inmediata es que el 99% de las viviendas habitadas cuentan con energía eléctrica, pero solo el 0.25% implementa la energía solar, ya sea de manera directa, híbrida o bidireccional.

Otro factor para considerar en esta encuesta es que en el territorio nacional se consideran diferentes husos horarios, lo cual tiene una incidencia indirecta en los tiempos y las maneras de consumo energético a lo largo del año. Según el CENAM,¹² México contempla cuatro husos horarios (Imagen 14), denominados oficialmente tiempo del sureste, tiempo del centro, tiempo del pacífico y tiempo del noroeste.

¹² Centro Nacional de Metrología

Imagen 14. Husos horarios establecidos para el país. Fuente CENAM.

La región cálida extrema es la que presenta un mayor porcentaje de vivienda que cuenta con algún tipo de aislamiento térmico (Imagen 15). Así mismo, en el país se puede observar que un porcentaje muy bajo de la muestra es el que cuenta con esta estrategia, lo que plantea una gran oportunidad de implementación con los correctos apoyos y estímulos fiscales.

Imagen 15. Aislamiento térmico en vivienda por regiones climáticas. Fuente INEGI.

CAPITULO

3

3. Antecedentes

La motivación de emplear las botellas de PET se basa en la tesis titulada, “análisis y evaluación de las características termofísicas de un sistema constructivo desarrollado con botellas reutilizadas de PET y su análisis comparativo con otros sistemas constructivos”. De tal manera que esta tesis, retoma el elemento de botellas desechadas de PET con la finalidad de dar un reusó aplicado a elementos de construcción. En este caso al combinar el PET con otros materiales, es que se propone el diseño de paneles aislantes para muros, siendo los otros elementos la espuma de poliuretano y acabado aparente en una de sus caras.

La tesis de maestría antes mencionada, en su capítulo 3, aborda la situación actual del PET generado y desechado como basura en la Ciudad de México, situación que enmarca una problemática al momento de hablar sobre cuanto PET se desecha en nuestro país y a las escasas publicaciones sobre el tema de la basura o desechos. Las cuales, son estimaciones que se realizan con muestreos aleatorios principalmente de la recolección domiciliaria, de los volúmenes que ingresan a los centros de transferencia o depósitos finales de basura después de pesarla (SINR,¹³ 2005).

Si bien es sabido que el PET es un elemento que comúnmente es reciclado (Imagen 16), cabe mencionar que debe cumplir con ciertas características para este proceso. Principalmente, el color es un factor que determina el valor y la consideración para el reciclaje, ya que las botellas de colores verde y naranja no son consideradas en muchos casos para este proceso. De manera notable se puede mencionar que en México prácticamente no hay demanda de materiales reciclados, de tal manera que es un producto de exportación a países como China y Japón.

Es en este punto donde se propone la reutilización del PET, la cual a diferencia del reciclaje de este elemento no hace distinción el color, situación que puede representar una nueva disposición final para las botellas que son poco consideradas, o en algunos casos desechadas nuevamente en el proceso de reciclaje.

¹³ Sitio del Instituto Nacional de Recicladores.

Imagen 16. Logotipo de Reciclaje de plástico PET, Polietilentereftalato.

3.1. ¿Qué es el PET?

Es un polímero resultante de la reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol, lo que lo clasifica en el grupo de materiales sintéticos llamados poliésteres. (IMPI, 2004), posee un alto grado de cristalinidad y su manera de procesamiento es mediante la extrusión, soplado de preforma, termoformado, inyección, entre otras.

Con relación a sus características de fortaleza/peso, representa menos residuos sólidos en comparación con el vidrio o el aluminio (plastividad, 2002), así como también implica menos energía y menos emisiones aéreas comparado con otros materiales de Packing.

3.2. Principales características físicas del PET

Como se mencionó anteriormente, el PET se puede procesar por soplado, inyección, extrusión y termoformado, tiene un alto grado de transparencia, lo cual permite que en el proceso de reciclado se puedan agregar cargas colorantes. Es compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad de dicha barrera en los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos. Su superficie es barnizable ya que tiene una baja absorción de humedad, lo que también permite que se pueda emplear en la fabricación de fibras, lo que lo hace el elemento número uno en este

campo del reciclaje, tiene muy buenas características eléctricas y dieléctricas, además de poseer brillo con efecto lupa.

Es un material muy liviano y altamente resistente a los esfuerzos mecánicos, si bien se puede deformar una vez procesado se considera que es un material con memoria ya que puede retomar su forma original. Tiene gran resistencia a la intemperie, desgaste y corrosión, además de tener una buena indeformabilidad al calor (Sánchez, Manero. 2008).

3.3. Principales características químicas del PET

Comúnmente se le llama PET al compuesto denominado polietilentereftalato o politereftalato de etileno su estructura molecular es la que se muestra en el Diagrama 1), donde “n” significa el número de unidades de monómero para dar el peso molecular final al polímero resultante.

Diagrama 1. Estructura del PET. Elaborado en Programa ChemDraw® v.19.

De manera general el PET se compone de carbono, hidrógeno, y oxígeno, no contiene halógenos tales como cloro o bromo, tampoco azufre o nitrógeno, en su mayoría no se implementan aditivos estabilizadores, plastificantes o antioxidantes.

Por su composición química, es considerado apto para ser empleado con grado alimenticio, no genera reacciones adversas al contener gases como el CO₂ y es esterilizable por rayos gamma u óxido de etileno.

3.4. Principales características termofísicas del PET

Su fórmula molecular es (C₁₀H₈O₄)_n, en su estado amorfo posee una densidad de 1.370 g/cm³ y una vez cristalizado su densidad cambia a 1.455 g/cm³. Una característica importante es su límite elástico, el cual va desde un 50 hasta un 150%, dependiendo del proceso de industrialización. Su punto de fusión es de 260° C y su temperatura de cristalización se presenta a partir de los 75 °C. Presenta una conductividad térmica (λ) de 0.24 W/(m·°C) y un calor específico (Ce) 1.0 kJ/ (kg·°C).

CAPITULO

4

4. Acotación territorial para el caso de estudio

El caso de estudio de esta tesis se plantea en el municipio de Nicolás Romero, Estado de México, en este capítulo se abordará el análisis del medio natural y los principales aspectos demográficos, con la finalidad de conocer las características de dicho municipio, así como su análisis climático.

4.1. Localización geográfica del municipio Nicolás Romero

La ubicación geográfica del municipio de Nicolás Romero corresponde a la región noroeste del Estado de México, se considera que la mayor extensión territorial se localiza entre los paralelos 19°33'50" y 19°42'16" de latitud Norte, los meridianos 99°15'53" y 99°32'00" de longitud Oeste.

Este municipio está conformado por 42 localidades. La cabecera municipal de ciudad Nicolás Romero, se encuentra a 58 kilómetros de distancia de la ciudad de Toluca, que es la capital del Estado de México. Al norte colinda con los municipios de Villa del Carbón y Tepotzotlán; la colindancia al sur corresponde con los municipios de Atizapán de Zaragoza e Isidro Fabela; al este colinda con el Municipio de Cuautitlán Izcalli; y al oeste su colindancia es con los municipios de Jiquipilco y Temoaya (Imagen 17). Con base en los resultados del Censo de Población y Vivienda en el 2020 (INEGI), tiene una población total de 430,601 habitantes, 209,774 son hombres y 166,328 son mujeres.

Imagen 17. Mapa de localización del municipio de Nicolás Romero. Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.

4.2. Relieve del municipio Nicolás Romero

El municipio tiene una altura mínima de 2,311 m.s.n.m. y una altura máxima de 3,450 m.s.n.m. (Imagen 18). se encuentra en el Eje Neovolcánico, el cual cruza en su totalidad la superficie del municipio. Así como en la Subprovincia de Lagos y volcanes de Anáhuac, cuenta con el Lomerío de tobas y Sierra de monte alto, de la cual se derivan algunos cerros tales como:

- El cerro del águila.
- El cerro del escorpión.

- La cabecera municipal se encuentra en la zona de lomeríos suaves, los cuales tienen pendientes que van desde los 2 hasta los 36°.

4.3. Edafología del municipio Nicolás Romero

El municipio de Nicolás Romero contiene diferentes tipos de suelo (Imagen 19), los cuales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Al oeste y en la zona media se presentan los Andosoles ócrico (To) y el húmico (Th), los cuales son propicios para el uso forestal.
- Al centro se presentan suelos de tipo Vertisol pélico (Vp) y el crómico (Vc), recomendables para la ganadería extensiva, y el litosol, recomendable para el uso urbano, finalmente se encuentran también suelos del tipo Luvisol crómico (Lc), recomendable para el uso forestal.
- En la parte oriente colindante con la Presa de Guadalupe se presenta un suelo de tipo Luvisol asociado a un Feozem y un Cambisol, recomendable para el uso forestal y la agricultura. Aunque cabe mencionar que es ahí donde encuentra la mayor parte de la mancha urbana del municipio.
- En la zona sureste ubica una zona de una asociación edáfica de un Vertisol asociado a un Cambisol y litosol.

Es importante resaltar que algunas limitantes edafológicas para el desarrollo urbano son los suelos expansivos como el Vertisol crómico y el pélico, los cuales se ubican principalmente en la cabecera municipal. Los suelos húmicos y andosoles órticos se presentan a 2,850 y hasta 3,450 m.s.n.m. presentan condiciones colapsables, por lo que no son aptos para los asentamientos humanos.

Imagen 19. Mapa edafológico del municipio de Nicolás Romero, Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.

4.4. Geología del municipio Nicolás Romero

Como ya se mencionó en el apartado de relieve, el municipio de Nicolás Romero se ubica en la provincia del eje Neovolcánico, condición que determina las características geológicas (Imagen 20), de tal manera que se pueden encontrar diferentes tipos de rocas las cuales se ubican de la siguiente manera:

- En la parte centro, norte y este se pueden encontrar rocas sedimentarias clásticas del periodo terciario.
- En la parte sureste se pueden encontrar rocas del tipo lutitas, areniscas y conglomerados.

- En la parte suroeste se encuentran rocas ígneas extrusivas, tobas, así como una brecha volcánica.

Por otra parte, la zona más baja, colindante con el municipio de Cuautitlán Izcalli se encuentra en los límites del valle Cuautitlán-Texcoco, donde se encuentran depósitos aluviales recientes. Un punto relevante en el municipio son las dos fallas, la primera se encuentra entre las zonas llamadas la Cañada y los Duraznos, mientras que la segunda se ubica en el ejido de Cahuacán, además de esto se han localizado 35 fracturas distribuidas en todo el territorio municipal.

Imagen 20. Mapa geológico del municipio de Nicolás Romero, Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.

4.5. Hidrología del municipio Nicolás Romero

El municipio se ubica inmerso en la región hidrológica 26, cuenca "D" (Imagen 21), que forma parte de la vertiente del Golfo de México, de la cuenca del Río Moctezuma, la cual está dividida en tres subcuencas:

- Ríos El Salto.
- Río Cuautitlán.
- Río Tepotzotlán.

En el rubro de los cuerpos de agua superficial, colinda con el Lago de Guadalupe y contiene dos presas que son:

- Presa la Colmena.
- Presa de Guadalupe.

En el municipio se encuentran tres arroyos tributarios al Lago, estos son:

- Arrollo San Pedro, Chiquito.
- Arrollo Grande.
- Arrollo Xinte.

Finalmente se pueden ubicar otros arroyos importantes que son:

- El Mogogo.
- Plan de Guadalupe.
- El Muerto.
- El Trigo.
- El Portezuelo.

Como dato adicional se puede mencionar que existen también en la parte oriente del municipio algunos pozos, de los que se extraen 585.47 Litros por segundo.

Imagen 21. Mapa hidrológico del municipio de Nicolás Romero. Fuente: Cartas topográficas de INEGI.

4.6. Vegetación del municipio Nicolás Romero

Con respecto a la flora la especie predominante son las coníferas (Imagen 22), estos bosques de gran extensión se encuentran en los poblados de:

- Cahuacán.
- San Juan de las Tablas.
- Transfiguración.

En estos bosques los árboles más comunes son:

- Encino.
- Oyamel.
- Pino.

En el municipio también se pueden encontrar en algunas épocas del año diferentes tipos de hongos silvestres, entre los que destacan los:

- Queximones.
- Semas.
- Patitas de pájaro.

Las hierbas más comunes y que se encuentran de manera silvestre en gran parte del territorio del municipio son:

- Santa maría.
- Siempreviva.
- Ruda.
- Verbena.
- Hierba del zopilote.
- Hierva de la golondrina.
- Juanilipillo.
- Hierva del tepetate.
- Árnica.

También se ha implementado la actividad de la fruticultura, de manera que se pueden encontrar algunas huertas familiares de árboles frutales. Los cuales se

comercializan de manera local ya que su producción aun no es de gran volumen, y los frutos más comunes son:

- Manzana.
- Durazno.
- Tejocote.
- Capulín.
- Chabacano.
- Pera.

Imagen 22. Mapa uso de suelo y vegetación del municipio de Nicolás Romero. Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.

4.7. Clima del municipio Nicolás Romero

El municipio se encuentra dentro de la clasificación climática catalogada como templado subhúmedo, sus temperaturas mínimas son 7° C, las temperaturas medias oscilan en los 16 °C y las temperaturas máximas alcanzan 30° C.

Las precipitaciones pluviales promedio anuales registran hasta los 1,136 mm, también se presentan heladas en las zonas más altas del municipio las cuales principian en octubre y terminan en abril aproximadamente.

En el Municipio de Nicolás Romero se pueden encontrar de manera predominante tres tipos de climas (Imagen 23) los cuales son:

- El subgrupo semifrío C(E), que se registra en altitudes mayores a 2,900 m.s.n.m.; con una temperatura promedio anual de 12 ° C, con una precipitación anual que oscila entre 1,100 y 1,200 mm. Este clima se presenta en la parte extremo poniente del municipio.
- Clima templado subhúmedo C(w2) se registra entre los 2,400 y 2,900 m.s.n.m., con una precipitación media anual que oscila entre 1,000 y 1,100 mm, este clima se presenta en la parte central del municipio, donde se localizan los poblados de Cahuacán, San José del Vidrio y parte de San Francisco Magú.
- Clima templado subhúmedo del subgrupo C(w1), presenta una precipitación pluvial entre 800 y 900 mm, la temporada de lluvias se presenta principalmente en el verano, mientras que el resto del año son escasas. La temperatura media anual es de 16 ° C, la temperatura mínima es de 5° C, y la máxima de 34 °C, este clima se presenta en el área urbana del municipio.

Imagen 23. Mapa climático del municipio de Nicolás Romero, Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.

4.8. Análisis climatológico de Nicolás Romero

El siguiente análisis se realizó a partir de la generación de archivos en formato .epw, .cvs y .wea, se emplearon herramientas de análisis como: Bioclimatic Analysis Tool (Fuentes, et al. 2014), Meteonorm 7.3®, Weather Manager®, Solar tools® y Climate Consultant®. Las bases de datos empleadas se obtuvieron de las normales climatológicas (periodo 1981-2010) estación 00015019 Colonia Vicente Guerrero (latitud N 19°35'44", longitud W 99° 21'17" y altitud 2,430 msnm) dependiente del Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA).

También se emplearon las páginas web que se enlistan a continuación:

- https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/export/nicol%C3%A1s-romero_m%C3%A9xico_3522732
- <http://andrewmarsh.com/software/>

4.9. Análisis de temperatura

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 2.3 a 30.4 °C y rara vez baja a menos de 1 °C. La Tabla 8 presenta el comportamiento de temperatura de 29 años (1981-2010) según los datos proporcionados por el SMN. En esta tabla se observa que la temperatura neutra oscila desde los 21.4 °C, en el mes de enero, hasta los 23.1 °C, en los meses de mayo y junio.

COORDENADAS

LATITUD: 19° 35' 44" N

LONGIT: 99° 21' 17" W

ALTITUD: 2430 msnm

PERIODO

1981-2010

CIUDAD

NICOLÁS ROMERO

CLIMA: Cbw2(w) (f)g (Templado Húmedo, poca oscilación, tipo ganges, no hay canícula)

BIOCLIMA: Semi-Frío

TEMPERATURAS MENSUALES

FUENTE		PARÁMETROS		UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL
						ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
a	TEMPERATURA	MAXIMA EXTREMA	°C	21		29,5	29,5	32,5	36,5	34,5	32,5	29,5	29,5	29,5	29,5	28,0	28,5	36,5
		FECHA	dd/aaaa	n/d		01/2003	22/1998	31/1998	27/1900	01/1998	01/1998	01/1997	13/2004	26/1999	01/2002	14/2008	01/2008	27/1900
a		PROMEDIO MÁXIMA	°C	21		23,1	25,3	27,4	29,4	30,4	27,8	25,0	24,7	24,1	24,0	23,6	23,0	25,7
a		MEDIA	°C	21		12,4	13,7	15,7	17,3	17,6	17,6	16,6	16,6	16,4	15,1	13,6	12,8	15,5
a		PROMEDIO MÍNIMA	°C	21		2,6	3,1	4,0	5,6	7,0	7,8	8,1	7,5	8,1	5,3	3,7	2,3	5,4
a		MINIMA EXTREMA	°C	21		-3,5	0,0	0,0	1,0	0,5	2,5	1,0	1,5	3,5	0,0	-2,0	-1,0	-3,5
		FECHA	dd/aaaa	n/d		17/2006	23/2009	01/2009	20/1983	20/2000	01/2006	25/1986	20/2001	21/1999	23/1999	20/2008	30/1983	17/2006
b	LÍMITE SUPERIOR DE LA ZC (ZCs)		°C			23,9	24,3	25,0	25,5	25,6	25,6	25,2	25,2	25,2	24,8	24,3	24,1	24,9
b	TEMPERATURA NEUTRA (Tn)		°C			21,4	21,8	22,5	23,0	23,1	23,1	22,7	22,7	22,7	22,3	21,8	21,6	22,4
b	LÍMITE INFERIOR DE LA ZC (ZCi)		°C			18,9	19,3	20,0	20,5	20,6	20,6	20,2	20,2	20,2	19,8	19,3	19,1	19,9
		DURACION PROMEDIO DEL DIA	h.m			11,00	11,29	12,00	12,33	12,60	13,11	13,02	12,36	12,00	11,30	11,01	10,49	12,00
		SALIDA DEL SOL (Orto)	h.m			6,30	6,16	6,00	5,43	5,30	5,24	5,29	5,42	6,00	6,15	6,29	6,36	6,00
		PUESTA DEL SOL (Ocaso)	h.m			17,30	17,44	18,00	18,17	18,30	18,36	18,31	18,18	18,00	17,45	17,21	17,24	18,00

Tabla 8. Datos mensuales de temperatura.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

En la Tabla 9 se observan los datos horarios del municipio de Nicolás Romero, en las últimas tres columnas se pueden observar los porcentajes de los índices mensuales de Sobre calentamiento, Confort y Bajo calentamiento.

Tabla 9. Datos horarios de temperatura.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

La Gráfica 1 muestra de manera tridimensional el comportamiento anual de temperatura en el municipio de Nicolás Romero, en el plano izquierdo se puede observar la línea que representa los valores horarios, de manera sombreada se representan los valores máximos y mínimos de temperatura. En el plano de la derecha se observa el comportamiento anual de temperaturas, la parte sombreada representa los valores máximos y mínimos de temperatura a lo largo del año.

Gráfica 1. Valores horarios y anuales de temperatura en el municipio Nicolás Romero.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

La Gráfica 2 muestra una representación cromática con diferentes escalas de color, las cuales están graduadas con respecto a la sensación térmica y mantienen una relación numérica directa con los valores de la Tabla 9. Esta gráfica representa la temperatura promedio por hora en los diferentes meses del año, en el sentido horizontal, y en sentido vertical las diferentes horas del día.

Gráfica 2. Representación cromática de temperaturas mensuales y horarias.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

Las normales climatológicas indican que el mes más cálido del año corresponde a mayo, donde se superan los 30 ° C precisamente en el día 20 de este mes. La Gráfica 3 permite observar que hay 12 horas que exceden los rangos de confort.

Gráfica 3. 20 de mayo, día más caluroso del año.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

Por otra parte, la Gráfica 4 corresponde al día más frío del año, según los datos climatológicos analizados, y en este caso se trata del 13 de enero, donde se registran 19 horas por debajo del rango de confort.

Gráfica 4. 13 de enero, día más frío del año.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

4.10. Análisis de humedad

Otro factor importante para revisar es la humedad relativa, ya que esta mantiene una relación directa con la sensación de confort y se relaciona con los parámetros de temperatura, la Tabla 10 muestra los datos de humedad, donde se delimitan para la zona de confort en particular. El límite inferior se encuentra en 30 y 70 % para el límite superior.

COORDENADAS

LATITUD: 19° 35' 44" N

LONGIT: 99° 21' 17" W

ALTITUD: 2430 msnm

PERIODO

1981-2010

CIUDAD

NICOLÁS ROMERO

CLIMA: Cbw2(w) (f)g (Templado Húmedo, poca oscilación, tipo ganges, no hay canícula)

BIOCLIMA: Semi-Frío

HUMEDAD RELATIVA

FUENTE	PARÁMETROS	UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
a	HUMEDAD RELATIVA MAXIMA	%	10	43,0	38,0	33,0	34,0	39,0	53,0	57,0	59,0	62,0	58,0	48,0	40,0	47,0
a	HUMEDAD RELATIVA MEDIA	%	10	34,0	30,5	26,5	28,0	33,5	48,0	50,5	51,0	56,0	49,0	41,0	33,5	40,1
a	HUMEDAD RELATIVA MINIMA	%	10	25,0	23,0	20,0	22,0	28,0	43,0	44,0	43,0	50,0	40,0	34,0	27,0	33,3
c	EVAPORACIÓN TOTAL	mm	20	131,0	153,0	230,0	209,0	205,0	163,0	151,0	146,0	131,0	137,0	129,0	122,0	1907,0
c	TEMP. DE BULBO HÚMEDO	°C	20	8,2	8,9	9,4	10,8	12,3	13,2	13,0	13,4	13,3	11,8	9,7	9,0	11,1
b	LÍMITE SUPERIOR DE LA ZC (ZCs)	%		70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
b	LÍMITE INFERIOR DE LA ZC (ZCi)	%		30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0

Rango que determina el *Límite Superior de la Zona de Confort* (ZCs) de la Humedad Relativa (HR)

70,0 %

Rango que determina el *Límite Inferior de la Zona de Confort* (ZCi) de la Humedad Relativa (HR)

30,0 %

Tabla 10. Datos mensuales de humedad relativa.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

La Gráfica 5 permite analizar los datos antes mencionados, observando que los primeros 5 meses la humedad se encuentra por debajo de la zona de confort, lo que genera la sensación de aire seco, los meses restantes se encuentran dentro de los límites de confort.

Gráfica 5. Datos de humedad relativa.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

La Gráfica 6 es la representación tridimensional del comportamiento anual de humedad relativa en el municipio de Nicolás Romero. En el plano izquierdo se puede observar la línea que representa los valores horarios, de manera sombreada se representan los valores máximos y mínimos de humedad relativa. En el plano de la derecha se observa el comportamiento anual, la parte sombreada representa los valores máximos y mínimos de humedad relativa a lo largo del año.

Gráfica 6. Valores horarios y anuales de humedad relativa.
Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

4.11. Precipitación y evaporación

Con respecto a los datos obtenidos de precipitación es importante mencionar que no se encontraron valores mínimos, por lo tanto, para definir el límite indicativo inferior se tomó como umbral 20 mm, ya que es el menor de los registros de los datos relacionados en un lapso de 24 horas y corresponde al mes de enero (Tabla 11).

FUENTE	PARÁMETROS	UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
a	TOTAL	mm	20	12,0	12,7	18,7	35,1	73,5	158,1	184,7	175,2	140,1	82,6	19,8	3,8	916,3
a	MAXIMA	mm	52	52,0	70,5	77,6	101,7	223,2	286,2	365,2	355,8	292,6	159,6	92,1	16,2	365,2
a	FECHA	aaaa	n/d	2006	2010	2002	2008	2007	2002	2005	2010	2010	2010	2003	2009	JUL-2005
a	MAXIMA EN 24 h	mm	10	22,3	41,7	37,8	27,2	67,4	66,2	62,5	46,5	49,2	63,2	36,5	10,2	67,4
a	FECHA	dd/aaaa	n/d	17/1981	19/1900	01/2009	20/2006	26/2010	01/2001	01/2007	24/2002	01/1984	01/2009	01/2002	01/1984	26/2010
a	MAXIMA EN 1 h	mm	10	4,7	12,0	4,9	18,5	11,7	23,8	32,3	21,3	42,2	18,2	8,8	10,5	42,2
a	FECHA	dd/aaaa	n/d	07/2002	05/2009	03/2003	17/2002	11/2005	22/2005	21/2002	13/2006	05/2007	04/2001	12/2003	19/2001	5-sep.-2007
a	MINIMA	mm	10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
a	FECHA	aaaa	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	
c	EVAPORACIÓN TOTAL	mm	20	131,0	153,0	230,0	209,0	205,0	163,0	151,0	146,0	131,0	137,0	129,0	122,0	1907,0
b	LÍMITE PLUVIAL SUPERIOR (LIs)	mm		150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0
b	LÍMITE PLUVIAL INFERIOR (Lli)	mm		20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0

Límite Indicativo Superior (LIs) que permite distinguir una precipitación intensa de una precipitación moderada **150,0** mm

Límite Indicativo Inferior (Lli) que permite distinguir una precipitación moderada de una precipitación escasa **20,0** mm

Tabla 11. Datos mensuales de precipitación.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

En la Gráfica 7 se puede definir el periodo de lluvias entre los meses de junio a septiembre, siendo los meses de noviembre a abril los que representan el periodo con el menor registro de precipitación. Por su parte los meses de febrero a junio son los que presentan el índice más alto de evaporación, superando el rango de confort.

Gráfica 7. Datos de precipitación y evaporación.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

La Gráfica 8, representa de manera tridimensional el comportamiento anual de las precipitaciones que se registran en el municipio de Nicolás Romero. En el plano del lado izquierdo se puede observar la línea que representa los valores horarios, de manera sombreada se representan los valores máximos y mínimos de precipitación registrada durante el día. En el plano de lado derecho se observa el comportamiento anual, la parte sombreada representa los valores máximos y mínimos de precipitación a lo largo del año, esta grafica permite observar que los horarios en que se presentan con mayor frecuencia las lluvias son aproximadamente a las 8:00 y a las 20:00 horas.

Gráfica 8. Valores de precipitación pluvial (mm).

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

4.12. Índice ombrotérmico

La Tabla 12 muestra los valores mensuales de temperatura media y precipitación total, que se consideran para la obtención del índice ombrotérmico del municipio de Nicolás Romero. Se puede observar también el índice de aridez y la relación de los meses considerados como secos y húmedos.

COORDENADAS

LATITUD: 19° 35' 44" N

LONGIT: 99° 21' 17" W

ALTITUD: 2430 msnm

PERIODO

1981-2010

CIUDAD

NICOLÁS ROMERO

CLIMA: 2(w) (r)g (Templado Húmedo, poca oscilación, tipo ganges, no hay canñ

BIOClima: Semi-Frío

ÍNDICE OMBROTÉRMICO

FUENTE	VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
a	TEMPERATURA MEDIA	°C	21	12,4	13,7	15,7	17,3	17,6	17,6	16,6	16,6	16,4	15,1	13,6	12,8	15,5
a	PRECIPITACIÓN TOTAL	mm	20	12,0	12,7	18,7	35,1	73,5	158,1	184,7	175,2	140,1	82,6	19,8	3,8	916,3
ÍNDICE OMBROTÉRMICO																
b	TEMPERATURA EQUIVALENTE	coef.		-8,0	-7,7	-4,7	3,6	22,8	65,1	78,4	73,6	56,1	27,3	-4,1	-12,1	24,2
b	ÍNDICE DE ARIDEZ	coef		-0,6	-0,6	-0,3	0,2	1,3	3,7	4,7	4,4	3,4	1,8	-0,3	-0,9	1,4
b	SECO / HUMEDO			S	S	S	S	H	H	H	H	H	H	S	S	H

Tabla 12. Datos mensuales para la definición del índice ombrotérmico.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

La Gráfica 9 evidencia la relación que existe entre el periodo lluvioso y las temperaturas medias, esto permite definir el índice ombrotérmico del municipio de Nicolás Romero.

Gráfica 9. Periodo lluvioso y valores de temperatura media.
Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

4.13. Análisis de radiación solar

En la Tabla 13 se registran los valores de radiación total, radiación directa y radiación difusa, también se observa que para el análisis de radiación total se considera un límite de intensidad de radiación de 700 W/m^2 , mientras que el límite para la radiación directa es de 500 W/m^2 . La Gráfica 10 muestra que prácticamente durante todo el año la radiación total y la radiación difusa son altas, con respecto a la radiación difusa se puede considerar que tiene un comportamiento uniforme.

Tabla 13. Valores mensuales de radiación total, directa y difusa.
Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

Gráfica 10. Datos de radiación solar total, directa y difusa.
Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

En la Gráfica 13 se puede observar el registro acumulado de los valores horarios por mes, correspondientes a la radiación total, directa y difusa, las cuales consideran la duración promedio del día. Entiéndase este, como el periodo comprendido desde la salida del sol hasta la puesta del sol y no como unidad de 24 horas.

COORDENADAS

LATITUD: 19° 35' 44" N

LONGIT: 99° 21' 17" W

ALTITUD: 2430 msnm

PERIODO

1981-2010

CIUDAD

NICOLÁS ROMERO

CLIMA: Cbw2(w) (f)g (Templado Húmedo, poca oscilación, tipo ganges, no hay canícula)

BIOCLIMA: Semi-Frío

RADIACIÓN SOLAR HORARIA

FUENTE	PARÁMETROS	UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL	
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
a	RADIACIÓN SOLAR TOTAL (Global)	W/m2	10	656,3	805,1	930,1	973,9	960,3	877,0	833,4	831,0	728,0	754,9	734,0	662,2	812,2	
e	RADIACIÓN SOLAR DIRECTA	W/m2	10	482,7	628,9	752,0	794,9	781,1	697,8	654,2	651,9	549,9	578,6	560,3	489,9	635,2	
e	RADIACIÓN SOLAR DIFUSA	W/m2	10	173,6	176,2	178,1	179,0	179,2	179,2	179,2	179,1	178,1	176,3	173,7	172,3	177,0	
DURACIÓN PROMEDIO DEL DÍA				h.m													
SALIDA DEL SOL (Orto)				h.m													
PUESTA DEL SOL (Ocaso)				h.m													
					11,00	11,29	12,00	12,33	12,60	13,11	13,02	12,36	12,00	11,30	11,01	10,49	12,00
					6,30	6,16	6,00	5,43	5,30	5,24	5,29	5,42	6,00	6,15	6,29	6,36	6,00
					17,30	17,44	18,00	18,17	18,30	18,36	18,31	18,18	18,00	17,45	17,31	17,24	18,00

Tabla 14. Valores horarios acumulados por mes de radiación total, directa y difusa, horas de exposición solar. Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

La Tabla 15 permite visualizar por medio de una escala de color los momentos del día y de manera mensual el acumulado de radiación total que se presenta en el municipio de Nicolás Romero.

Escala Cromática		
> 700	Radiación Alta	
500 700	Radiación Media	
0 500	Radiación Baja	
= 0	Radiación Nula	

MESES	RADIACION SOLAR TOTAL (RS _T) HORARIA																								Horas 120 W/m2	Radiación Total Diaria
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
ENE						129,6	285,7	433,0	552,3	629,6	656,3	629,6	552,3	433,0	285,7	129,6									11	4716,5
FEB						159,0	350,4	531,2	677,5	772,3	805,1	772,3	677,5	531,2	350,4	159,0									11	5785,9
MAR						183,7	404,8	613,6	782,6	892,2	930,1	892,2	782,6	613,6	404,8	183,7									11	6684,2
ABR						192,4	423,9	642,5	819,5	934,2	973,9	934,2	819,5	642,5	423,9	192,4									11	6999,0
MAY						189,7	418,0	633,6	808,1	921,2	960,3	921,2	808,1	633,6	418,0	189,7									11	6901,2
JUN						173,2	381,7	578,6	738,0	841,3	877,0	841,3	738,0	578,6	381,7	173,2									11	6302,6
JUL						164,6	362,8	549,8	701,3	799,4	833,4	799,4	701,3	549,8	362,8	164,6									11	5989,2
AGO						164,1	361,7	548,3	699,3	797,1	831,0	797,1	699,3	548,3	361,7	164,1									11	5972,0
SEP						143,8	316,9	480,3	612,6	698,3	728,0	698,3	612,6	480,3	316,9	143,8									11	5231,8
OCT						149,1	328,6	498,0	635,2	724,1	754,9	724,1	635,2	498,0	328,6	149,1									11	5425,1
NOV						145,0	319,5	484,3	617,6	704,1	734,0	704,1	617,6	484,3	319,5	145,0									11	5274,9
DIC						130,8	288,2	436,9	557,2	635,2	662,2	635,2	557,2	436,9	288,2	130,8									11	4758,9
ANUAL						160,4	353,5	535,8	683,4	779,1	812,2	779,1	683,4	535,8	353,5	160,4									11	5836,8

Tabla 15. Valores horarios acumulados por mes de radiación total, directa y difusas. Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

4.14. Análisis de nubosidad

Para el caso específico de la nubosidad no se encontraron datos proporcionados por la estación meteorológica 00015019 Colonia Vicente Guerrero (latitud N 19°35'44", longitud W 99°21'17" y altitud 2,430 m.s.n.m.) dependiente de SMN-CONAGUA, por lo que se procedió a realizar un archivo de clima con el software Meteonorm ver. 7.3®. Este archivo sirvió para alimentar el software informático de Andrewmarsh® y así poder generar la representación tridimensional que se plasma en la Gráfica 11 para el observar el análisis de nubosidad del municipio de Nicolás Romero. Donde se observa que el periodo de lluvias corresponde al mayor periodo con nubes.

Gráfica 11. Datos de nubosidad generados a partir del Software Meteonorm ver. 7.3® y procesados en el software informático Andrewmarsh. Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

4.15. Análisis de viento

De igual forma como en el caso anterior relacionado a la nubosidad tampoco se encontraron datos relacionados al viento, de tal manera que se recurrió al procedimiento de generar un archivo .wea a partir del Software weather tool®. Para de esta manera alimentar el paquete informático de Andrewmarsh® y así poder generar el grafico tridimensional, para finalmente observar el análisis de velocidad en el municipio de Nicolás Romero (Gráfica 12).

Gráfica 12. Datos de velocidad de viento generados a partir del Software Weather tool® y procesados en el software informático Andrewmarsh®. Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

Gráfica 13. Datos de dirección de viento generados a partir del Software Weather tool® y procesados en el software Climate Consultant®. Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

En la Gráfica 13 se pudo observar, en la parte central, la velocidad promedio de los vientos (m/s) y en la parte exterior del círculo el porcentaje en horas en las cuales se presentan los registros de viento. Finalmente, el conjunto de la gráfica contempla las orientaciones de este y oeste, lo cual define la dirección proveniente de las corrientes de aire.

4.16. Clasificación de clima según Köppen-García

Según los datos analizados correspondientes a la temperatura media y la precipitación total el clima correspondiente a la estación meteorológica 00015019 COLONIA VICENTE GUERRERO (latitud N 19°35'44", longitud W 99°21'17" y altitud 2,430 m.s.n.m.), el clima correspondiente según la Tabla 16, basada en la clasificación Köppen-García, corresponde la nomenclatura de Cbw2(w)(i')g, lo cual se traduce como:

- Clima templado húmedo, con poca oscilación, de tipo Ganges y no se presenta canícula.

COORDENADAS

LATITUD: 19° 35' 44" N

LONGIT: 99° 21' 17" W

ALTITUD: Área de trazado

PERIODO1981-2010

CIUDAD

NICOLÁS ROMERO

CLIMA: Cbw2(w) (i')g (Templado Húmedo, poca oscilación, tipo ganges, no hay canícula)

BIOCLIMA: Semi-Frío

Agrupación climática

KÖPPEN-GARCÍA

FUENTE	VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
a	TEMPERATURA MEDIA	°C	21	12,4	13,7	15,7	17,3	17,6	17,6	16,6	16,6	16,4	15,1	13,6	12,8	15,5
a	PRECIPITACIÓN TOTAL	mm	20	12,0	12,7	18,7	35,1	73,5	158,1	184,7	175,2	140,1	82,6	19,8	3,8	916,3

Grupo climático

CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

A

C

B

E

Descrip:

Templado Húmedo, poca oscilación, tipo ganges, no hay canícula

Datos Generales del Clima

Variable	Registro
Temp. Máxima:	17,6
Temp. Media:	15,5
Temp. Mínima:	12,4
Prec. Máxima:	184,7
Prec. Mínima:	3,8
Prec. Total:	916,3
P/T	59,3
% Prec. Invernal	4,7%
Oscilación	5,2

Tabla 16. Datos climáticos para determinación de tipo de clima según Köppen-García.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

4.17. Carta psicrométrica

La Gráfica 14 corresponde a la carta psicrométrica con los parámetros “Plus ASHRAE Handbook, 2005”. En ella se pueden observar las siguientes estrategias con respecto a los valores graficados de temperatura de bulbo seco y humedad relativa, en primer lugar, ubicando las temperaturas que se encuentran por debajo de los 4 °C (lado izquierdo de la línea punteada color magenta). Se recomienda como estrategia incrementar de manera significativa la temperatura y humedad, esto se puede realizar por medios mecánicos.

El segundo parámetro se encuentra comprendido entre los 4 y 13 °C (entre la línea punteada color magenta y el lado izquierdo del polígono color naranja), donde la recomendación es implementar ganancias por radiación solar directa y alta masividad.

El tercer parámetro se encuentra entre los 13 y 21 °C (área contenida en el polígono color naranja), donde la recomendación es únicamente el incremento en ganancias internas de calor.

Para las temperaturas entre los 19 y 26 °C (líneas color verde) se considera un confort adaptativo por ventilaciones en este mismo rango de temperatura, pero atendiendo los percentiles de humedad relativa (polígono color cian). La estrategia recomendada es aumentar la humidificación del espacio.

Los puntos de color cian contenidos en el polígono color azul de menor tamaño se consideran según los parámetros de “Plus ASHRAE Handbook, 2005” como la zona de confort.

La línea continua color magenta indica que a partir de los 24 °C se recomienda implementar el sombreado para evitar ganancias solares.

El área delimitada por las dos líneas color azul marino, que intercepta a los polígonos de color azul y termina en la línea continua color magenta considera la implementación de enfriamiento evaporativo.

Gráfica 14. Carta psicrométrica generada en el Software Climate consultatn® a partir de archivo .epw.

4.18. Triángulos de confort

Los triángulos de confort (Evans, 1967) consideran una relación entre la temperatura media y oscilación térmica, la Tabla 17 muestra los datos mensuales antes mencionados. Como resultado podemos observar en la Gráfica 15 una alta oscilación térmica, lo que ubica a la mayoría de los meses fuera de confort, mientras que en la Gráfica 16 todos los meses se encuentran en la zona que combina dos estrategias de confort, las cuales son las ganancias solares y la inercia térmica.

COORDENADAS	LATITUD	19° 35' 44" N	CIUDAD
	LONGIT:	99° 21' 17" W	<div>NICOLÁS ROMERO</div>														
	ALTITUD	2430 msnm															
PERIODO	1981-2010		CLIMA: Cbw2(w) (f)g (Templado Húmedo, poca oscilación, tipo ganges, no hay canícula)														
			BIOCLIMA: Semi-Frío														
TRIÁNGULO DE CONFORT																	
FUENTE	VARIABLES CLIMATOLÓGICAS		UNIDAD	AÑOS	MESES										ANUAL		
					ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT		NOV	DIC
a	TEMPERATURA	MAXIMA EXTREMA	°C	21	29,5	29,5	32,5	36,5	34,5	32,5	29,5	29,5	29,5	28,0	28,5	36,5	
a		FECHA	dd/aaaa	n/d	01/2003	22/1998	31/1998	27/1900	01/1998	01/1998	01/1997	13/2004	26/1999	01/2002	14/2008	01/2008	27/1900
a		PROMEDIO MÁXIMA	°C	21	23,1	25,3	27,4	29,4	30,4	27,8	25,0	24,7	24,1	24,0	23,6	23,0	25,7
a		MEDIA	°C	21	12,4	13,7	15,7	17,3	17,6	17,6	16,6	16,6	16,4	15,1	13,6	12,8	15,5
a		PROMEDIO MÍNIMA	°C	21	2,6	3,1	4,0	5,6	7,0	7,8	8,1	7,5	8,1	5,3	3,7	2,3	5,4
a		MINIMA EXTREMA	°C	21	-3,5	0,0	0,0	1,0	0,5	2,5	1,0	1,5	3,5	0,0	-2,0	-1,0	-3,5
a		FECHA	dd/aaaa	n/d	17/2006	23/2009	01/2009	20/1983	20/2000	01/2006	25/1986	20/2001	21/1999	23/1999	20/2008	30/1983	17/2006
b	OSCILACIÓN		°C	21	20,5	22,2	23,4	23,8	23,4	20,0	16,9	17,2	16,0	18,7	19,9	20,7	20,2

Tabla 17. Valores mensuales de temperatura y oscilación térmica.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

Gráfica 15. Oscilación térmica de Nicolás Romero.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

Gráfica 16. Estrategias bioclimáticas según triángulos de confort (Evans, 1967).

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

4.19. Carta bioclimática

La carta bioclimática (Olgyay & Olgyay, 1963) además de considerar los datos higrotérmicos de una región (Tabla 18) combina otros factores, tales como: la temperatura neutra y el metabolismo de los usuarios (130 W) equivalente a la actividad más baja. En el parámetro de viento, se consideran diferentes velocidades (m/s), así como un límite de resistencia.

COORDENADAS

LATITUD: 19° 35' 44" N

LONGIT: 99° 21' 17" W

ALTITUD: 2430 msnm

PERIODO

1981-2010

CIUDAD

NICOLÁS ROMERO

CLIMA: Cbw2(w) (f')g (Templado Húmedo, poca oscilación, tipo ganges, no hay canícula)

BIOCLIMA: Semi-Frío

DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO

FUENTE	VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL
				E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D	
a	TEMPERATURA PROMEDIO MÁXIMA	°C	21	23,1	25,3	27,4	29,4	30,4	27,8	25,0	24,7	24,1	24,0	23,6	23,0	25,7
a	TEMPERATURA PROMEDIO MÍNIMA	°C	21	2,6	3,1	4,0	5,6	7,0	7,8	8,1	7,5	8,1	5,3	3,7	2,3	5,4
b	TEMPERATURA NEUTRA (Tn)	°C	21	21,4	21,8	22,5	23,0	23,1	23,1	22,7	22,7	22,7	22,3	21,8	21,6	22,4
a	HUMEDAD RELATIVA MÍNIMA	%	10	25,0	23,0	20,0	22,0	28,0	43,0	44,0	43,0	50,0	40,0	34,0	27,0	33,3
a	HUMEDAD RELATIVA MÁXIMA	%	10	43,0	38,0	33,0	34,0	39,0	53,0	57,0	59,0	62,0	58,0	48,0	40,0	47,0

Tabla 18. Datos higrotérmicos mensuales de Nicolás Romero.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

De acuerdo con el Diagrama bioclimático (Gráfica 17) se establece que todos los meses se está fuera de la zona de confort en las noches y mañanas con requerimientos de calentamiento. Generalmente las condiciones son confortables en la tarde excepto en los meses de marzo, abril, mayo y junio, que son los más cálidos del año y en este caso se requiere de ventilación.

NICOLÁS ROMERO
DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO

Gráfica 17. Carta bioclimática elaborada con normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

Fuente: Carta Bioclimática de los hermanos Olgyay (Olgyay & Olgyay, 1963).

4.20. Días-Grado

Los Días-Grado se definen como los requerimientos de calentamiento o enfriamiento acumulados en un cierto período de tiempo medidos o determinados en días, los cuales son necesarios para alcanzar la zona de confort (Tabla 19).

COORDENADAS

LATITUD: 19° 35' 44" N

LONGIT: 99° 21' 17" W

ALTITUD: 2430 msnm

PERIODO

1981-2010

CIUDAD

NICOLÁS ROMERO

CLIMA: Cbw2(w) (f)g (Templado Húmedo, poca oscilación, tipo ganges, no hay canícula)

BIOCLIMA: Semi-Frío

DÍAS-GRADO

FUENTE	PARÁMETROS		UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL
					ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
a	TEMPERATURA	MAXIMA EXTREMA	°C	21	29,5	29,5	32,5	36,5	34,5	32,5	29,5	29,5	29,5	29,5	28,0	28,5	36,5
a		FECHA	dd/aaaa	n/d	01/2003	22/1998	31/1998	27/1900	01/1998	01/1998	01/1997	13/2004	26/1999	01/2002	14/2008	01/2008	27/1900
a		PROMEDIO MÁXIMA	°C	21	23,1	25,3	27,4	29,4	30,4	27,8	25,0	24,7	24,1	24,0	23,6	23,0	25,7
a		MEDIA	°C	21	12,4	13,7	15,7	17,3	17,6	17,6	16,6	16,6	16,4	15,1	13,6	12,8	15,5
a		PROMEDIO MÍNIMA	°C	21	2,6	3,1	4,0	5,6	7,0	7,8	8,1	7,5	8,1	5,3	3,7	2,3	5,4
a		MÍNIMA EXTREMA	°C	21	-3,5	0,0	0,0	1,0	0,5	2,5	1,0	1,5	3,5	0,0	-2,0	-1,0	-3,5
a		FECHA	dd/aaaa	n/d	17/2006	23/2009	01/2009	20/1983	20/2000	01/2006	25/1986	20/2001	21/1999	23/1999	20/2008	30/1983	17/2006
b	LÍMITE SUPERIOR DE LA ZC (ZCs)		°C		23,9	24,3	25,0	25,5	25,6	25,6	25,2	25,2	25,2	24,8	24,3	24,1	24,9
b	TEMPERATURA NEUTRA (Tn)		°C		21,4	21,8	22,5	23,0	23,1	23,1	22,7	22,7	22,7	22,3	21,8	21,6	22,4
b	LÍMITE INFERIOR DE LA ZC (ZCi)		°C		18,9	19,3	20,0	20,5	20,6	20,6	20,2	20,2	20,2	19,8	19,3	19,1	19,9
DÍAS GRADO (DG)																	
b	ENFRIAMIENTO (DG-e)		K		0,0	-26,7	-75,4	-118,1	-150,2	-67,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-277,6
b	CALENTAMIENTO (DG-c)		K		506,7	454,9	495,0	445,9	420,2	382,7	376,5	395,1	362,5	448,9	468,5	519,8	5279,5

Tabla 19. Datos mensuales de temperatura y zona de confort.

Fuente: Normales climatológicas (período 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

La Gráfica 18 muestra que durante todo el año es necesario el incremento de temperatura, pues se observa que existe una demanda con respecto a los requerimientos de calentamiento. Sin embargo, en los meses de febrero a junio también se puede observar que existen requerimientos de enfriamiento.

Gráfica 18. Días-grado, requerimientos de calentamiento y enfriamiento.

Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).

4.21. Medio Artificial

En este punto se revisarán únicamente aspectos históricos y de vivienda tal cual se enunciarán a continuación.

4.21.1. Antecedentes históricos

El municipio de Nicolás Romero, nombrado así en honor al coronel Nicolás Romero, quien participó en la llamada Guerra de Reforma al lado de las fuerzas juaristas, ha tenido diferentes nombres a lo largo del tiempo. El nombre más antiguo que se conoce data de la época prehispánica, en ese tiempo se le llamaba "AZCAPOTZALTONGO", cuyo origen es de la lengua Náhuatl. En un término lingüístico conocido como aztequismo y cuyo significado según el Dr. Cecilio A. Róbelo, se debe traducir como "en los pequeños hormigueros" (Esparza, 2020). Posteriormente en el periodo colonial cambió su nombre

por Monte Bajo, nombre que conservo de 1821 hasta 1898. Y en este año por el decreto número 38 de la legislatura local, dicha localidad fue elevada a la categoría de Villa, cambiando su nombre a “VILLA NICOLÁS ROMERO”. Es en el año de 1998, que por el decreto número 63 de la legislatura local, la cabecera municipal es elevada a la categoría de ciudad y desde entonces su nombre oficial es “CIUDAD NICOLÁS ROMERO”, sin embargo, por usos y costumbres es llamado municipio de Nicolás Romero (Imagen 24).

Imagen 24. Palacio Municipal de Nicolas Romero.

Fuente: <https://vymaps.com/MX/Municipio-de-Nicolas-Romero-2642126/>.

Dentro del marco histórico el pueblo de Atzacapotzaltongo era representado por el glifo que ilustra a una hormiga rodeada de piedras y frutos los cuales simbolizan a los pueblos que dependían de este. Todo esto se apoyaba en las piernas de la diosa de la abundancia, ver Imagen 25 (Esparza, 2020).

Imagen 25. Glifo representativo del pueblo de Atzacapotzaltongo.
Fuente: Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México.

Posteriormente durante la gestión del C. Arturo Sánchez Martínez (1973/1975), se encomienda al Sr. Genaro Roa Paulín, el encargo de diseñar lo que es hasta el día de hoy el escudo Municipal (Imagen 26). El cual es empleado en toda la papelería oficial del ayuntamiento y en diversos órganos auxiliares. Cabe mencionar que la actual administración (2019/2021) emplea un escudo adicional en la documentación oficial, sin existir un decreto en el que este se cambie de manera oficial (Imagen 27).

Imagen 26. Escudo del Municipio de Nicolás Romero.

Fuente: Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México.

H. AYUNTAMIENTO CONSTITUCIONAL DE NICOLÁS ROMERO		H. AYUNTAMIENTO DE NICOLÁS ROMERO 2019-2021 DIRECCIÓN DE DESARROLLO Y FOMENTO ECONÓMICO CENTRO DE ATENCIÓN EMPRESARIAL VENTANILLA ÚNICA
FORMATO ÚNICO DE SOLICITUD DE TRÁMITE DE LICENCIA DE FUNCIONAMIENTO DE BAJO IMPACTO				FECHA DE RESOLUCIÓN	
INGRESO DEL TRÁMITE				DÍA MES AÑO	
DÍA MES AÑO				HORA	
HORA:				FOLIO:	

Imagen 27. Escudo municipal de la actual administración (2019/2021).

Fuente: Página oficial del municipio de Nicolás Romero (<http://nicolasromero.gob.mx/>).

4.21.2. Vivienda en el municipio de Nicolás Romero

Los datos presentados corresponden al censo poblacional y vivienda de 2010, ya que aún no se encuentran disponibles de manera específica los datos del censo de población y vivienda de 2020.

En las últimas décadas el municipio ha presentado un gran crecimiento demográfico, incrementando el número de habitantes que era de 47,504 en 1970 a 366,602 habitantes. Por otra parte, se observa una tendencia de crecimiento en el rubro correspondiente a la densidad de población del municipio, la cual en el año 1990 era de 793 Hab/km², y según los reportes este valor se incrementó a 1,161 Hab/km².

El INEGI en el año 2010 registró un total de 91,357 viviendas en el municipio, con un promedio de 4 habitantes por vivienda, de las cuales 86,994 tenían piso de material diferente de tierra y 3,056 tenían piso de tierra. En lo referente a servicios, se registró a 81,080 viviendas que contaban con los servicios de agua entubada, luz y drenaje, lo que representa una cobertura del 88.75% (H. Ayuntamiento Municipio Nicolás Romero, 2011).

En lo que respecta a la vivienda, existen dos clasificaciones. La primera clasificación observa la información relacionada a los sistemas constructivos de los muros de las viviendas. La cual se divide en tres segmentos: i) el primero incluye las viviendas que fueron construidas con paredes que ocuparon como sistema el tabique rojo recocido, de tabique o tabicón, block hueco y piedra; ii) el segundo grupo corresponde a las viviendas cuyos muros fueron realizados a base de adobe; iii) el último grupo engloba a aquellas viviendas que fueron construidas con madera y cartón, que por sus características corresponden a la vivienda precaria. La segunda clasificación comprende lo relacionado a las características del piso de la vivienda, observando únicamente dos grupos: i) el primero se refiere a la construcción a base de firmes de concreto, madera o mosaico; ii) mientras que el segundo grupo contempla los pisos de tierra. Considerando lo anteriormente descrito, la vivienda se puede clasificar en precaria y popular (H. Ayuntamiento Municipio Nicolás Romero, 2019).

CAPITULO

5

5. Propuesta de Diseño de los paneles aislantes

Por todo lo anterior, es que surge la idea de combinar los elementos de la espuma de poliuretano y las botellas de PET para realizar paneles aislantes, estas tendrán una reutilización sin distinción de su forma y particularmente de su color. Sin embargo, para este caso de estudio de paneles la única limitante que se prevé es el volumen de 600 mL o en su defecto el diámetro máximo de 5 cm. Por otra parte, no se descartan las presentaciones de las botellas de 1, 2, 2.5 y 3 L, las cuales se pueden emplear en paneles de mayor espesor. Estos paneles pueden ser considerados (en este momento de manera hipotética) como materiales que aporten un mayor aislamiento, dependiendo el tipo de clima en el que se quieran implementar. Lo que permitirá el desarrollo de diferentes configuraciones en la elaboración de los productos terminados.

La propuesta de los paneles elaborados con botellas de PET y espuma de poliuretano se ha planteado con diferentes acabados aparentes y para diferentes usos, esto también ha permitido diferentes esquemas de fabricación e implementación en las edificaciones. Es por esto por lo que ha sido necesario subdividirlos en dos rubros para su implementación, tal cual se establece en el Diagrama 2. La primera división es para paneles dedicados a los muros, los cuales tendrán diferentes caracterizaciones de materiales constructivos y con diferentes acabados. La segunda propuesta, es para paneles dedicados a techumbres y losas con diferentes acabados, los cuales se desarrollarán en otra investigación.

Si bien, en este momento solo se proponen tres elementos de configuración de fachaleta, la posibilidad de acabados es muy amplia. Estos esquemas solo ejemplifican, algunas de las ideas que se pueden implementar, de tal manera que se abre un abanico de opciones de diferentes sistemas constructivos que representen la regionalización de los materiales empleados en diversas partes del país.

Diagrama 2. Tipos de paneles según su uso, elaboración propia.

El primer acabado propuesto es de ladrillo rojo aparente, el cual será diferente a la colocación tipo sogá que refiere el acomodo tradicional traslapado. En este acomodo muchas veces no se cuida en su totalidad la colocación a regla, ya que posteriormente será repellado. Sin embargo, en este sistema se pueden proponer diferentes composiciones en el acomodo del tabique, tal cual se puede observar en la Imagen 28. Composición de tabique rojo en aparejo de sogá y tizón vertical, coronado con ladrillo rojo.. Esto permitirá un mejor diseño en la fachada, sin necesidad de realizar todo este proceso, ya que esto se realiza por medio de moldes predimensionados. En la primera fase de fabricación, estos acabados pueden diferir mucho del acabado realizado en obra (Imagen 29) y que se entiende más como sistema constructivo que como fachaleta aparente, la cual requiere más tiempo, cuidado y presupuesto al momento de su ejecución.

Esta primera propuesta, permitirá tener una fachada más representativa en el uso del tabique rojo, sin aumentar los costos de ejecución en obra, permitiendo representar una fachada más interesante en su composición visual.

Imagen 28. Composición de tabique rojo en aparejo de sogá y tizón vertical, coronado con ladrillo rojo.

Imagen 29. Composición de tabique rojo tipo sogá.

Atendiendo el reglamento de construcción, es necesario colocar castillos a cada tres metros, en cada cambio de dirección y en los cerramientos de las puertas y ventanas.

Si se desea tener un acabado aparente es necesario realizar una colocación meticulosa a plomo, nivel y regla, así como trabajar las entrecalles o uniones de cada tabique, aumentando el costo por metro cuadrado de muro.

La segunda propuesta de panel representa un acabado tipo sillar (Imagen 30), lo que permitirá tener otra fachaleta de sistema constructivo de la vivienda. También se pueden proponer diferentes tonos de sillar (Imagen 31), lo que permitirá una mayor cantidad de posibilidades en el acabado de la fachada.

Imagen 30. Composición de muro de sillar.

Imagen 31. Diferentes opciones de tonalidades de sillar.

La posibilidad que brinda el color integrado por medio de pigmentos en polvo permite tener diferentes variedades de colores en las fachaletas de los paneles permitiendo uniformidad en cada uno de los elementos prefabricados.

Finalmente, para los paneles de muro se propone un acabado en mampostería de piedra (Imagen 32), en colores claros o intermedios. Considerando estas tres tipologías, se puede cambiar de manera drástica la imagen de la fachada, y al mismo tiempo mejorar el comportamiento térmico de la vivienda. Todos estos paneles tendrán en el acabado final el color integrado correspondiente a cada uno de los sistemas constructivos simulados, de tal manera que no es necesario pintarlos. Esto permitirá amortiguar el costo de mantenimiento y supone una larga duración en cuestión de apariencia.

Imagen 32. Mampostería de piedra en color intermedio.

Para los paneles correspondientes a losas inclinadas o techumbres de lámina se proponen dos tipologías: La primera es la tradicional teja de ala de barro, la cual será simulada, pero que permitirá generar una mejor identidad en la fachada integrada de la vivienda (estos paneles serán desarrollados en otra investigación).

Una vez definidos los acabados propuestos de manera inicial para este sistema aislante, se debe definir en qué tipología de vivienda se implementarán, de tal manera que se debe realizar un análisis de las diferentes construcciones que existen en el país. También es necesario delimitar una zona climática, sin que esto represente una limitante,

pues se pueden hacer adaptaciones tanto de color, como de espesor y de acabados para diferentes regiones climáticas y así poder explotar la potencialidad de esta propuesta.

5.1. Propuesta de conformación de los paneles

Después de varios prototipos de diseño, se llegó a una propuesta final, donde los paneles quedan conformados por dos secciones: La primera corresponde a la parte visual y de acabado aparente (Imagen 33). Esta se divide en dos elementos (fachaleta y mortero). La segunda sección corresponde a la parte aislante del sistema y que se divide en tres elementos: i) espuma de poliuretano, ii) botellas de PET y iii) elementos de sujeción (Imagen 34).

Imagen 33. Elementos de la fachaleta y elemento de mortero cemento arena.

Imagen 34. Botellas de PET unidas con elementos de sujeción, ahogadas en espuma de poliuretano.

5.2. Parte visual de los paneles

A continuación, se describen los elementos que conformaran la primera sección del panel aislante, y que corresponden a los segmentos de la fachaleta, los cuales se fabricaran en moldes específicos dependiendo de la tipología que se pretende reproducir (Imagen 35). Todos los elementos tendrán un espesor de 2.5 cm, hechos de mortero, cemento, arena, con color integrado y en la Imagen 36 se pueden observar los elementos ya conformados en los moldes.

Imagen 35. Moldes de tipología ladrillo y tabique rojo (vacío).

Imagen 36. Elementos de mortero cemento arena, con color integrado, conformados en moldes (lleno).

Imagen 37 muestra el molde principal ya armado, que consta de una base y 4 fronteras perimetrales desmontables, las cuales se retiran para una fácil extracción del panel una vez ya terminado. Los segmentos prefabricados de la fachaleta serán colocados en el molde principal conformando la primera sección de la fachaleta (Imagen 38). Posteriormente se incorporará una capa de 2.5 cm de mortero-cemento-arena, sin color adicional, la cual se considera la segunda sección de la fachaleta, formando así el primer elemento compuesto del panel aislante (Imagen 39).

Imagen 37. Molde principal armado.

Imagen 38. Piezas prefabricadas colocadas en el molde principal.

Imagen 39. Capa de mortero-cemento-arena de 2.5 cm de espesor, vertida en el molde principal.

5.3. Parte aislante de los paneles

En esta sección se implementarán cuatro elementos: Los primeros dos son de sujeción y estabilización de las botellas, los cuales se clasifican de tipo “A” y “B” y tienen como función principal asegurar la ubicación de las botellas en la parte central de esta segunda sección de los paneles aislantes. El tercer elemento son las botellas de PET y el cuarto elemento es la espuma de poliuretano.

Con el apoyo del Dr. Edwing Almeida se diseñaron los dos elementos de sujeción. El primero denominado tipo “A” (Imagen 40), es el que se embona en la parte superior de la botella, ajustándose a la circunferencia del taparrosca. El segundo elemento de sujeción o de tipo “B” (Imagen 41) se ajusta a la parte inferior del envase. Estos elementos aseguran dos acciones importantes; la primera es mantener la posición original de las botellas durante el proceso de inyección de espuma de poliuretano (Imagen 42). La segunda es no crear una barrera entre las botellas y permitir una distribución completa y uniforme de la espuma al interior, evitando secciones sin material aislante.

Imagen 40. Elemento de sujeción tipo “A”, soporta y estabiliza la parte superior de la botella.

Imagen 41. Elemento de sujeción tipo “B”, soporta y estabiliza la parte inferior de la botella.

Imagen 42. Las Botellas se encuentran justo a la mitad del bloque de espuma de poliuretano.

El siguiente paso del procedimiento, es unir las botellas con los elementos estabilizadores, generando bloques de botellas, los cuales se colocan en el molde principal (Imagen 43) Cabe resaltar que la primera sección del panel ya debe estar

fraguada. Una vez distribuidas las botellas se procede a tapar y asegurar el molde para inyectar la espuma de poliuretano (Imagen 44), es importante mencionar que la tapa y las fronteras del molde, deben tener una membrana desmoldante, ya que el poliuretano tiene una alta capacidad de adherencia.

Imagen 43. Colocación de bloques de botellas de PET.

Imagen 44. Molde principal con tapa y asegurado, listo para la inyección de espuma de poliuretano.

Una vez concluido este proceso, los pasos a seguir para desmoldar el panel aislante se deben realizar en el siguiente orden, la Imagen 45 solo ejemplifica el primer paso del proceso:

- Retirar la tapa del molde principal.
- Retirar las fronteras.
- Voltear el panel aislante.
- Retirar la parte inferior del molde.

Imagen 45. Molde principal sin tapa, proceso de desmoldado.

5.4. Elementos complementarios del sistema de paneles

Al tratarse de un panel modular es fácil proyectar desde el diseño inicial, los empalmes, las esquinas (Imagen 46), así como los huecos de puertas (Imagen 47) y ventanas (Imagen 48) que permitirá solamente realizar el montaje de los paneles. Para esto se propone que la adhesión sea por medio de espuma de poliuretano en lata, la cual es de muy fácil aplicación, bastaría con aplicar en todo el contorno y traslapes del panel para después colocarlo sobre el muro y sostenerlo por unos minutos. Una de las características de esta espuma es su gran adherencia sobre cualquier material.

Imagen 46. Detalles de moldura para esquinas.

Imagen 47. Detalles de molduras para puertas.

Imagen 48. Detalles de molduras de ventanas.

Por otra parte, a pesar de que el poliuretano puede considerarse una espuma rígida y que su comportamiento mecánico a la tensión y compresión es bueno, esto también le permite tener cierta flexibilidad y adaptarse a diferentes momentos y esfuerzos propios de una construcción. Finalmente, no es un material que incremente su volumen de manera significativa con respecto el aumento de temperatura, de manera que no es necesario considerar el factor de dilatación al momento de unir los paneles entre sí.

Si bien se pueden realizar paneles de diferentes medidas, tendrán dimensiones máximas de 1.22 m de largo, 2.44 m de alto y 12.5 cm de ancho. La intención de delimitar sus medidas es la fácil transportación y colocación del panel. A pesar de ser un prototipo experimental, el análisis de comercialización más factible sería por metro cuadrado y no por pieza, ya que en caso de haber puertas o ventanas se deberán elaborar las piezas correspondientes y la fachada modular será a modo de ordenamiento secuencial de colocación.

También se pretende que no sea necesaria mano de obra calificada para la instalación del sistema de panel aislante, sino más bien a manera de autoconstrucción. Uno de los objetivos, es que el usuario pueda optar por mejorar su vivienda sin necesidad de incrementar costos de manera excesiva, o bien emplear a un oficial albañil para su colocación.

La idea de comercialización de este sistema de paneles aislantes consistirá en realizar un levantamiento previo de la fachada para llevar a cabo la correcta modulación de los elementos que se colocarán. De esta manera se respetarán las alturas de la vivienda, huecos de puertas y ventanas, para redimensionar los elementos de esquinas ya sean interiores o exteriores, como ya se mencionó anteriormente. Esto da un valor agregado ya que de esta manera no se generarán desperdicios en obra, y tampoco se comprarán elementos que no se utilizarán. Sí bien, esta modulación puede representar un reto de fabricación, vale la pena mencionar que los moldes se podrían adaptar a las diferentes medidas que se necesiten, ya que esta es una característica de cualquier sistema modular.

Finalmente se tiene planteado comercializar la mezcla seca de mortero-cemento-arena y color integrado, para realizar resanes o alguna otra reparación de mantenimiento que se requiera. La mezcla de color se fabricará dependiendo la tipología del panel que se va a intervenir. Este producto adicional solamente se aplicaría en la capa más exterior, y si por algún motivo se requiere realizar alguna reparación en la capa de espuma de poliuretano, esta se puede comprar de manera comercial en lata, o en reactivo A y B, en tiendas especializadas en espumas y resinas.

CAPITULO

6

6. Delimitación climática para la implementación del sistema aislante

Cuando se habla de construcción de vivienda, uno de los aspectos que se deberían contemplar, es el climático, pues los diferentes tipos de clima requieren diferentes soluciones de diseño arquitectónico. Como, por ejemplo: las orientaciones, los materiales, las alturas interiores, las disposiciones de los espacios, y en definitiva el tipo de clima. Aunque esta situación está muy distante de la realidad, la mayoría de las desarrolladoras de vivienda utilizan unos cuantos prototipos de vivienda, los cuales son replicados en los diferentes estados de la república. Esto muchas veces está determinado por el aspecto económico del costo de la construcción de cada vivienda, buscando solo la rentabilidad del negocio inmobiliario y no así el beneficio del usuario final. En los últimos años la crisis energética ha delimitado diferentes parámetros, dentro de los cuales destaca el gasto energético destinado a uso de calefacción y aire acondicionado empleado en la climatización al interior de los espacios con la finalidad mantener una zona de confort, muchas veces delimitada por el usuario.

Este sistema de medición energética se relaciona directamente con el concepto de vivienda sustentable, el cual ha sido adaptado a la vivienda de interés social. En un primer esfuerzo por acercarse a este concepto se implementó la denominada hipoteca verde. Sin embargo, la implementación de ecotecnologías no es una respuesta integral, ni siquiera cercana al mejoramiento del comportamiento térmico de la vivienda y en muchos casos dista de las necesidades reales de sustentabilidad, de cualquier manera, representa un punto inicial importante. En el área de los aislantes implementados a la vivienda de interés social, el máximo acercamiento se da con los impermeabilizantes con características termoaislantes. Sin embargo, la desarrolladora de vivienda Grupo Sadasi, desde hace algunos años, ha generado prototipos de vivienda con sistemas de aislamiento térmico en su envolvente. En algunos casos ha implementado sistemas de doble acristalamiento como estrategia de aislamiento acústico y térmico, lo que genera un parteaguas en la manera de construir vivienda nueva y aportar un verdadero beneficio al usuario final.

México cuenta con varios tipos de clima, los cuales están determinados principalmente por diversas características, tales como la altitud, latitud, vegetación. Así como por su temperatura, cálida, templada o fría, y de acuerdo con la humedad existente en húmedo, subhúmedo, seco y muy seco. Según el mapa de Köppen-García (Imagen 49) se pueden observar los diversos tipos de clima para la República Mexicana, los cuales se pueden catalogar principalmente en:

- Cálido húmedo
- Cálido subhúmedo
- Seco
- Muy seco
- Templado subhúmedo
- Templado húmedo

Imagen 49. Mapa de climas de la República Mexicana según la Adaptación de Enriqueta García.

Fuente: INEGI.

Para este caso de estudio se delimita de manera climática y geográfica una región puntual del municipio de Nicolás Romero, Estado de México. Con respecto al clima, de acuerdo con Koppen-García a su clasificación es: Cb(w2)w(i')g, Clima templado húmedo, con poca oscilación, de tipo Ganges y no se presenta canícula, y posee un bioclima Templado. En la parte geográfica su ubicación es la siguiente: Latitud 19°35' N, Longitud 99°16' O, a una Altitud de 2,406 m.s.n.m. En esta zona se ha desarrollado una gran cantidad de vivienda de interés social con sistemas constructivos y tipología muy parecidos.

Esta tipología de clima no representa una limitante para la implementación de este sistema de aislamiento, además de que se puede utilizar en otras zonas climáticas del país. Sin embargo, en este trabajo solo se considera el clima antes mencionado como parámetro de delimitación de investigación y análisis en la vivienda propuesta.

6.1. Selección de la vivienda para caso de estudio

La vivienda seleccionada es del tipo de interés social, ubicada en el municipio del Nicolás Romero, dentro de un conjunto de 48 viviendas todas del mismo prototipo, la cual ocupa un predio medianero (Imagen 34) de 71.2 m², sumando un total de 67.05 m² construidos.

La vivienda se encuentra ubicada dentro del subconjunto B, habitacional Bulevares del Lago, segunda sección con dirección: Calle Flamingos, No. 34, Col. Bulevares del Lago, Municipio de Nicolás Romero, Estado de México.

En la Imagen 50 se muestra el sembrado de los subconjuntos habitacionales “A” en color azul y “B” en color amarillo, la ubicación de la casa monitoreada está enmarcada en un rectángulo de color rojo. Se localiza del lado derecho del subconjunto “B”, la fachada posterior tiene colindancia con el subconjunto “A”. La fachada principal se encuentra orientada a 23° Oeste en sentido horario con respecto al Norte. En los lados Noreste y Suroeste tiene colindancia con dos viviendas del mismo diseño arquitectónico, así como el mismo sistema constructivo. Los muros de colindancia de estas orientaciones

son compartidos con ambas viviendas respectivamente. En la parte posterior de la vivienda se observa un área verde común del subconjunto “A” con casas de las mismas características. Las coordenadas de la vivienda son 19°35´ N de latitud, -99°16´ O de longitud y 2,402 m.s.n.m.

Imagen 50. Ubicación de la vivienda, fraccionamiento Bulevares del lago, municipio de Nicolás Romero.

La superficie total de la vivienda es de 73.2 m², en la Imagen 51 se muestran las medidas perimetrales donde se observa que tiene 3.45 m en la parte frontal y posterior de la casa y 10.88 m en los costados.

Imagen 51. Vista superior, superficie total de la vivienda.

6.2. Descripción de la vivienda caso de estudio

La casa cuenta con dos plantas: En la planta baja se encuentran los espacios de estancia, comedor, cocina. La planta alta consta de dos recamaras, dos baños y un patio de servicio.

La planta baja se muestra en la Imagen 52 y cuenta con dos ventanas, la primera se encuentra en la sala mientras que la segunda se ubica en la cocina con vistas al jardín del subconjunto A. Cuenta con una puerta de acceso ubicada en la estancia.

Imagen 52. Vista de planta baja.

La planta alta (Imagen 53), cuenta con dos recamaras, un baño y un patio de servicio. El baño tiene acceso por el pasillo que conecta a las dos recamaras. La planta alta cuenta con dos ventanas, la primera en la recámara 1, que corresponde a la fachada principal, y la segunda en la recámara 2, la cual también tiene una puerta de acceso al patio de servicio.

Imagen 53. Visa planta alta.

El techo de la vivienda es horizontal con una pendiente del 2%, cuenta con dos domos: El primero corresponde al cubo de escaleras y el segundo se ubica en el baño (Imagen 54).

Imagen 54. Corte longitudinal.

El programa arquitectónico se compone en planta baja por:

- Sala
- Comedor
- Cocina

El programa arquitectónico en planta alta se compone por:

- Recámara 1
- Recámara 2
- Baño completo
- Patio de servicio

La vivienda cuenta con un cubo de escaleras que conecta la planta baja con la planta alta. En el sitio se determinó el norte solar, respecto al cual la normal de la fachada principal tiene un ángulo de desviación de 23° al Noreste.

6.3. Sistema constructivo de la vivienda caso de estudio

Los muros de la fachada principal están conformados por bloques huecos de cemento, con una cara aparente, también conocido como block rústico o cara de piedra (Imagen 55), con el color incorporado, la tonalidad es arena medio. Las dimensiones del block son: 12 x 20 x 40 cm, unidos con mortero-cemento-arena. Los muros perimetrales e interiores de la casa son de block hueco, liso en ambas caras, con aplanados de yeso y un acabado final de pasta acrílica y cerofino de 5 mm de espesor, color crema medio.

En la Tabla 20 se muestran las dimensiones de las zonas de las dos plantas, el área ocupada por los muros y por los espacios exteriores, sin incluir el patio trasero. El área útil de la planta baja es de 28.19 m², incluyendo muros y pasillos se obtiene un total de 31.35 m². En la planta alta el área útil es de 30.50 m², incluyendo muros y pasillo se tiene un área total de 39.17 m². La planta alta tiene un área total de 7.82 m² mayor en relación con la planta alta.

ANÁLISIS DE ÁREAS DE VIVIENDA			
PLANTA BAJA			
LOCAL	DIMENSIONES		ÁREA
	ANCHO	LARGO	
COCINA	3.30	1.37	4.52
ACCESO A COCINA	0.15	0.79	0.12
COMEDOR	3.30	2.75	9.08
PASILLO	1.35	1.63	2.20
ESCALERA	1.63 x 0.74	1.95 x 0.93	2.43
SALA	3.30 x 2.37	3.45 x 3.19	12.14
ACCESO	0.15	0.9	0.135
TOTAL DE ÁREA ÚTIL EN PLANTA BAJA			28.19
DENSIDAD DE MUROS Y PASOS			4.31
TOTAL DE ÁREA EN PLANTA BAJA			31.35
PLANTA ALTA			
LOCAL	DIMENSIONES		ÁREA
	ANCHO	LARGO	
RECAMARA 1	3.30	3.15	10.40
ACCESO A RECAMARA 1	0.15	0.90	0.12
ESCALERA	2.4	1.48	4.27
PASILLO	0.90	3.01	2.71
RECAMARA 2	3.30 x 2.14	3.40 x 2.75	9.83
ACCESO A RECAMARA 2	0.15	0.90	0.12
BAÑO	2.25	1.23	2.77
ACCESO A BAÑO	0.15	0.70	0.105
PATIO DE SERVICIO	3.30 x 1.97	1.37 x 0.92	3.65
ACCESO A PATIO DE SERVICIO	0.15	0.90	0.12
TOTAL DE ÁREA ÚTIL EN PLANTA ALTA			30.50
DENSIDAD DE MUROS Y PASOS			10.35
TOTAL DE ÁREA EN PLANTA ALTA			40.85
TOTAL DE ÁREA ÚTIL			58.69
TOTAL DE ÁREA CONSTRUIDA			7.2

Tabla 20. Análisis de áreas. Elaboración propia.

Imagen 55. Fachadas de las viviendas, prototipo único. Foto: Israel Tovar.

6.4. Descripción de Muros, Techos, Suelos y Acristalamientos

Se utilizaron 6 tipos de configuraciones de materiales diferentes que son:

1. Muro A (Muros exteriores)
2. Muro B (Muros interiores)
3. Techos
4. Suelo sobre terreno
5. Suelo interior
6. Acristalamientos

6.5. Muros

Se utilizaron dos configuraciones de materiales para los muros (Imagen 56), los cuales son:

- Muro A. Formado por block hueco con la vista exterior aparente y al interior un revoque de yeso con una capa de pasta texturizada, el ancho final es de 14.3 cm.
- Muro B. Formado por block hueco con un revoque de yeso con una capa de pasta texturizada por ambos lados, el ancho final es de 15.6 cm.

Muro A

Muro B

Imagen 56. Configuraciones de Muros utilizados.

6.6. Techos

En el caso de los techos se empleó un sistema de vigueta y casetón de unicel y una capa de compresión con malla electrosoldada 4'4'-6'6'.

Se utilizó una configuración de materiales para el techo (Imagen 57), los cuales son:

- Techo. Conformado por vigueta (20 cm de peralte) y casetón de poliestireno expandido (20 cm de espesor) y una capa de compresión (7 cm de espesor) con malla electrosoldada 4'4'-6'6'. Al exterior se empleó un sistema de impermeabilizante asfáltico (3 mm de espesor) y al interior una capa de tirol blanco (2 mm de espesor).

•

Techo

Imagen 57. Configuración de Techo utilizado.

6.7. Suelos

Con respecto a los suelos, se utilizaron dos configuraciones (Imagen 58), las cuales son:

- Suelo sobre terreno. Formando una losa de cimentación (15 cm de espesor) con malla electrosoldada 4'4'- 6'6'. En la parte superior se empleó una loseta vinílica de (2 mm de espesor). Esta configuración se utilizó para el suelo de la planta baja.
- Suelo interior. Formado por vigueta (20 cm de peralte) y casetón de poliestireno expandido (20 cm de espesor) y una capa de compresión (7 cm de espesor) con malla electrosoldada 4'4'- 6'6'. En la parte superior se empleó una loseta vinílica

de (2 mm de espesor) y en la parte inferior una capa de tirol blanco (2 mm de espesor). Esta configuración se utilizó para el suelo de la planta alta.

Imagen 58. Configuraciones de suelos utilizados.

6.8. Acristalamientos

Para todas las ventanas la configuración del acristalamiento empleada fue una placa de vidrio claro de 3 mm de espesor. Los marcos utilizados fueron de aluminio de 4 cm de ancho con una división vertical de 2 cm de ancho a la mitad de cada ventana (Imagen 59).

Imagen 59. Configuraciones de acristalamientos utilizados.

CAPITULO

7

7. Metodología. Definición de parámetros para el caso de estudio

Se determinó que la vivienda reúne las características necesarias para implementar el sistema de asilamiento propuesto, la cual es una vivienda de interés social, por ser el tipo de vivienda que más se construye y comercializa en la actualidad en el municipio de Nicolás Romero. Para conocer el impacto que tendrá el sistema de aislamiento propuesto, se estudió y determino el comportamiento térmico de la vivienda en el tipo de clima seleccionado. Para esto se realizaron mediciones en sitio, se generó un archivo de clima extensión *.epw (Energy Plus Weather) y se modelo la vivienda en el software DesignBuilder ® que es una interfaz de Energy Plus®.

7.1. Calibración de dispositivos de medición de temperatura y humedad

Los sensores seleccionados para realizar las mediciones de monitoreo de la vivienda son Data Loggers, marca Lascar. El modelo EL-USB-2 se empleó para el registro de temperatura de bulbo seco y humedad relativa, por su parte el modelo EL-USB-TC-LCD se utilizó para el registro de la temperatura superficial. En ambos casos los modelos tienen una resolución de ± 0.5 °C de precisión al momento de registrar.

Todos los sensores de medición de Temperatura de Bulbo Seco (TBS) y Humedad Relativa (HR), así como los de Temperatura Superficial (TS), fueron calibrados en un ambiente controlado (Imagen 60). Esto con la finalidad de evitar rachas de viento, que pudieran modificar las mediciones registradas, este procedimiento se realizó en el laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la UAM Azcapotzalco. El proceso consistió en revisar que todos los dispositivos registraran las mismas temperaturas y niveles de Humedad Relativa durante el mismo período de medición.

Imagen 60. Calibración de dispositivos de medición.

7.2. Ubicación y colocación de los equipos de medición

Una vez revisados y validados los datos registrados en el proceso de calibración, se procedió a la colocación de estos dispositivos en la casa seleccionada como caso de estudio, siguiendo los parámetros de colocación indicados en la Tabla 21.

Todos los sensores EL-USB-2 se ubicaron a la misma altura y al centro de cada espacio. Los sensores EL-USB-TC-LCD se dispusieron haciendo contacto con las diferentes superficies mediante la aplicación de grasa térmica, la cual está diseñada para garantizar el contacto con la superficie a registrar y así obtener los datos correctos de cada elemento.

UBICACIÓN SENSORES PLANTA BAJA				
Descripción zona	CÓDIGO	MARCA	TIPO	ALTURA [m]
Sala	TH2	LASCAR	EL-USB-2	1.2
Comedor	TH5	LASCAR	EL-USB-2	1.2
Escalera	TH18	LASCAR	EL-USB-2	1.2

UBICACIÓN SENSORES DE TEMPERATURA DE SUPERFICIE PLANTA BAJA				
Descripción zona	CÓDIGO	MARCA	TIPO	ALTURA [m]
Piso/Sala	TS2	LASCAR	EL-USB-TC-LCD	Contacto en superficie
Techo/Sala	TS1	LASCAR	EL-USB-TC-LCD	2.32

UBICACIÓN SENSORES PLANTA ALTA				
Descripción zona	CÓDIGO	MARCA	TIPO	ALTURA [m]
Recámara 1	TH8	LASCAR	EL-USB-2	1.2
Recámara 2	TH11	LASCAR	EL-USB-2	1.2
Escalera	TH22	LASCAR	EL-USB-2	3.6

UBICACIÓN SENSORES DE TEMPERATURA DE SUPERFICIE PLANTA ALTA				
Descripción zona	CÓDIGO	MARCA	TIPO	ALTURA [m]
Piso/Rec. 1	TS6	LASCAR	EL-USB-TC-LCD	Contacto en superficie
Vigueta/Rec. 1	TS10	LASCAR	EL-USB-TC-LCD	2.32
Bovedilla/Rec.1	TS5	LASCAR	EL-USB-TC-LCD	2.32
Pared (Interior)	TS11	LASCAR	EL-USB-TC-LCD	1.2
Pared (Exterior)	TS12	LASCAR	EL-USB-TC-LCD	1.2

UBICACIÓN SENSORES DE TEMPERATURA DE SUPERFICIE AZOTEA				
Descripción zona	CÓDIGO	MARCA	TIPO	ALTURA [m]
Vigueta S/Rec.1	TS9	LASCAR	EL-USB-TC-LCD	Contacto en superficie
Bovedilla S/Rec.1	TS13	LASCAR	EL-USB-TC-LCD	Contacto en superficie

Tabla 21. Ubicación de sensores por espacio.

En la Sala y Recámara 1, se colocaron los sensores alineados en una columna, para obtener una caracterización de la estratificación en planta baja, una posible relación de transferencia a través del entrepiso y la estratificación en planta alta, así como la transferencia de la azotea, que recibe la radiación solar hacia la planta alta.

7.3. Registro y adquisición de datos meteorológicos

Para el registro y adquisición de datos meteorológicos se colocó en sitio una estación meteorológica marca ONSET, modelo HOBO U30-NRC (Imagen 61). Equipada con un anemómetro para medición de velocidad y dirección de viento modelo S-WCA-M003, un pluviómetro modelo S-RGB-M002, un piranómetro de silicón modelo S-LIB-M003, un sensor de presión barométrica modelo S-BPB-CM50 y un termohigrómetro modelo S-TMB-M002.

Dicha estación cuenta con un pequeño panel solar que se encarga de suministrar la energía necesaria a una pila recargable, lo cual da la versatilidad de monitoreo por largos periodos de tiempo, sin necesidad de sustituir pilas o estar conectada a la red eléctrica. La programación, registro y obtención de datos de la estación meteorológica se realizó mediante el software HOBOWare® Pro-software.

Imagen 61. Estación meteorológica HOBO U30.

7.4. Proceso de adquisición de datos climáticos

En los primeros días de la instalación de la estación meteorológica, se realizaron varias sesiones de adquisición de datos, con la finalidad de conocer y revisar el funcionamiento de esta. En la primera colecta de datos se detectaron problemas con los sensores de temperatura ambiente y con el sensor de registro de lluvia, los cuales fueron corregidos y se programó una nueva medición de 30 días, la cual se llevó a cabo sin mayores contratiempos. Los datos recabados en el periodo de 90 días (septiembre, octubre y noviembre) fueron procesados para crear un archivo climático en formato .epw,

y poder realizar simulaciones numéricas en Energy Plus®, con la interfaz DesignBuilder® y validar el modelo tridimensional.

7.5. Características termofísicas de los materiales empleados en las simulaciones numéricas

En el caso del vidrio otras propiedades tomadas en consideración son la transmitancia y reflectividad solares. Los valores utilizados para estas dos propiedades son 0,837 y 0,075 respectivamente. La Tabla 22 muestra las propiedades termofísicas de los materiales empleados en el modelo de simulación.

PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES					
Material	Conductividad (W/mK)	Calor especifico (J/(kg·K))	Densidad (kg/m ³)	Emisividad	Absortancia
block hueco	0.240	1000	760	0.9	0.8
revoque	1	1000	1800	0.9	0.6
concreto	2	1000	2400	0.9	0.6
vidrio	0.9	750	2500	0.84	0.3
aluminio	230	880	2800	0.3	0.3
aire	0.3	1000	1000	0.7	0.7
loseta vinílica	0.19	1470	1200	0.9	0.6
casetón	0.046	1400	10	0.9	0.6
Impermeabilizante asfaltico	0.150	1000	2100	0.9	0.8
Pasta texturizada	0.8	1000	1690	0.9	0.6

Tabla 22. Propiedades termofísicas de los materiales empleados en la simulación.

7.6. Definición de zona de confort

El análisis se realizó para el mes más frío, enero. Se comparó cualitativamente la temperatura al interior de una zona de la planta baja y de una zona de la planta alta, obtenida durante una semana. En una comparación cuantitativa, se utilizaron i) los parámetros del promedio de la temperatura del aire interior, el promedio de los ii) máximos y iii) mínimos de temperatura, iv) e l número de horas dentro de confort y el promedio de la energía transmitida por los v) muros y vi) techos de la envolvente de la zona durante un día, para una zona de la planta baja y una zona de la planta alta.

A fin de determinar el número de horas dentro de la zona de confort térmico se utilizó un criterio adaptativo. De manera que se estipula que un espacio está en confort térmico si la temperatura del aire, T_i , satisface la siguiente ecuación.

$$\underline{T_n - \Delta T_c} \leq T_i \leq \underline{T_n + \Delta T_c}$$

Donde T_n es la temperatura de neutralidad y ΔT_c es la amplitud de temperatura de la zona de confort.

Para determinar la T_n , se empleó la ecuación propuesta por Humphreys y Nicol (2000):

$$T_n = 13.5 \text{ } ^\circ\text{C} + 0.54 T_{amb}$$

Donde T_{amb} es el promedio mensual de la temperatura ambiente en $^\circ\text{C}$.

La ΔT_c (Tabla 23) se determinó en función del promedio mensual de la amplitud de la oscilación de la temperatura ambiente ΔT_a utilizando los valores que se muestran en la Tabla 21.

Promedio mensual de la amplitud de ΔT_a (°C)	ΔT_c (°C)
$\Delta T_a < 13$	2.5
$13 \leq \Delta T_a < 16$	3.0
$16 \leq \Delta T_a < 19$	3.5
$19 \leq \Delta T_a < 24$	4.0
$24 \leq \Delta T_a < 28$	4.5
$28 \leq \Delta T_a < 33$	5.0
$33 \leq \Delta T_a < 38$	5.5
$38 \leq \Delta T_a < 45$	6.0
$45 \leq \Delta T_a < 52$	6.5
$52 \leq \Delta T_a$	7.0

Tabla 23. Amplitud de la zona de confort. Modificada por Morillón.

En la Tabla 24 se presentan los valores de la temperatura ambiente promedio mensual (T_{amb}), la temperatura de neutralidad (T_n), el promedio mensual de la amplitud de la oscilación de la temperatura ambiente (ΔT_a) y la amplitud de la zona de confort (ΔT_c), para el mes más frío de la casa ubicada en el municipio de Nicolás Romero, Estado de México.

T_{am}	T_n	ΔT_a	ΔT_c
19.25	23.89	13.5	3.0

Tabla 24. Datos para cálculo de las temperaturas (°C) de la zona de confort.

Utilizando los datos anteriores se encontró que la zona de confort (°C) es:

$$22.39 \text{ C} \leq T_i \leq 25.19$$

7.7. Modelado para simulación numérica

Una vez definida la tipología de vivienda, registrado los materiales y características termofísicas de su sistema constructivo, haber realizado un monitoreo *in situ* y generado un archivo de clima, el siguiente paso en la metodología fue realizar un modelo tridimensional digital, el cual en su momento también fue calibrado y validado. Todo esto con la finalidad de poder calcular el comportamiento térmico de la vivienda durante todo el año. Si bien esto es un proceso que requiere de diferentes etapas, en primera instancia se seleccionó un Software que permitiera emplear el programa de cálculo Energy Plus®, en este caso fue DesignBuilder® versión 4.7.0.027, que es una interfaz de diseño, con la flexibilidad de utilizar los datos obtenidos y controlar diversas variables.

7.7.1. Temperatura de suelo, infiltración y entorno

Se utilizó como temperatura del suelo, el promedio de la temperatura monitoreada en el interior de la vivienda, en el suelo de la sala comedor, durante el mes de septiembre considerado como el periodo cálido. La temperatura promedio del suelo para el mes cálido fue de 21 °C.

Se consideró un valor de infiltración de 0.7 cah (cambios de aire por hora) con base en referencias del manual de la ASHRAE en el apartado ventilación e infiltración.

7.7.2. Modo programado

Se programaron en ceros las cargas térmicas derivadas de iluminación, aparatos eléctricos y personas, debido a que, en el caso de estudio, la vivienda estaba deshabitada. Por tratarse del análisis de la vivienda en evolución libre se desactivaron todos los parámetros relacionados con calefacción, aire acondicionado y ventilación. Los cálculos numéricos se realizaron en el programa EnergyPlus® versión 6.0 que estima la

temperatura del aire y de las superficies en las diferentes zonas en las que se dividió el modelo físico, la ganancia de energía por cada superficie, entre otros parámetros.

En una primera etapa se definieron las zonas de análisis por separado tanto de planta baja (Imagen 62), utilizando el levantamiento previo, y en estas condiciones el modelado dio como resultado tres zonas independientes: sala, comedor y cocina, así como una zona de interconexión: cubo de escaleras, que permite el intercambio de aire con la planta alta.

Los muros laterales de estas zonas se diseñaron de manera adiabática, ya que la vivienda tiene colindancia de ambos lados, con espacios de las mismas dimensiones y características constructivas.

Imagen 62. Modelado de planta baja de la vivienda seleccionada como caso de estudio.

Para el modelado de la planta alta (Imagen 63) se definieron tres zonas independientes; recamara 1, recamara 2 y baño, así como una zona de interconexión con la planta baja, en este caso el cubo de escaleras, se contempla también un pasillo de circulación entre las diferentes zonas.

Imagen 63. Modelado de la planta alta de la vivienda como caso de estudio.

Una vez definidas las zonas al interior de la vivienda, se procedió al modelado de las viviendas colindantes (Imagen 64). En este caso, se representaron con los volúmenes en color rosa, que corresponden a bloques de componente, los cuales también se se determinó que fueran adiabáticos. Si bien no hay intercambio de temperatura entre estos bloques y la vivienda de caso de estudio, estos volúmenes participan en la simulación numérica en la parte de asoleamiento y sombreado de superficies.

Imagen 64. Modelado de colindancias de la vivienda como caso de estudio.

Finalmente y considerando las cuestiones de asoleamiento y sombreado, se decidió modelar las viviendas que se encuentran frente a la vivienda caso de estudio (Imagen 65). Ya que estas edificaciones al estar ubicadas a solo 4 metros de distancia en la planta alta y la orientación con respecto al norte, se observó que en algunas épocas del año y en ciertos horarios, generan sombreado en la fachada principal. Situación que podría modificar los resultados de la simulación numérica.

Imagen 65. Modelado de las edificaciones cercanas a la vivienda caso de estudio.

7.8. Calibración del modelado digital para simulación

Hasta este punto del desarrollo de esta metodología de investigación, se había apoyado en revisión bibliográfica, levantamientos arquitectónicos, obtención de datos en sitio, calibración de sensores de temperatura, generación de archivo climático, modelado digital, entre otros procesos. Adicionalmente se consideró que es necesario validar la parte de registros vs la parte de simulación numérica, con la finalidad de garantizar que todas las proyecciones que se obtuvieron fueran lo más cercanas a las registradas *in situ*. Sin olvidar que se trata de una simulación de la realidad, en cuestiones climáticas y de comportamiento térmico de la vivienda.

En este punto el modelo tridimensional inicial, se sometió a diferentes corridas de simulación numérica y se analizaron los resultados generados por el programa con los

datos obtenidos en sitio. Esto con la finalidad de calibrar el modelo tridimensional. Partiendo de un criterio estandarizado que permita establecer rangos de error válidos y en su caso corregirlos, modificando los parámetros necesarios para obtener un grado de veracidad confiable de los resultados arrojados por el programa Energy Plus®. Para el caso que procede de calibración se emplearon los estándares de la ASHRAE, *GUIDELINE 14*.

La metodología empleada corresponde al artículo “Calibrating whole building energy models: Detailed case study using hourly measured data” (Raftery, Keane, & Costa, 2011). Donde se observan los lineamientos de ASHRAE, *GUIDELINE 14*, que considera los datos monitoreados y simulados para calcular un rango de error.

a) Sistema constructivo de la vivienda a modelar

Este debe analizar y registrar el sistema constructivo de la vivienda, ya que es parte fundamental para el modelado tridimensional digital. El sistema corresponde a muros de block hueco con castillos ahogados. Las losas de entrepiso y azotea son de casetón de poliestireno con viguetas prefabricadas de concreto armado. En las fachadas, principal y posterior, el block es aparente de color arena medio. El impermeabilizante es de tipo asfáltico color terracota.

b) Modelo tridimensional digital de la vivienda

En primer lugar, se considera el modelo tridimensional digital inicial con las características específicas de la vivienda, realizado en DesignBuilder® versión 4.7.0.027, el cual emplea Energy Plus® como motor de cálculo.

c) Datos climáticos

Obtenidos por medio de la estación meteorología marca ONSET Modelo HOBO U30-NRC, los cuales fueron: radiación solar, velocidad de viento, velocidad de ráfaga, dirección de viento, presión atmosférica, temperatura exterior y humedad relativa. Estos datos se emplearon para complementar el archivo climático .epw, que se utilizó en la simulación numérica.

d) Datos *in situ* de comportamiento térmico de la vivienda

Los datos *in situ* fueron obtenidos por medio de 15 sensores colocados en la vivienda, de tipo Data Loggers marca Lascar, modelos EL-USB-2 y EL-USB-TC-LCD. Su instalación fue en diferentes zonas de la vivienda tanto en planta baja como en planta alta y en superficies exteriores e interiores. Para la calibración de este modelo, se usaron datos horarios de temperatura de bulbo seco y humedad de la recámara 2, correspondiente a sensor TH 8. Los parámetros de la vivienda fueron: 1) desocupada, 2) con las ventanas cerradas, 3) sin aparatos conectados. Dichos parámetros se replicaron en todas las corridas de simulación numérica. Debido a que se trata de una vivienda relativamente nueva, en un inicio la infiltración se consideró de 0.1 cah, sin embargo, el valor final empleado se consideró de 0.7 cah para cumplir con los valores establecidos por ASHRAE de acuerdo con el apartado de ventilación e infiltración (ASHRAE, 2010).

e) Documentación

La ASHRAE, *GUIDELINE 14*, determina que los valores mínimos aceptables para la Tendencia Media de Error (MBE) es de $\pm 10\%$ y para la Variación Acumulada de la Raíz Media de Error al Cuadrado (CVRMSE) es $\leq 30\%$. En ambos casos, los valores se calculan a partir de los datos monitoreados y simulados de un modelo digital y el cual emplea las siguientes ecuaciones:

$$\overline{M_p} = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} M_i}{N_p}$$

$$CVRMSE_{(p)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_p} ((M_i - S_i)^2 / N_p)}{\overline{M_p}}}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} (M_i - S_i)}{\sum_{i=1}^{N_p} M_i}$$

Dónde M, son los datos monitoreados, S, son los datos simulados, p, es el intervalo de medición (ej. Mensual, semanal, diario y horario), Np, es el número de datos en el intervalo (mes=12; día=365 y horario=8,760) y Mp, es el promedio de datos monitoreados, 1,512 referentes a los meses monitoreados.

El porcentaje de error absoluto (APE) se calculó siguiendo la metodología base establecida por Raftery *et al.* (Raftery, Keane, & Costa, 2011). Como se muestra en la siguiente ecuación el APE no está indicado en los estándares de ASHRAE, sin embargo, permite tener un menor margen de diferencia entre los valores simulados y los monitoreados.

$$APE = \sqrt{\left(\frac{M_i - S_i}{M_i}\right)^2}$$

f) Valores de cerramientos y envolvente

Las propiedades térmicas de los materiales usados en el modelo fueron determinadas con respecto al sistema constructivo de la vivienda (Tabla 22). Los valores que tuvieron mayor relevancia fueron la emisividad y la absorptancia, esto cuando se analizaron los elementos superficiales exteriores. Para el caso de los valores de calor

específico, densidad y conductividad, la variación de los resultados fue mínima. La caracterización de los efectos de cada partida se puede consultar en los resultados calculados para MBE y CVRMSE

g) Cargas internas

La vivienda caso de estudio se monitoreó en condiciones de desocupación, las ventanas y puertas de la casa se mantuvieron cerradas durante el monitoreo. Tampoco hubo aparatos eléctricos conectados, de tal manera que no se registraron ganancias internas. Para el modelo simulado se consideraron las mismas condiciones, de manera que, igualando estas condiciones, las variables del sistema también se reducen considerablemente. Principalmente aquellas debidas a agentes generadores de cargas adicionales al interior de la vivienda.

h) Identificación de posibles errores

Todo proceso de calibración busca identificar posibles errores de diferente índole en el modelo de simulación, por lo que es primordial la corrección de estos y así evitar afectaciones en la obtención de resultados. También es importante revisar en repetidas ocasiones los diferentes procesos de la simulación y en cada revisión identificar y corregir los errores encontrados. En este proceso se detectó que existía una condición de terreno expuesto de 1.20 metros en la parte posterior, la cual no estaba considerada en el modelo tridimensional digital original. Para esta corrección fue necesario modelar un segmento correspondiente al terreno expuesto.

i) Repetición del proceso

Atendiendo los criterios de la metodología diseñada por Raftery, es necesario repetir el proceso en varias ocasiones con la finalidad de identificar discrepancias en los datos. Esto se considera tanto para los datos cargados en el modelo tridimensional digital, como en los resultados obtenidos de cada simulación numérica, aun cuando los valores para MBE y CVRMSE sean aceptables.

Para este caso de calibración en particular, los valores aceptables fueron alcanzados desde la revisión R15 (25), de tal manera que no hubo más observaciones que representaran modificaciones al modelo tridimensional digital, ni a los datos cargados para las simulaciones numéricas.

En el análisis de repetición del proceso, Raftery propone identificar discrepancias. Como primer paso al encontrar errores se debieron hacer las modificaciones necesarias y actualización del modelo. En la R14 se modificó el tipo de terreno y en la R16 se modeló el terreno expuesto bajo la vivienda.

Según el protocolo, cuando no existen errores en el modelo generado, se deben revisar los datos de entrada. En este punto se detectó una omisión en los valores y características del terreno. En otro momento, se revisaron los puentes térmicos y las propiedades termofísicas de los materiales. Las modificaciones se realizaron durante los procesos R15, R18 y R20.

Numero de revisión	Partida	Descripción
R 1		Modelo Original
R 2	Sitio	Temperatura de terreno
R 3	Sitio	Capa de terreno en suelo sobre terreno/ block en 1 capa
R 4	Materiales	Propiedades térmicas de block hueco
R 5	Materiales	Puentes térmicos en muros y losas
R 6	Materiales	Propiedades térmicas de casetón
R 7	Opciones	Transferencia Superficial de Calor, interior y exterior
R 8	Materiales	Emisividad y Absortancia de block hueco
R 9	Materiales	Emisividad y Absortancia de impermeabilizante
R 10	Materiales	Emisividad y Absortancia de casetón
R 11	Materiales	Propiedades térmicas de revoque
R 12	Materiales	Propiedades térmicas de concreto
R 14	Sitio	Añadir capa de terreno
R 13	Ventilación	Estanqueidad buena
R 15	Aberturas	Acristalamiento simple, marcos de aluminio
R 16	Sitio	Condicionante de 1.2 m de terreno expuesto
R 17	Sitio	Colindancias adiabáticas
R 18	Materiales	Block en 3 capas
R 19	Ventilación	0.7 ca/h buena
R 20	Materiales	Puentes térmicos 20 muros, 35 cubierta

Modificaciones realizadas en el proceso de calibración del modelo tridimensional digital.

j) Resultados

Los valores calculados son aceptables desde la revisión R10, sin embargo, a lo largo de cada revisión detectaron algunas discrepancias en los datos de entrada. En la revisión R15, también se logran los valores adecuados y continuando con la metodología descrita de repetición del proceso, se encontraron más observaciones en el modelo y la información alimentada para las simulaciones.

En cada revisión con respecto a los valores calculados de error, se identificaron las partidas referentes en la Tabla 26, los cuales no implicaron mayores cambios en los resultados obtenidos, aun así, se realizaron las adecuaciones correspondientes.

En la tabla 25 para MBE y CVRMSE respectivamente, cada columna corresponde a una revisión para bulbo seco y para humedad, por lo que se pudo observar el proceso de calibración y se identificaron las revisiones que tuvieron más repercusiones en los valores de error calculados.

Dentro de las revisiones R12 y R13, el valor de MBE se redujo en más del 10% y el CVRMSE disminuyó más de un 5%. lo que indicó una alta sensibilidad en la temperatura y en la humedad por los valores de infiltración.

También fue importante, corregir y modelar las condicionantes reales del terreno, pues se observó una relación directa en los valores de error calculados, así como la implementación en la programación adiabática en los muros colindantes. Esto último fue considerado a partir de la condición real de la vivienda, donde las casas colindantes presentaron un balance térmico igual, las cuales también se encontraban desocupadas.

Rev.	MBE / BS	MBE / HR	CVMSR/ BS	CVMSR / HR	APE/ BS	APE/ HR
R 0	-1	-5	18	6	71	20
R 1	5	15	25	15	67	28
R 2	5	15	25	15	67	28
R 3	0	19	27	20	67	36
R 4	-2	19	28	20	66	38
R 5	-1	18	33	22	72	48
R 6	3	15	34	21	74	49
R 7	9	10	34	19	76	45
R 8	17	6	29	10	70	30
R 9	17	7	27	9	69	27
R 10	23	-4	39	22	83	57
R 11	32	-9	36	11	76	24
R 12	32	-9	36	12	72	25
R 13	12	-9	24	12	63	29
R 14	11	7	20	9	50	28
R 15	5	6	13	8	30	28
R 16	-3	20	19	20	43	33
R 17	16	5	21	6	55	12
R 18	14	5	18	6	47	11
R 19	7	5	12	7	35	18
R 20	7	5	13	7	36	17

Tabla 26. Análisis de error (%) de la temperatura de bulbo seco y humedad relativa por revisión.

7.9. Validación del modelo de simulación numérica

Una vez calibrado el modelo tridimensional digital, se procedió a la validación de este, fue importante verificar todos los valores obtenidos de las simulaciones numéricas, y así se pudieran tomar como válidos para la siguiente parte de la investigación. De esta manera se realizaron diversas corridas de simulación en diferentes espacios de la vivienda modelada y en diferentes épocas del año. Los datos obtenidos se compararon con los datos registrados en los diferentes sensores de temperatura colocados in situ.

El primer parámetro de validación que se realizó fue comparar los datos monitoreados vs los datos obtenidos en las simulaciones numéricas, al interior de un espacio. El criterio de selección de espacios a comparar fue observar cual es el espacio que mayor incidencia solar recibe tanto en muro como en la losa durante todo el año, de esta manera fue como se seleccionó la recámara 2.

La casa analizada tiene un sistema constructivo no homogéneo en losas de entrepiso y azotea, así como en muros, ya descritos anteriormente. Para el caso particular de la losa de azotea se colocaron dos data logger de temperatura superficial al interior y dos al exterior de la losa, los dos interiores corresponden uno a la bovedilla del sistema y el otro a la vigueta, lecturas de las que se obtuvo un promedio pesado que se compara con la temperatura superficial de la simulación.

Las gráficas de comportamiento térmico en el tiempo se analizarán de manera cualitativa, y posteriormente se realizará un análisis cuantitativo

Finalmente realizó una estimación del consumo energético que demanda la casa modelada para llevarla a zona de confort, mediante la aplicación de sistemas de climatización mecánica. Para esta vivienda dado el comportamiento térmico, deriva principalmente en un concepto de calentamiento.

7.10. Temperatura interior recámara 2, semana cálida

En la Gráfica 19 se presenta en color rojo el comportamiento de la temperatura interior monitoreada de la recámara 2 y en color verde se muestra el comportamiento de la simulación térmica. Se observa cómo las curvas de simulación y monitoreo concurren en magnitud y tiempo. Aun en el tercer y cuarto día, cuando la simulación es ligeramente más fría, las curvas se siguen de manera paralela.

El comportamiento en magnitudes de temperaturas es muy similar. Existen diferencias entre las temperaturas monitoreadas y las simuladas siendo la mínima de .00064 y la máxima de 1.64 °C.

Gráfica 19. Temperatura interior de la recámara 2 semana cálida.

7.11. Temperatura interior recamara 2, semana fría

Como se muestra en la Gráfica 20, el periodo comprendido del 25 de octubre al 01 de noviembre fue la semana mas fria registrada. En color rojo se presenta el comportamiento de la temperatura interior monitoreada de la recamara 2, la cual corresponde a la fachada sur. En color verde se muestra el comportamiento de la temperatura interior obtenido de la simulación numerica del mismo espacio. En color azul se muestra la temperatura ambiente. En esta grafica se puede observa la alta coincidencia en el comportamiento registrado y en el simulado

Como se observa en la gráfica los comportamientos de temperaturas son muy parecidos, existen diferencias entre las temperaturas monitoreadas y las simuladas siendo la mínima de .00055 °C y la máxima de 2.14 °C

Gráfica 20. Temperatura interior de la recámara 2 semana fría.

7.12. Temperatura superficial interior de losa recamara 2, semana calida

El comparativo que se realiza en la Gráfica 21 corresponde al periodo de la semana mas calida, se puede observar en color verde se muestra el comportamiento de la temperatura superficial exterior, correspondiente a la recamara 1, resultado de la simulacion numerica, mientras que en color rojo se representa la temperatura obtenida del promedio pesado del sistema constructivo, finalmete en color azul se muestra la temperatura ambiente.

La diferencia máxima presentada entre el comportamiento de la curva de simulación respecto a la monitoreada es de 1.6 °C, la mínima en algunos momentos es incluso de 0 °C.

Gráfica 21. Temperatura Superficial Interior de losa, recamara 2, semana cálida

7.13. Temperatura superficial interior de losa recámara 2, semana fría

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** corresponde al periodo de la semana mas fría, en color verde se muestra el comportamiento de la temperatura superficial interior de la recámara 2, resultado de la simulación numérica, en color rojo se representa la temperatura obtenida del promedio pesado del sistema constructivo, en color azul se muestra la temperatura ambiente.

Las diferencias en magnitud entre curvas simulada y monitoreada van de los 0.2 °C y la diferencia mayor durante esta semana llega a ser de 3.2 °C.

Gráfica 22. Temperatura superficial interior de losa recámara 2, semana fría.

7.14. Temperatura superficial exterior de losa recámara 2, semana cálida

La Gráfica 23 muestra que las variaciones en el comportamiento de la curva de simulación simulada respecto a la de monitoreada son mínimas. Lo que permite confirmar que los valores superficiales de la cubierta en la simulación son correctos y por ende se consideran válidos.

La diferencia entre la curva de simulación respecto a la de monitoreo en uno de los días llega a ser de 2.8 °C, el resto de los días presenta una diferencia máxima de 1.5 °C, y se acerca a una diferencia de 0.8 °C.

Gráfica 23. Temperatura superficial exterior de losa recámara 2, semana cálida.

7.15. Temperatura superficial exterior de losa recámara 2, semana fría

La Gráfica 24 permite observar que el comportamiento de la curva de simulación respecto a la de monitoreo es casi paralelo, si bien la curva de monitoreo presenta mayor ganancia de temperatura en el lapso de mayor radiación; probablemente a causa de la dificultad de controlar la incidencia de radiación sobre los sensores de temperatura superficial instalados para monitoreo. Las curvas de monitoreo y simulación guardan un comportamiento muy semejante al de la temperatura exterior en tanto a su desarrollo en el tiempo.

Para esta gráfica encontramos diferencia de la curva de simulación comparada con la de monitoreo de hasta 8 °C la mayor, y se llega a un acercamiento de 4 °C.

Gráfica 24. Temperatura superficial exterior de losa recámara 2, semana fría.

7.16. Temperatura superficial interior de muro recamara 2, semana cálida

La Gráfica 25 muestra que la superficie de muro del modelo simulado es menos sensible a los cambios de temperatura, ganando y perdiendo menos calor, en comparación al muro monitoreado. La curva de simulación se igualó a la monitoreada solamente en dos días. Sin embargo, el comportamiento oscilatorio simulado corresponde al monitoreado. El muro seleccionado corresponde al que recibe una mayor cantidad de radiación solar directa

La superficie simulada tiene una diferencia máxima con la de monitoreo de 3 °C por debajo en el día y se mantiene 1 °C más cálida durante la noche.

Gráfica 25. Temperatura superficial interior de muro recamara 2, semana cálida.

7.17. Temperatura superficial interior de muro recamara 2, semana fría

El parámetro de validación que muestra la Gráfica 25, es el comportamiento de temperatura interior superficial de un muro, al igual que en el caso anterior las temperaturas simuladas son similares en su comportamiento oscilatorio, aunque no alcanzan los mismos valores que las temperaturas monitoreadas. Sin embargo, están dentro de los parámetros de error

La curva de simulación presenta menos amplitud térmica que la monitoreada, presentando 3 °C menos en el día, y 3 °C más durante la noche.

Gráfica 26. Temperatura superficial interior de muro recamara 2, semana fría

7.18. Temperatura superficial exterior de muro recamara 2, semana cálida

La Gráfica 27 muestra un comportamiento de la curva de simulación muy semejante al del monitoreo, excepto en dos días en que presenta dos picos de mayor magnitud. La respuesta del modelo simulado es muy cercana a la temperatura exterior del muro. En algunos días la curva del monitoreo tarda más tiempo en perder temperatura, y registra mediciones más bajas en todos los períodos fríos, que corresponden a la noche

En dos de los días comparados la temperatura superficial se simulación es muy similar a la monitoreada acercándose a una diferencia de 0.3 °C, y en el día en que hay mayor diferencia la simulada es hasta 4.5 °C mayor.

Gráfica 27. Temperatura superficial exterior de muro recamara 2, semana cálida.

7.19. Temperatura superficial exterior de muro recamara 2, semana fría

La Gráfica 28 muestra un comportamiento de la curva de simulación muy semejante al del monitoreo, sin embargo, la curva simulada alcanza temperaturas más altas; probablemente a la dificultad de proveer un sombreado uniforme a los sensores de superficie exterior. La curva del monitoreo tarda un poco más tiempo en perder temperatura, y alcanza temperaturas ligeramente más bajas en todos los períodos fríos, los cuales se presentan por la noche.

Durante el desarrollo de la comparación las curvas diarias de simulación presentan una temperatura máxima hasta en 6 °C menor que la de monitoreo, llegando a tener diferencias de 3.7 °C. Durante la noche la diferencia más o menos constante entre las dos curvas es de 2.6 °C, siendo más fría la de simulación.

Gráfica 28. Temperatura superficial exterior de muro recamara 2, semana fría.

CAPITULO

8

8. Valores termofísicos del sistema del panel aislante

8.1. Obtención de valores de los materiales del sistema aislante propuesto

En este capítulo se definirán las características termofísicas del sistema de aislamiento propuesto, una vez definidas y validadas, se procederá a analizar el comportamiento del sistema implementando los valores al modelo tridimensional digital ya antes calibrado y validado con el archivo de clima. En esta investigación, parte de la propuesta responde al interés de generar elementos que mejoren no solamente el comportamiento térmico de la vivienda, sino que también proporcionen un impacto visual modificando la imagen urbana y generando un sentido de apropiación del espacio. Esto también busca mejorar la calidad de vida de los usuarios en varios sentidos, muchas veces cambiando la imagen monocromática de las viviendas y proponiendo diferentes acabados en muros.

En una primera etapa, para la obtención de los valores de los elementos que componen el sistema de aislamiento propuesto, se realizó una extensa investigación bibliográfica sobre las características termofísicas de sus componentes, los cuales son mortero-cemento-arena, con diferentes colores integrados, aire en cavidad contenido en botellas de PET, impermeabilizante bituminoso base agua, y finalmente, espuma de poliuretano. Donde se compararon los diferentes valores proporcionados por los proveedores, fabricantes, además de artículos publicados referentes a los aislantes térmicos, donde se observó una similitud entre todos ellos. Las únicas variantes de este producto aislante se presentaban de manera específica por su espesor y densidad. Se tomó la decisión de homologar los valores consultados cuyas fuentes fueron:

- Base de datos de materiales del Software DesignBuilder®
- Base de datos del Software libre OPAQUE 3.0®¹⁴

¹⁴ OPAQUE® es un software libre diseñado por el Departamento de Arquitectura y Diseño Urbano de la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA, por sus siglas en inglés), el cual Calcula el valor U, el intervalo de tiempo y el factor de disminución para superficies opacas de paredes o techos compuestas de una o varias capas. Estos se pueden usar para calcular la ganancia o pérdida de calor a través de la superficie. El usuario construye superficies compuestas a partir de una biblioteca de materiales y se muestran en dos o tres dimensiones. Además, se pueden mostrar gráficos en 2-D de temperaturas exteriores y de sol-aire, variables de radiación y ganancia / pérdida de calor a través de la envolvente. Una nueva característica única de OPAQUE permite la inclusión de material

- Datos obtenidos y revisados por Steven Szokolay en su libro "Introduction to Architectural Science, the Basis of Sustainable Design"
- Lista ampliada de materiales con características termofísicas, proporcionada por la Dra. Guadalupe Huelasz Lesbros, investigadora del IER¹⁵

8.2. Validación de características termofísicas del sistema de asilamiento propuesto

Representando la composición de muro y el sistema aislante propuesto, se realizaron diversos ejercicios en la tabla de programación del Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet¹⁶ y los softwares Opaque® 3.0 y EnerHabitat®. De esta manera se obtuvieron los valores compuestos de la Resistencia Térmica representada por la letra "R", cuyas unidades se obtienen en $m^2 \cdot ^\circ C/W$, y la Transmisión Térmica representada por la letra "U", y sus unidades son $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$. La conformación de los materiales fue la siguiente:

- Yeso.
- Block.
- Mortero.
- Espuma de poliuretano.
- Aire.
- Espuma de poliuretano.
- Mortero.

La tipología utilizada en la caracterización del sistema corresponde al sillar amarillo considerando que es el color más cercano al material empleado en la vivienda caso de estudio.

de cambio de fase microencapsulado (PCM) en una de las capas de la superficie compuesta y utiliza un algoritmo de aproximación eficiente para calcular la reducción de energía diaria promedio cuando se incluye PCM.

¹⁵ Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México.

¹⁶ Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, departamento del Medio Ambiente, Área de Arquitectura Bioclimática.

El primer ejercicio se realizó en la tabla de programación elaborada por el Dr. Víctor Armando Fuentes (Tabla 27), en la cual se observan los primeros resultados, los cuales son:

- Valor R = 2.4979
- Valor U = 0.400

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS:					
Elemento constructivo	Materiales	espesor (m)	Conductividad (W/m °C)	Resistencia m ² °C/W	Transmisión W/m ² °C
		b	k	R	U
MUROS	yeso	0,01	0,28	0,0357	28,00
	block	0,14	0,24	0,5833	1,71
	mortero	0,02	1,00	0,0170	58,82
	poliureta	0,025	0,028	0,8929	1,12
	aire	0,05	0,89	0,05618	17,80
	poliuretano	0,025	0,028	0,8929	1,12
	mortero	0,02	1,00	0,0200	50,00
	Total			2,4979	0,400

Tabla 27. Tabla programada para la obtención del valor R y el Valor U de un sistema constructivo. Fuente de la tabla Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet. Obtención de Datos Mtro. Héctor Valerdi.

El segundo análisis realizado fue con el Software OPAQUE 3.0® (Imagen 66) donde los resultados obtenidos son los siguientes:

- Valor R= 2.53
- Valor U=0.395

Los valores obtenidos son muy cercanos, en comparación con los datos generados en el ejercicio anterior. En este análisis se obtuvo el factor de decremento cuyo valor es de 0.29. Cabe mencionar que el archivo .epw que se cargó en este software es el mismo

que se generó a partir de las mediciones *in situ*. Sin embargo, el sistema lo ubica en el municipio de Atizapán de Zaragoza.

Imagen 66. Valores obtenidos en el Software OPAQUE® 3.0.

Después de los ejercicios anteriores de composición del sistema aislante propuesto, se implementó un último parámetro definido por el Software Ener-Habitat®.

Se realizaron diversas corridas de simulación y se consiguió observar que el factor de decremento es de 0.33. Como se muestra en la Gráfica 29, este valor es muy cercano al obtenido en el Software OPAQUE® 3.0.

Gráfica 29. Factor de Decremento, Fuente Ener-Habitat®.

De esta manera, después de realizar una comparación entre los datos obtenidos (Tabla 28), se pueden validar las características termofísicas del sistema de asilamiento propuesto.

	R	U	F.D.
Cavidad- Conductividad¹⁷	2.4979	0.400	x
OPAQUE® 3.0	2.53	0.395	0.29
ENER-HABITAT®	x	x	0.33

Tabla 28. Tabla comparativa de valores obtenidos en diferentes plataformas.

Para todos los casos de cálculo del sistema aislante, por sugerencia del M. en C. Manuel Gordon no se consideró el material de PET, ya que el espesor estimado de la botella es de menos de medio milímetro. Este parámetro hace despreciable su participación en el cálculo de valores termofísicos del sistema. La propuesta de incluir las botellas de PET en el panel es con el propósito de obtener espacios de aire más grandes

¹⁷ Tabla de programación del Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet.

que los generados por la espuma de poliuretano al momento de la reacción. Para considerar la cantidad de espuma contenida entre botellas, se calculó un volumen del 27.3% por m³. Este parámetro se empleó para generar una subsuperficie de espuma de poliuretano en los cálculos realizados en DesignBuilder®.

Una vez validadas las características termofísicas del sistema de aislamiento propuesto se procedió a realizar simulaciones numéricas en el Software DesignBuilder® para conocer su desempeño y comparar la vivienda con y sin aislamiento.

CAPITULO

9

9. Implementación del sistema aislante propuesto a la vivienda seleccionada

Una vez calibrados el modelo de simulación y el archivo de clima, por medio del Software Designbuilder® se realizaron diversas simulaciones numéricas. Para conocer el desempeño del sistema aislante propuesto se analizaron dos zonas de la vivienda caso de estudio. La primera zona que se comparó fue la recámara 2, ya que en ella se validaron los datos monitoreados y los simulados. Además de que es el espacio que recibe una mayor cantidad de radiación a lo largo del año. El segundo espacio comparado fue el comedor ya que es el lugar que no recibe radiación por estar ubicado en la planta baja y al centro de la vivienda, por lo tanto, se considera como el espacio más desfavorable.

Las simulaciones comparativas se realizaron durante 30 días. Para el caso del invierno se consideró el mes de enero que es el periodo más frío del año. Para el análisis de primavera se simuló el mes de mayo ya que es el momento en que se presentan temperaturas más altas.

Este análisis es fundamental para observar las ventajas que supone la implementación del sistema aislante en los diferentes espacios de la vivienda. De tal manera que en este punto se podrán conocer los cambios de temperatura al interior. Buscando en todo momento favorecer al usuario final.

9.1. Comparación con aislante vs sin aislante recámara 2, invierno

En el primer caso analizado se simuló el mes de enero, para observar el comportamiento durante el invierno de la recámara 2, en la Gráfica 30 se puede observar en color verde la temperatura exterior, en color azul se representa el comportamiento de la vivienda con aislante y finalmente el color rojo las temperaturas sin el sistema aislante propuesto. Es importante resaltar que estas temperaturas son simuladas después de la calibración realizada, por lo tanto, se pueden considerar confiables para el análisis. En esta época del año se observa que el aislante funciona de manera adecuada pues no permite que la temperatura descienda más de lo que se registra en la simulación de la vivienda sin aislante, incluso en algunos días la temperatura mejora hacia la conservación de calor. En ambos casos las temperaturas se encuentran muy por debajo de la zona de confort, sin embargo, el comportamiento térmico se ve favorecido en el caso de la implementación del aislante.

Durante el invierno se puede observar que las temperaturas mejoran significativamente con la implementación de los paneles aislantes. Esto permite comprobar que, en caso de emplear sistemas de calefacción, estos trabajarán menos tiempo para llegar a la zona de confort.

Cabe resaltar que la temperatura simulada con el sistema de aislamiento térmico propuesto en ningún caso desciende más allá que las temperaturas sin aislamiento. Este comportamiento es importante ya que se puede inferir que cuando la casa tenga ocupación las ganancias internas adicionales provocarán que las temperaturas se acerquen más a la zona de confort, sin necesidad de implementar sistemas de calefacción.

Gráfica 30, Comparativa de temperaturas entre el sistema de aislamiento propuesto y sin él en recámara 2, invierno

9.2. Comparación con aislante vs sin aislante recamara 2, primavera

En el segundo caso comparativo se simuló el mes de mayo, para observar el comportamiento durante periodo de primavera de la recamara 2, en la Gráfica 31 se puede observar en color verde la temperatura exterior, en color azul se representa el comportamiento de la vivienda con aislante y finalmente el color rojo las temperaturas sin el sistema aislante propuesto. De igual manera que en caso anterior estas temperaturas son adquiridas después de la calibración realizada, y se pueden considerar confiables para este análisis.

En esta época del año se observa que el aislante tiene un buen desempeño pues no permite que en las temperaturas máximas rebasen las temperaturas de confort máximas.

Las líneas sinusoidales obtenidas con el aislamiento propuesto son más regulares, permitiendo un mayor numero de horas dentro de los parámetros de confort, a diferencia de las temperaturas simuladas sin el sistema aislante.

Finalmente, el comportamiento térmico con aislante se ve favorecido al tener una menor oscilación, esto permite un mejor control de temperatura al interior de la recamara 2 y finalmente el usuario es quien obtiene los mejores beneficios.

Gráfica 31. Comparativa de temperaturas entre el sistema de aislamiento propuesto y sin él en recamara 2, primavera.

9.3. Comparación con aislante vs sin aislante comedor, invierno

Como análisis adicional de decidió observa el comportamiento de la zona del comedor, ya que es la que menos radiación recibe por estar al centro de la planta baja y considerarse como la más desfavorable.

En el primer caso analizado se simuló el mes de enero, para observar el comportamiento durante el invierno en el comedor, en la Gráfica 32 se puede observar en color verde la temperatura exterior, en color azul se representa el comportamiento de la vivienda con aislante y finalmente el color rojo las temperaturas sin el sistema aislante propuesto. De igual manera que en el caso de la recamara 2 estas temperaturas son simuladas después de la calibración realizada, y se consideran válidas para el análisis.

En esta época del año se observa que el aislante mejora el comportamiento de la temperatura, ya en ningún momento desciende más de lo que se presenta en la simulación de la vivienda sin aislante.

En algunos días el comportamiento es similar con y sin aislantes, esta situación se presenta únicamente en periodo muy corto de tiempo. Sin embargo, el uso del aislante logra que en algunos días las temperaturas logren alcanzar los parámetros de confort.

Finalmente se puede observar que en la mayoría de los días la temperatura mejora significativamente. Pues las grafica demuestra un comportamiento favorable hacia la conservación del calor al interior.

9.4. Comparación con aislante vs sin aislante comedor, primavera

Para el último caso de estudio, se analizó la época de primavera durante el mes de mayo, en la Gráfica 33 se puede observar en color verde la temperatura exterior, en color azul se representa el comportamiento de la vivienda con aislante y finalmente el color rojo las temperaturas sin el sistema aislante propuesto. Al igual que los casos anteriores las simulaciones se obtuvieron después de la calibración y validación respectiva del modelo.

Como se observa en el análisis las temperaturas simuladas sin aislamiento presentan una oscilación más evidente en comparación a los datos obtenidos con aislante. En ambos casos hay periodos dentro de la zona de confort, sin embargo, hay un periodo donde se presenta sobrecalentamiento cuando no se implementa el sistema aislante propuesto.

En varios momentos se observa que las temperaturas obtenidas con el sistema aislante, se mantiene por debajo de la zona de confort, situación que es favorable ya que los momentos que se aporte carga térmica adicional difícilmente se rebasarán los parámetros óptimos de temperatura.

CONCLUSIONES, PROPUESTAS Y APORTACIONES

Conclusiones

Después del análisis realizado en esta tesis se puede concluir en primer lugar que los paneles aislantes propuestos mejoran el comportamiento térmico al interior de una vivienda ubicada en el municipio de Nicolas Romero, Estado de México, tanto en época de frío como en época de calor.

Es importante recordar que los análisis se realizaron en un prototipo de vivienda sin ocupación, otorgando no sólo un beneficio en cuestión de confort térmico sino también tienen un aporte estético inmediato sobre la apariencia de la vivienda.

Hay que considerar que el costo por mantenimiento es relativamente más bajo en comparación a una fachada que hay que pintar cada cierto periodo, además de que está pensado originalmente para viviendas que no poseen un acabado final en la fachada.

Una ventaja importante es que este sistema de aislamiento se puede implementar en cualquier tipo de fachada tenga o no un acabado previo, obteniendo el efecto de aislante térmico investigado, teniendo un efecto multifuncional.

Otra ventaja de la implementación de este sistema de paneles aislantes es el hecho de que se puede realizar en diferentes etapas, al ser elementos modulares se pueden adquirir de manera individual.

Sin perder de vista que es un sistema que se pretende comercializar por metro cuadrado y cada proyecto se realizaría con respecto a las necesidades del usuario. De tal manera que no habría sobrantes, evitando así la fabricación innecesaria de elementos o desperdicio de estos.

La opción de personalizar cada proyecto es con la intención de no fabricar dispositivos que se tengan que modificar en el sitio, haciendo énfasis en algunos elementos, tales como puertas, ventanas, esquinas interiores, esquinas exteriores o cualquier otro elemento a considerar en las fachadas.

Todo esto permitirá la correcta instalación de cada uno de estos paneles, sin necesidad de mano de obra especializada, aportando también un beneficio económico al usuario, pues el sistema está planteado como se mencionó anteriormente, para no generar desperdicios.

La versatilidad que se puede dar al acabado exterior permitirá en determinado momento generar una identidad a cada vivienda, si bien en este momento solo se proponen tres materiales, hay una gran posibilidad de configuraciones tanto en tipo de acabado como en color. Incluso se podrían combinar tipologías de materiales y así ampliar el abanico de opciones para el usuario.

Cabe también la oportunidad de personalizar las fachadas si algún cliente lo solicita, este proceso definitivamente aumentaría el costo de producción y de alguna manera se desvía del usuario pensado originalmente.

Pero los beneficios se pueden extender a cualquier tipo de edificación, principalmente a los que utilizan sistemas de climatización mecánica, reduciendo el tiempo de operación de estos, lo cual tendría no solo beneficios económicos sino también sería un ejercicio de cuidado al medio ambiente.

Después de los cálculos realizados en DesignBuilder®, se puede concluir que los efectos se pueden mejorar de diferentes maneras, si se requiere un menor efecto aislante se puede disminuir la densidad de la espuma de poliuretano. Por el contrario, si el requerimiento es aumentar el efecto aislante se puede aumentar la densidad, todo esto manteniendo el espesor de 15 cm.

Por otra parte, si el proyecto lo requiere se puede también variar el espesor de los paneles, pero en este caso solo se podría aumentar ya que las botellas más pequeñas de PET son las de 600 mL. Si bien hay botellas de presentaciones de menor volumen, estas no tienen un diámetro menor de 5 cm.

Manejando diferentes diámetros de botellas y densidades de la espuma de poliuretano el sistema se puede adaptar prácticamente a cualquier tipo de clima, o en su caso se podrá diseñar con respecto a las necesidades de aislamiento de cada edificio en particular.

Esto abre la oportunidad de implementar este sistema en edificios de uso no habitacional, de tal manera que los beneficios serían para cualquier tipo de sistema constructivo y/o actividad. En primera instancia el costo del sistema se incrementaría, pero los beneficios al medio ambiente, económicos y estéticos son evidentes.

Finalmente se considera que el concepto de reutilización de PET, la caracterización de elementos de bajo mantenimiento y la dosificación adecuada y densidad controlada de espuma de poliuretano, son las principales ventajas de este sistema. Ya que garantizan la eficiencia del mismo, lo cual le otorga la flexibilidad de adecuarse a cualquier región del país dependiendo de la necesidad específica de cada usuario o tipo de edificación.

Propuestas

Por el momento se investigaron paneles aislantes como elementos verticales y su aplicación en muros, y observando los buenos resultados del sistema, se están desarrollando propuestas para losas planas, inclinadas y techumbres de lámina.

Algunas propuestas tendrían los acabados tipo teja y enladrillado escalonado, estos elementos serían el complemento perfecto en caso de que se requiera hacer más eficiente el sistema aislante y mejorar la imagen de la vivienda al mismo tiempo.

Es importante mencionar que en su momento se pretende realizar una evaluación de mejoramiento acústico, ya que como se mencionó, los materiales termoaislantes también poseen características de aislamiento acústico, lo cual brindaría un doble beneficio. Para este ejercicio de investigación posterior se pretende utilizar toda la envolvente.

Aportaciones

La principal aportación de esta tesis es la generación de un modelo de simulación y de resultados numéricos del sistema aislante propuesto. Lo cual da sustento técnico y analítico al producto final, si bien en muchas partes del mundo se han propuesto diferentes usos al PET, dentro del campo de la construcción, como sistemas ecológicos o de bajo impacto ambiental, no se ha encontrado registro de un análisis como el que se realizó en esta tesis.

Se proyecta un nuevo uso para la botella de desecho del PET, la cual se puede reusar en su forma original simplemente dando un cambio de función, sin necesidad de someterlo a un proceso industrial adicional, lo cual permite que este tipo de iniciativas sean consideradas como amigables con el medio ambiente.

El producto final se puede considerar altamente compatible con sistemas constructivos existentes, ya que en ningún momento de su implementación modifica de manera estructural lo ya construido.

Su proceso de fabricación se considera técnicamente viable, existiendo áreas de oportunidad, como en todo proceso de industrialización, ya que se puede modificar y mejorar para hacer más eficiente su producción.

La incorporación de este elemento diseñado, analizado y evaluado asegura mejoras de confort para el usuario final, lo que se refleja en un mejor comportamiento térmico del espacio habitable.

El desarrollo de esta tesis abre la puerta a nuevas incógnitas y líneas de investigación en varios campos del diseño bioclimático, lo que permitirá generar nuevas hipótesis, las cuales pueden desarrollarse por medio de proyectos de investigación dentro del Área de Arquitectura Bioclimática, de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Así mismo pueden ser punto de partida para nuevos proyectos de integración a nivel licenciatura, además de tesis de Maestría y Doctorado del posgrado en Diseño de la División de Ciencias y Artes para el Diseño de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

Bibliografía

- Aristóteles. (2000). *Sobre el cielo (De caelo)*. (T. C. Martínez, Trad.) Madrid: Gredos.
- Cárdenas, M. I. (18 de septiembre de 2018). solo 165 municipios del país tienen un reglamento de construcción. (Y. Ordaz, Entrevistador)
- Castañón, A. F. (24 de febrero de 2018). *Mancera muestra viviendas reconstruidas en San Gregorio*. Obtenido de <https://www.elsoldemexico.com.mx:https://www.elsoldemexico.com.mx/metropoli/cdmx/mancera-muestra-viviendas-reconstruidas-en-san-gregorio-1024943.html>
- Chapman, A. (1990). *Transmisión del calor*. Madrid: Bellisco.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (19 de febrero de 2016). <https://www.gob.mx>. (F. Madrid, Productor) Recuperado el 6 de abril de 2019, de <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/unidades-de-verificacion-nom-020-ener-2011-eficiencia-energetica-en-edificaciones-envolvente-de-edificios-para-uso-habitacional?state=published>
- CONEVAL. (2018). *Estudio Diagnostico del Derecho a la Vivienda Digna y Decorosa 2018*. Ciudad de México: CONEVAL.
- Congreso Constituyente. (1917). *Constitucion Política de los Estados Unidos Mexicanos*. México: Diario Oficial de la Federación.
- Esparza, X. (02 de febrero de 2020). *Enciclopedia de los Munipios y Delegaciones de México*. Obtenido de www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15060a.html
- Gonzalo, G. E. (2015). *manual de arquitectura bioclimática y sustentable*. Tucumán: FAU.
- H. Ayuntamiento Municipio Nicolás Romero. (2011). *Atlas de riesgos naturales del municipio Nicolás Romero*. Estado de México: SIGEMA.
- H. Ayuntantamiento Municipio Nicolás Romero. (2019). *Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Nicolás Romero*. Estado de México: Secretaria de Desarrollo Urbano.
- Informacion Parlamentaria, Gaceta del Senado, Gaceta: LXI/1SPO-113/24554 (Senado de la Republica 7 de abril de 2010).
- Jenofonte. (1993). *Recuerdos de Sócrates*. (J. Zaragoza, Trad.) Madrid: Gregos.
- LeCorbusier. (1985). *Principios de urbanismo: La carta de Atenas*. BARCELONA: Planeta-Agostini.
- Legislativo, P. (1917). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. México: disponible en esta dirección: <https://www.refworld.org.es/docid/57f795a52b.html>.
- Lloyd Wriqth, F. (1932). *The Disappearing City*. New York: Startford Press. INC.
- Munari, B. (1993). *¿Cómo nacen los objetos?* (5a edición ed., Vol. I). (A. R. de Carmen, Trad.) Edo. de Méx, Naucalpan, México: ediciones G. Gili, S.A. de C.V.
- Rodríguez, K. (10 de diciembre de 2017). *Entrega De Mano a Mano 15 casas a afectados por sismo en Puebla*. Obtenido de <https://www.razon.com.mx:https://www.razon.com.mx:https://www.razon.com.mx>

<https://www.razon.com.mx/mexico/entrega-de-mano-a-mano-15-casas-a-afectados-por-sismo-en-puebla/>

- Sánchez, J. (2012). *La vivienda "social" en México*. México: Sistema Nacional de Creadores.
- SENER. (2019). *BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA*. México: Secretaria de Energía.
- Vitruvio. (1970). *Los diez libros de la Arquitectura*. (A. Blazquez, Trad.) Barcelona: Iberia.
- Humphreys, M. A. y Nicol, F. J., "Outdoor temperature and indoor thermal comfort-raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database files studies", ASHRAE Transactions, 106 (2). Atlanta, 2000, p. 485-492.
- Morillón, D. 2004, Atlas del bioclima de México, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F.
- ASHRAE, 2010. ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Atlanta: s.n.
- F. P. Incropera y D. P. De Witt: Fundamentos de Transferencia de Calor, 4a Ed, Pearson Educacion, Mexico, 2000
- Lienhard IV J.H., Lienhard V J.H., A.: A heat transfer textbook, Phlogiston Press, Cambridge, v. 1.23, 2005 (<http://web.mit.edu/lienhard/www/ahtt-esp.html>).
- Aguirrezabalaga Lopez de Eguilaz, Valentin; Prieto Gonzalez, M. M.: Transferencia de calor: problemas, Serv., Publicaciones Universidad de Oviedo, 2006
- L. Alvarez, "Poliuretano proyectado en aislamiento termico." <http://www.polypur.cl/poliuretano-proyectado-aislante.html>.
- Optimo Aislamiento, "La durabilidad del poliuretano y la durabilidad del edificio." <http://optimoaislamiento.com/poliuretano/durabilidad-del-poliuretano/>, 2015.
- P. Europe, "Aplicaciones del aislamiento con poliuretano. la solución de hoy para las necesidades del mañana." [http://www.excellence-ininsulation.eu/site/fileadmin/user_upload/PDF/library/facts/Applications for polyurethane insulation - Today s solution for tomorrow s needs - ES version 2011 .pdf](http://www.excellence-ininsulation.eu/site/fileadmin/user_upload/PDF/library/facts/Applications_for_polyurethane_insulation_-_Today_s_solution_for_tomorrow_s_needs_-_ES_version_2011.pdf), 2011.
- GypsumAssociation, "Life cycle assessment tools." <https://www.gypsum.org/stewardship/life-cycle-assessment-tools/>.
- OwensCorning, "Epd thermafiber insulation." <http://www.owenscorning.com>, 2019.
- D. Gálvez, "Edificación sustentable en México: Retos y oportunidades," 2011
- DOF, "Acuerdo que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero." [dof.gob.mx/nota to doc.php?codnota=5406149](http://dof.gob.mx/nota_to_doc.php?codnota=5406149), 2015.
- Catálogo de materiales CTE. Materiales asialantes, 2019
- <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-catalogo-informatico-elementos-constructivos>;
- Villegas, "La nmx-c-460-onncce-2009: un camino corto hacia la sustentabilidad," 2010.

- NOM-008-ENER-2001, Norma Oficial Mexicana, eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales
- <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ener/ener008.pdf>
- NOM-020-ENER-2011, Norma Oficial Mexicana, eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios para uso habitacional
- http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011
- González, J. Determinación experimenta de coeficientes de transferencia de calor para convección libre y forzada [en línea]. San Nicolás de los Garza, NL: 1998 <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020125280.pdf>
- Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018: <https://www.inegi.org.mx/programas/encevi/2018/>

Índice de imágenes

Imagen 1. Unidad Habitacional San Buenaventura Foto: Livia Corona	12
Imagen 2. Etiqueta de certificación NOM-020-ENER-2011.	16
Imagen 3. Edificio Ermita, Fuente: México en fotos, Fotos Antiguas / Distrito Federal / Ciudad de México.	21
Imagen 4. Unidad Habitacional Santa Fe del IMSS, fuente http://mediateca.inah.gob.mx/	22
Imagen 5. 19 de septiembre de 1985, Edificio Nuevo León, en la plaza de Tlatelolco.	24
Imagen 6. Edificio de alojamiento y reunión al Instituto Mexicano para el Desarrollo Comunitario (IMDEC). Desarrollado por los arquitectos del Colectivo bma en Barranca de Huentitán, Guadalajara, fuente: Colectivo bma / Francisco Martínez de	28
Patio.workshop + Pedro Bravo de BA arquitectos.	29
Imagen 7. Aeropuerto Internacional de Bahías de Huatulco.	29
Imagen 8. El Dorado Maroma, by Karisma.	29
Imagen 9. (Izq.) Casa Bru 1.25, por SoHo Architektur; Baviera, Alemania. (Centro) remodelación de apartamento, por Im y David Schafer; San Diego, California, Estados Unidos. (Der.) Studio R-1, por architecten en en; Eindhoven, Holanda.	30
Imagen 10. La Cuesta en Ecatepec. Foto: Mauricio Castillo/VICE News.	31
Imagen 11. Las familias se ubican en San Lucas Colucán; la reconstrucción de las casas duró poco más de dos meses. Foto Karen Rodríguez. Fuente: (Rodríguez, 2017).	32
Imagen 12. El Jefe de Gobierno de la Ciudad de México, Miguel Ángel Mancera, dio a conocer las viviendas que se han otorgado gracias al programa de reconstrucción tras el sismo.	33
Imagen 13. Distribución de zonas bioclimáticas. Fuente ENCEVI.	46
Imagen 14. Husos horarios establecidos para el país. Fuente CENAM.	47
Imagen 15. Aislamiento térmico en vivienda por regiones climáticas. Fuente INEGI.	47
Imagen 16. Logotipo de Reciclaje de plástico PET, Polietilentereftalato.	50
Imagen 17. Mapa de localización del municipio de Nicolás romero. Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.	55
Imagen 18. Mapa de relieve del municipio de Nicolás Romero. Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.	56
Imagen 19. Mapa edafológico del municipio de Nicolás Romero, Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.	58
Imagen 20. Mapa geológico del municipio de Nicolás Romero, Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.	59
Imagen 21. Mapa hidrológico del municipio de Nicolás Romero. Fuente: Cartas topográficas de INEGI.	61
Imagen 22. Mapa uso de suelo y vegetación del municipio de Nicolás Romero. Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.	63
Imagen 23. Mapa climático del municipio de Nicolás Romero, Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000 serie III.	65
Imagen 24. Palacio Municipal de Nicolas Romero.	93
Imagen 25. Glifo representativo del pueblo de Atzacapotzaltongo.	94
Imagen 26. Escudo del Municipio de Nicolás Romero.	95
Imagen 27. Escudo municipal de la actual administración (2019/2021).	95
Imagen 28. Composición de tabique rojo en aparejo de sogá y tizón vertical, coronado con ladrillo rojo.	100
Imagen 29. Composición de tabique rojo tipo sogá.	100
Imagen 30. Composición de muro de sillar.	101
Imagen 31. Diferentes opciones de tonalidades de sillar.	101

Imagen 32. Mampostería de piedra en color intermedio.	102
Imagen 33. Elementos de la fachaleta y elemento de mortero cemento arena.	103
Imagen 34. Botellas de PET unidas con elementos de sujeción, ahogadas en espuma de poliuretano.	104
Imagen 35. Moldes de tipología ladrillo y tabique rojo (vacío).	105
Imagen 36. Elementos de mortero cemento arena, con color integrado, conformados en moldes (lleno).	105
Imagen 37. Molde principal armado.	106
Imagen 38. Piezas prefabricadas colocadas en el molde principal.	107
Imagen 39. Capa de mortero-cemento-arena de 2.5 cm de espesor, vertida en el molde principal.	107
Imagen 40. Elemento de sujeción tipo "A", soporta y estabiliza la parte superior de la botella.	108
Imagen 41. Elemento de sujeción tipo "B", soporta y estabiliza la parte inferior de la botella.	109
Imagen 42. Las Botellas se encuentran justo a la mitad del bloque de espuma de poliuretano.	109
Imagen 43. Colocación de bloques de botellas de PET.	110
Imagen 44. Molde principal con tapa y asegurado, listo para la inyección de espuma de poliuretano.	111
Imagen 45. Molde principal sin tapa, proceso de desmoldado.	112
Imagen 46. Detalles de moldura para esquinas.	113
Imagen 47. Detalles de molduras para puertas.	113
Imagen 48. Detalles de molduras de ventanas.	114
Imagen 49. Mapa de climas de la República Mexicana según la Adaptación de Enriqueta García.	118
Imagen 50. Ubicación de la vivienda, fraccionamiento Bulevares del lago.	120
Imagen 51. Vista superior, superficie total de la vivienda.	121
Imagen 52. Vista de planta baja.	122
Imagen 53. Visa planta alta.	123
Imagen 54. Corte longitudinal.	124
Imagen 55. Fachadas de las viviendas, prototipo único. Foto: Israel Tovar.	127
Imagen 56. Configuraciones de Muros utilizados.	128
Imagen 57. Configuración de Techo utilizado.	129
Imagen 58. Configuraciones de suelos utilizados.	130
Imagen 59. Configuraciones de acristalamientos utilizados.	130
Imagen 60. Calibración de dispositivos de medición.	133
Imagen 61. Estación meteorológica HOBO U30.	136
Imagen 62. Modelado de planta baja de la vivienda seleccionada como caso de estudio.	141
Imagen 63. Modelado de la planta alta de la vivienda como caso de estudio.	142
Imagen 64. Modelado de colindancias de la vivienda como caso de estudio.	142
Imagen 65. Modelado de las edificaciones cercanas a la vivienda caso de estudio.	143
Imagen 66. Valores obtenidos en el Software OPAQUE® 3.0.	167

Índice de Diagramas

Diagrama 1. Estructura del PET. Elaborado en Programa ChemDraw® v.19.	51
Diagrama 2. Tipos de paneles según su uso, elaboración propia.	99

Índice de Tablas

Tabla 1. Características termofísicas de la fibra de vidrio. Fuente: Fernando Tudela y Uralita DB®.	40
Tabla 2. Características termofísicas de la lana mineral. Fuente: Fernando Tudela y Uralita DB®.	41
Tabla 3. Características termofísicas de la espuma de poliestireno. Fuente: Fernando Tudela y Uralita DB®.	42
Tabla 4. Características termofísicas de la espuma de poliuretano. Fuente: Fernando Tudela.	42
Tabla 5. Características termofísicas de la perlita expandida. Fuente: Rosales, Monroy.	43
Tabla 6. Tabla comparativa de materiales aislantes, elaboración propia.	44
Tabla 7. Consumo nacional de energía (Petajoules). Fuente: Sistema de Información Energética, SENER.	45
Tabla 8. Datos mensuales de temperatura.	66
Tabla 9. Datos horarios de temperatura.	67
Tabla 10. Datos mensuales de humedad relativa.	71
Tabla 11. Datos mensuales de precipitación.	77
Tabla 12. Datos mensuales para la definición del índice ombrotérmico.	74
Tabla 13. Valores mensuales de radiación total, directa y difusa.	79
Tabla 14. Valores horarios acumulados por mes de radiación total, directa y difusa, horas de exposición solar. Fuente: Normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).	80

Tabla 15. Valores horarios acumulados por mes de radiación total, directa y difusas.	80
Tabla 16. Datos climáticos para determinación de tipo de clima según Köppen-García.	84
Tabla 17. Valores mensuales de temperatura y oscilación térmica.	87
Tabla 18. Datos higrotérmicos mensuales de Nicolás Romero.	89
Tabla 19. Datos mensuales de temperatura y zona de confort.....	91
Tabla 20. Análisis de áreas. Elaboración propia.	126
Tabla 21. Ubicación de sensores por espacio.	134
Tabla 22. Propiedades termofísicas de los materiales empleados en la simulación.	137
Tabla 23. Amplitud de la zona de confort. Modificada por Morillón.....	139
Tabla 24. Datos para cálculo de las temperaturas (°C) de la zona de confort.	139
Tabla 25. Modificaciones realizadas en el proceso de calibración del modelo tridimensional digital.	149
Tabla 26. Análisis de error (%) de la temperatura de bulbo seco y humedad relativa por revisión.	151
Tabla 27. Tabla programada para la obtención del valor R y el Valor U de un sistema constructivo. Fuente de la tabla Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet. Obtención de Datos Mtro. Héctor Valerdi.	166
Tabla 28. Tabla comparativa de valores obtenidos en diferentes plataformas.	168

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Valores horarios y anuales de temperatura en el municipio Nicolás Romero.	68
Gráfica 2. Representación cromática de temperaturas mensuales y horarias.....	69
Gráfica 3. 20 de mayo, día más caluroso del año.	69
Gráfica 4. 13 de enero, día más frío del año.	70
Gráfica 5. Datos de humedad relativa.	72
Gráfica 6. Valores horarios y anuales de humedad relativa.....	73
Gráfica 7. Datos de precipitación y evaporación.....	75
Gráfica 8. Valores de precipitación pluvial (mm).	76
Gráfica 9. Periodo lluvioso y valores de temperatura media.	78
Gráfica 10. Datos de radiación solar total, directa y difusa.	79
Gráfica 11. Datos de nubosidad generados a partir del Software Meteonorm ver. 7.3®.....	81
Gráfica 12. Datos de velocidad de viento generados a partir del Software Weather tool®	82
Gráfica 13. Datos de dirección de viento generados a partir del Software Weather tool®	83
Gráfica 14. Carta psicrométrica generada en el Software Climate consultatn® a partir de archivo .epw.....	86
Gráfica 15. Oscilación térmica de Nicolás Romero.....	88
Gráfica 16. Estrategias bioclimáticas según triángulos de confort (Evans, 1967).	88
Gráfica 17. Carta bioclimática elaborada con normales climatológicas (periodo 1981-2010) (SMN-CONAGUA).....	90
Gráfica 18. Días-grado, requerimientos de calentamiento y enfriamiento.	92
Gráfica 19. Temperatura interior de la recámara 2 semana cálida.	153
Gráfica 20. Temperatura interior de la recámara 2 semana fría.	154
Gráfica 21. Temperatura Superficial Interior de losa, recámara 2, semana cálida	155
Gráfica 22. Temperatura superficial interior de losa recámara 2, semana fría.	156
Gráfica 23. Temperatura superficial exterior de losa recámara 2, semana cálida.	157
Gráfica 24. Temperatura superficial exterior de losa recámara 2, semana fría.	158
Gráfica 25. Temperatura superficial interior de muro recámara 2, semana cálida.	159
Gráfica 26. Temperatura superficial interior de muro recámara 2, semana fría.....	160
Gráfica 27. Temperatura superficial exterior de muro recámara 2, semana cálida.	161
Gráfica 28. Temperatura superficial exterior de muro recámara 2, semana fría.....	162
Gráfica 29. Factor de Decremento, Fuente Ener-Habitat®.....	168
Gráfica 30. Comparativa de temperaturas entre el sistema de aislamiento propuesto y sin él en recámara 2, invierno.....	173
Gráfica 31. Comparativa de temperaturas entre el sistema de aislamiento propuesto y sin él en recámara 2, primavera.	175
Gráfica 32. Comparativa de temperaturas entre el sistema de aislamiento propuesto y sin él, durante el invierno.....	177
Gráfica 33. Comparativa de temperaturas entre el sistema de aislamiento propuesto y sin él, durante la primavera.	179