



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
ARQUITECTURA

Facultad de Estudios Superiores Aragón

Prototipo de celosía hecha de concreto polimérico  
reciclado para fachada de vivienda unifamiliar.

Caso de estudio Cuautla Morelos.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRA EN ARQUITECTURA

En el campo de conocimiento de Tecnologías

PRESENTA:

Arquitecta Dalia Cruz Martínez

TUTORA PRINCIPAL

Maestra Perla Rafael Santa Ana Lozada  
Facultad de Arquitectura

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

Doctor Antonio Sánchez Solís  
Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM

Maestro David Franco Martínez  
Facultad de Estudios Superiores Aragón

Ciudad de Nezahualcóyotl, Estado de México, Enero  
2024





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y  
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL  
(Graduación con trabajo escrito)**

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la Institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado:

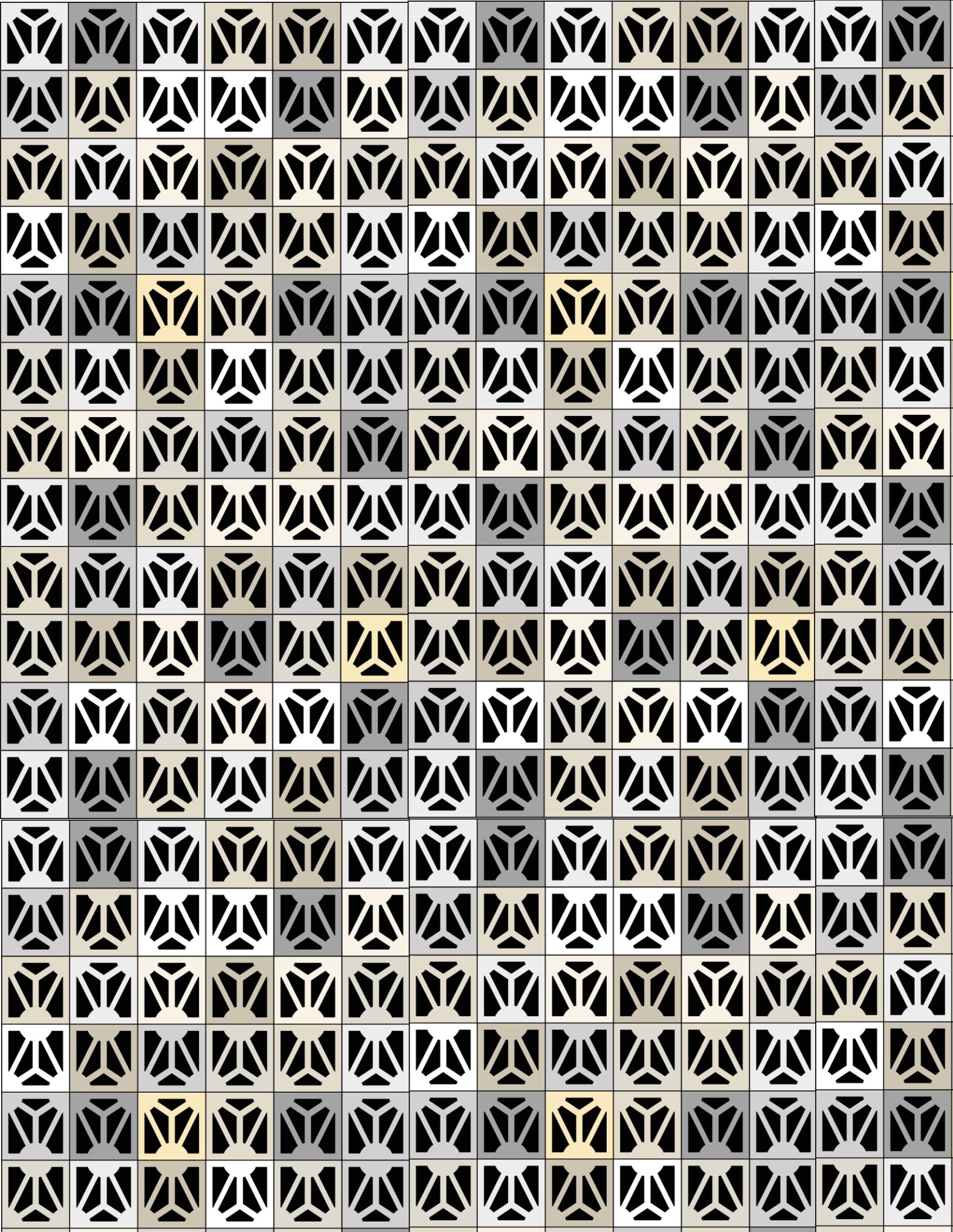
que presenté para obtener el grado de \_\_\_\_\_ es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi programa de posgrado, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

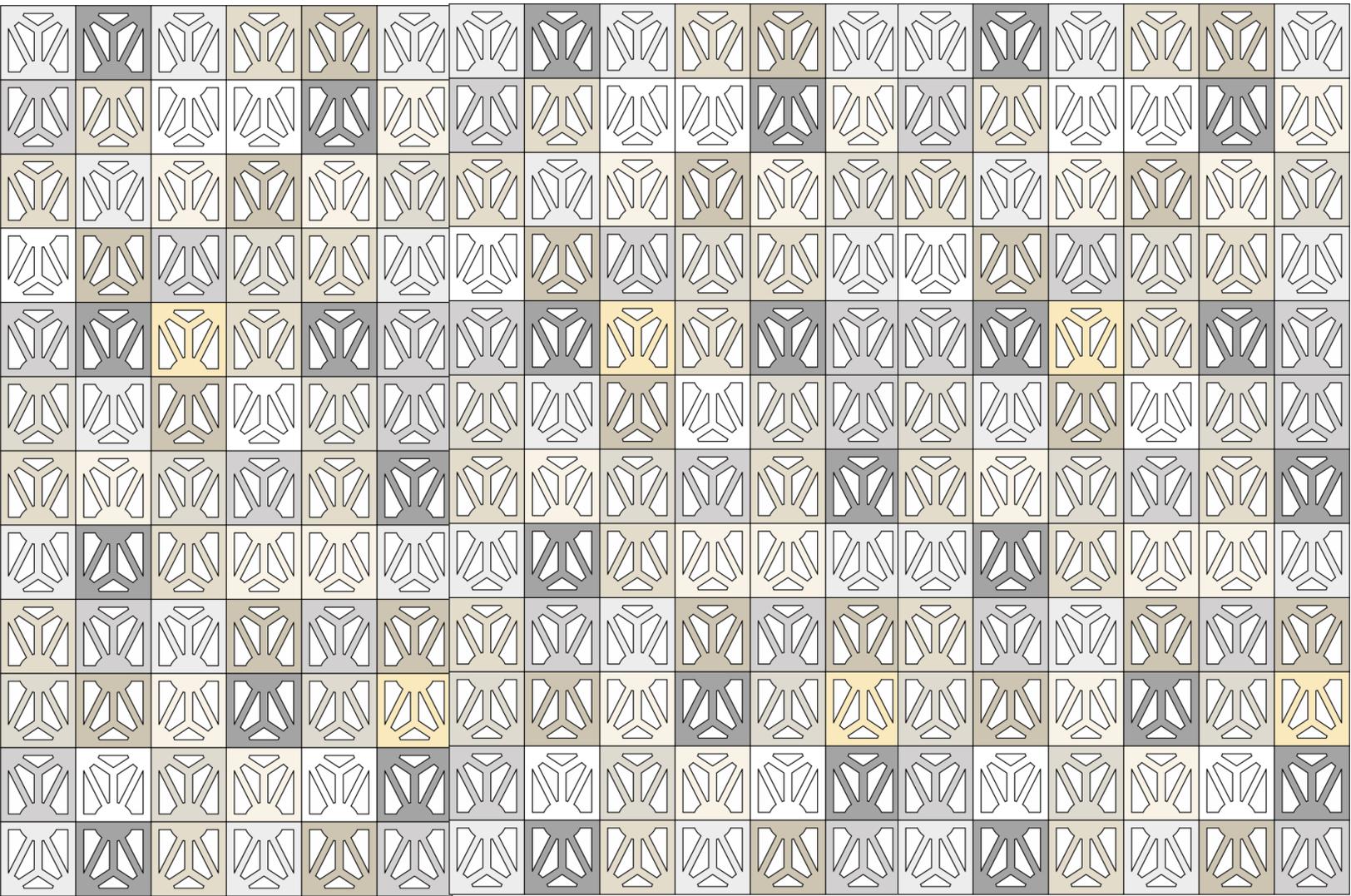
En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de graduación.

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser "D. Delgado".

**Atentamente**

**(Nombre, firma y Número de cuenta de la persona alumna)**





## **SINODALES**

**Maestra Sofía Chávez López**

**Facultad de Estudios Superiores Aragón**

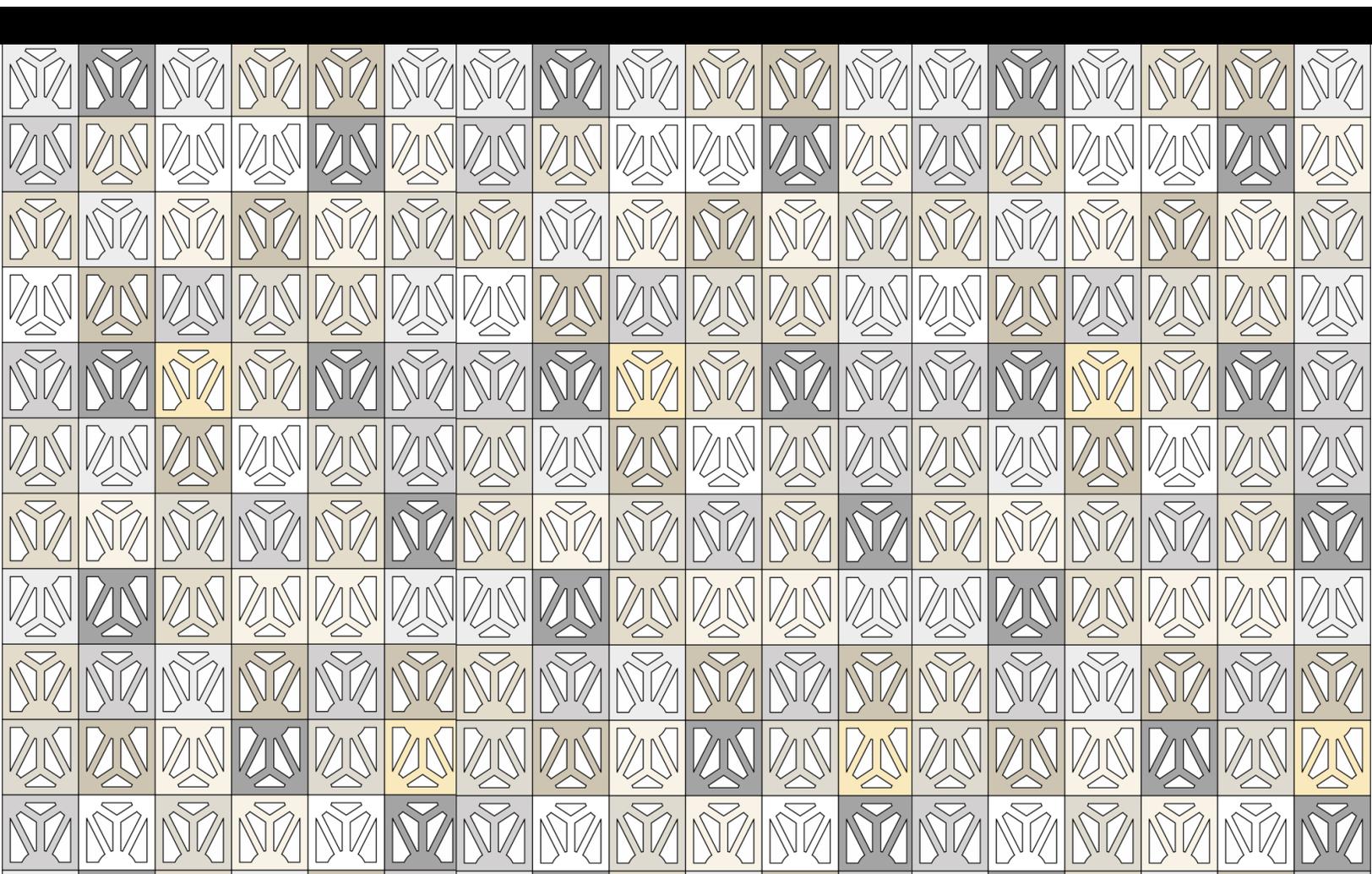
**Maestro Enrique Bonifacio Gallardo Amador**

**Facultad de Estudios Superiores Aragón**

**Prototipo de celosía hecha de concreto polimérico reciclado para fachada de vivienda unifamiliar. Caso de estudio Cautla Morelos.**

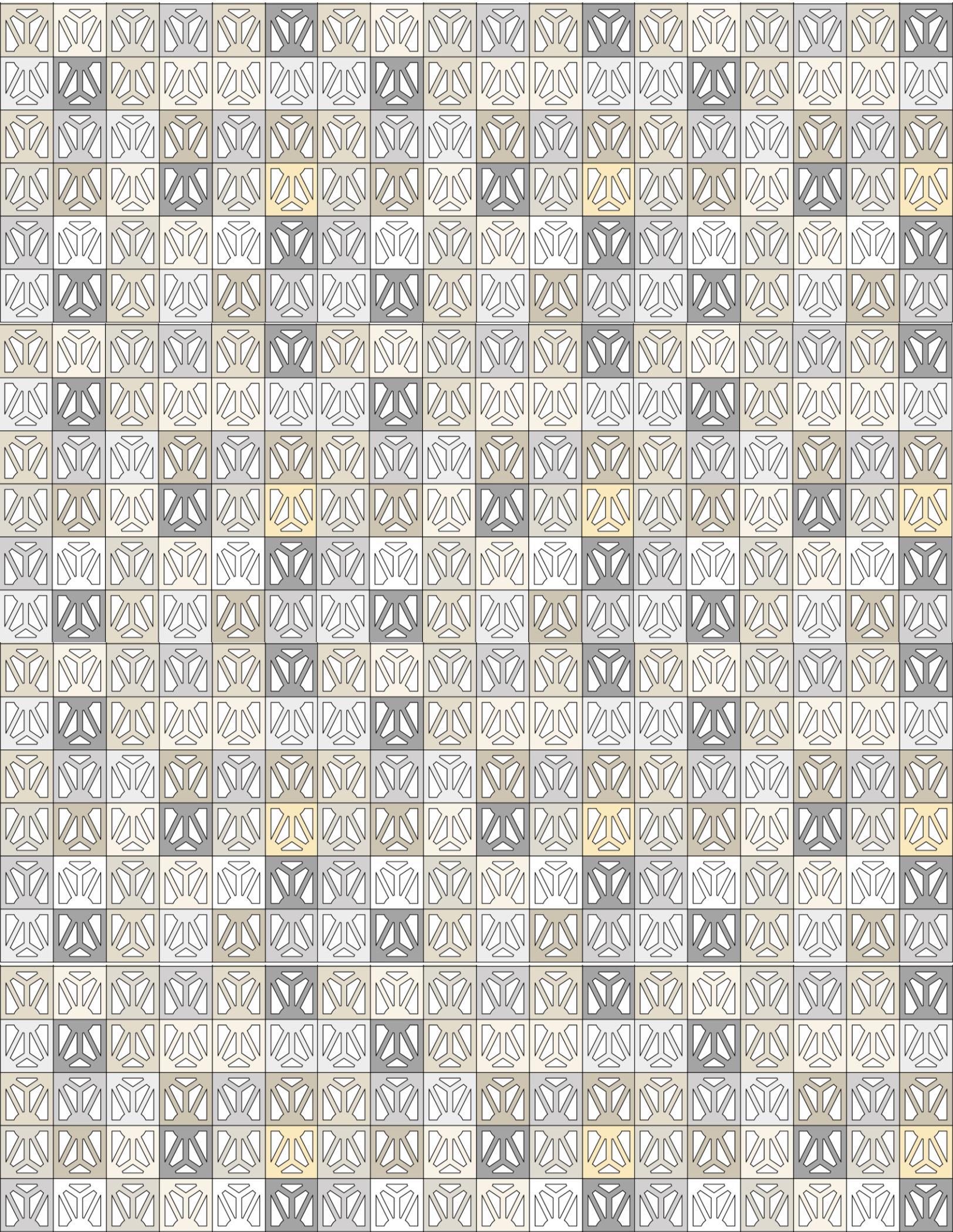
“La arquitectura es el magistral, correcto y magnífico juego de masas reunidos en la luz. Nuestros ojos están hechos para ver las formas en la luz, la luz y la sombra revelan estas formas, cubos, conos, esferas, cilindros o pirámides son las grandes formas primarias que la luz revela”.

**Le Corbusier**



(apto para oficios de autorización)

(apto para oficios de autorización)



## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia por ser el apoyo incondicional en todas las decisiones que he tomado en mi vida y por siempre estar ahí para ayudarme en las buenas y en las malas.

A mi Tutora la Maestra Perla Rafael Santa Ana Lozada quien me guió durante toda la Maestría y me hizo ser una mejor alumna siempre.

Al Doctor Antonio Sánchez Solís por abrirme las puertas del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM y enseñarme a trabajar con su resina poliéster insaturada reciclada.

Al Maestro David Franco Martínez, por darme la oportunidad de trabajar en el Centro Tecnológico de FES Aragón y poder usar su cámara adiabática que desarrollé junto con sus alumnos de dicha escuela para determinar el coeficiente de transmisión térmica ( $k$ ) del material que empleé para el desarrollo de mi tesis.

A mis maestros de Posgrado por enseñarme y aportar gran conocimiento en mi vida profesional, ellos son lo que siembran en mí la duda y me inspiran a seguir aprendiendo día con día.

A la UNAM por ser mi casa de estudios siempre con una alta calidad de conocimiento y con los mejores académicos e instituciones.

Al CONACYT por haberme dado la oportunidad de realizar mi Maestría con una beca de tiempo completo y así poder seguir preparándome profesionalmente, ya que sin este apoyo no hubiera podido realizar mis estudios como los lleve a cabo.

## ÍNDICE

---

<b>Introducción .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Capítulo 1. Panorama sobre la generación de basura a nivel mundial y nacional.....</b>	<b>16</b>
1.1 Tipos de residuos sólidos urbanos .....	20
1.1.1 Gestión integral y disposición final de residuos sólidos urbanos en México .....	21
1.2 Residuos plásticos y su reciclaje .....	24
1.2.1 Clasificación de plásticos .....	26
1.2.2 Proceso de reciclaje mecánico del PET .....	28
1.2.3 Características de un plástico reciclado .....	30
1.3 Residuos de la construcción y su reciclaje.....	35
1.3.1 Clasificación de los residuos de manejo especial .....	36
1.3.2 Proceso de reciclaje del concreto.....	38
1.3.3 Propiedades de un concreto reciclado .....	39
<b>2. Capítulo 2. Características de los materiales a emplear .....</b>	<b>42</b>
2.1 Familias de los materiales sólidos .....	44
2.2 Materiales poliméricos .....	47
2.2.1 Tipos de polímeros .....	48
2.2.2 Breve historia de los polímeros .....	49
2.2.3 ¿Qué son los plásticos? .....	50
2.2.4 Tereftalato de Polietileno (PET) .....	56
2.3 Materiales cerámicos .....	61
2.3.1 Tipos de materiales cerámicos .....	62
2.4 Materiales Compuestos.....	66
2.5 Material empleado, Concreto polimérico .....	69
2.5.1 Proceso de obtención de resina PET .....	70
2.5.2 Refuerzo granulado con agregados.....	72
2.6 Aplicaciones actuales del concreto polimérico .....	73
2.1.1 Elaboración de productos prefabricados .....	74
2.1.2 Aplicaciones en acabados y mobiliario.....	75
2.1.3 Aplicaciones en pisos.....	76
2.1.4 Propuesta del concreto polimérico con materia prima reciclada .....	77
<b>3. Capítulo 3. Propuesta de aplicación .....</b>	<b>80</b>

3.1	Características de las celosías .....	81
3.1.1	Propuesta de diseño .....	83
3.1.2	Dimensiones de la celosía .....	87
3.1.3	Elaboración de moldes.....	92
3.1.4	Inicio de trabajo con el concreto polimérico reciclado.....	98
3.2	Pruebas mecánicas.....	103
3.2.1	Resistencia a compresión de la pieza individual:.....	104
3.2.2	Resistencia a tensión diagonal:.....	114
3.3	Prueba de absorción de agua en 24 horas:.....	119
3.4	Prueba térmica.....	124
3.4.2	Simulación de fluidos .....	130
<b>4.</b>	<b>Capítulo 4. Aplicación en la zona de estudio .....</b>	<b>135</b>
4.1.2	Datos generales del proyecto arquitectónico.....	139
4.1.3	Sistema constructivo propuesto .....	144
4.1.4	Análisis térmico en el caso de estudio .....	146
4.1.5	Simulaciones en túnel de viento .....	160
<b>5.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>165</b>
<b>6.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>170</b>
<b>7.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>171</b>
<b>8.</b>	<b>Anexo 1 .....</b>	<b>176</b>

## INTRODUCCIÓN

---

En los últimos años se ha visto un incremento a nivel nacional y mundial en la generación de residuos sólidos urbanos (RSU), que son producidos en casa primeramente y resultan de la eliminación de productos empleados en las actividades diarias del ser humano. Este aumento de residuos es directamente proporcional al crecimiento poblacional al que nos vemos sometidos hoy en día, ya que hay una mayor demanda de bienes y servicios que son vitales para la vida cotidiana.

Además, se deben de disponer de vertederos en condiciones apropiadas para depositar la basura, de lo contrario serán lugares que contaminen el agua potable, ecosistemas y son objeto de propagación de infecciones y enfermedades.

Sin embargo, México enfrenta problemas sobre el correcto manejo de residuos, desde su separación oportuna hasta las condiciones de su disposición final, puesto que actualmente cuenta con el 10 % de sitios para tirar la basura de manera adecuada en el país ya que, el 65 % ya concluyó con su vida útil y el 25 % restante cuenta con una infraestructura insuficiente porque llevan más de 10 años operando de manera apropiada.

Esto quiere decir que ya no se dispone de lugares hoy en día para depositar la basura en México mientras la generación de residuos va en aumento, por lo que urgen de medidas que permitan reducir el número de desechos que llegan a estos sitios de disposición final en primera instancia.

Uno de los residuos que retomó la presente investigación para su recuperación es uno de los que más contamina a nivel nacional y global, este es el plástico en específico el tereftalato de polietileno mejor conocido como PET, puesto que es muy empleado en la industria de la alimentación y embalaje para la fabricación de envases y botellas de bebidas principalmente, sin embargo, algunos problemas de este material es que su vida útil es muy corta, ocupa un gran volumen de espacio y su degradación es muy lenta, debido a que una

botella de PET puede tardar hasta 150 años en degradarse, no obstante es un material altamente reciclable.

Por otro lado, el segundo residuo que retoma la investigación es el concreto simple reciclado, ya que la rama de la construcción es responsable de producir residuos de manera rápida y con muy pocos hábitos de recuperación ya que genera el 45% de estos a nivel global.

Los residuos producidos por la construcción son clasificados como residuos de manejo especial y resultan de la alta demanda de construcciones, demoliciones y remodelaciones en México, derivado también de la necesidad de vivienda y del crecimiento poblacional por lo que se aprobaron normas que establecen la clasificación y especificaciones del manejo integral para los residuos de la construcción y demolición en la Ciudad de México.

Es importante destacar que la mayoría del material que se produce como desecho en una obra tienen potencial de reúso y reciclaje.

Por otra parte, la falta de materiales constructivos que incorporen la producción de materiales reciclados con el fin de ser integrados a sistemas constructivos en viviendas, son fundamentales para dejar el modelo actual basado en una extracción, producción y consumo, la cual forma parte de una problemática que se presenta desde hace unos años en México y el mundo.

La demanda de los recursos naturales es cada vez mayor y se estima un incremento debido al aumento de la población por lo que la necesidad de comer, vestir, tener una vivienda y de servicios básicos como el agua y la energía eléctrica son vitales para la humanidad. Ante esto, ¿los residuos plásticos y de manejo especial de una obra podrían emplearse para la fabricación de un material y elemento para la construcción de viviendas unifamiliares?

Asimismo, se ha analizado muy poco sobre los ciclos de vida de los materiales, es decir qué pasa al terminar el uso de una botella de plástico o un muro demolido, cada persona es responsable de los residuos que genera como consecuencia de sus actividades diarias. Esto en parte se debe al sistema consumista al que se ve sometida la sociedad diariamente.

Por lo que hoy en día es fundamental responder a contextos ambientales y mirar hacia modalidades de consumo diferentes, como lo es la economía circular, cuyo objetivo es eliminar el concepto de residuo e incorporarlo a una cadena de producción, a través del reciclaje y rehúso adecuado de un desecho.

La sociedad vive bajo fenómenos lineales, donde se consume, se produce y finalmente se desecha cualquier producto que usemos en nuestra vida diaria, dentro de la arquitectura pasa lo mismo, los materiales son creados y utilizados pero pocas veces hay una reflexión sobre el desecho que se genera al finalizar la vida del material.

Para ello, la presente investigación hace una reflexión teórica sobre la recuperación de residuos como punto de partida para la propuesta de materiales de construcción en la rama de la Arquitectura.

Por tal razón, se emplearon residuos recuperados de la basura a partir de procesos de reciclaje adecuados con el objetivo de crear una celosía que es una pieza de mampostería no estructural, donde se aplicó de manera virtual en un muro exterior como fachada de una vivienda unifamiliar, en el municipio de Cuautla Morelos, con el fin de mejorar su rango de confort térmico y mitigar su consumo energético.

El material con el que se trabajó durante la investigación es un concreto polimérico, el cual es un material compuesto a partir de dos materiales reciclados, el primero es una resina poliéster insaturada obtenida de una botella de PET, esta resina fue desarrollada en el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por el Dr. Antonio Sánchez Solís. El segundo es un concreto simple reciclado como agregado granular de dicho material compuesto.

Además, se diseñó la celosía para una fachada exterior a partir de la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 que establece las características de los elementos para mampostería no estructural, como bloques, ladrillos, adoquines, tabiques y celosías.

Para llegar a esto, se llevó a cabo una metodología descriptiva – experimental, donde en el capítulo uno se muestra la problemática a la que se atiende durante la investigación a través de datos a nivel mundial y nacional sobre la generación de residuos sólidos urbanos con el fin de hacer una reflexión sobre la importancia de su reciclaje oportuno como alternativas para reducir la contaminación a partir de estos desechos y para utilizarlos como nuevos materiales dentro de la construcción.

Asimismo, se exponen los procesos de reciclaje apropiados tanto para el PET como para los residuos de la construcción y la importancia de su clasificación y separación pertinente.

Posteriormente en el capítulo dos se aborda el marco teórico sobre como los materiales responden a desarrollos tecnológicos y a una ampliación de conocimientos que parten del estudio de sus propiedades y características físicas con la intención de atender necesidades humanas, como la vivienda, vestimenta, transporte, alimentación, entre otras.

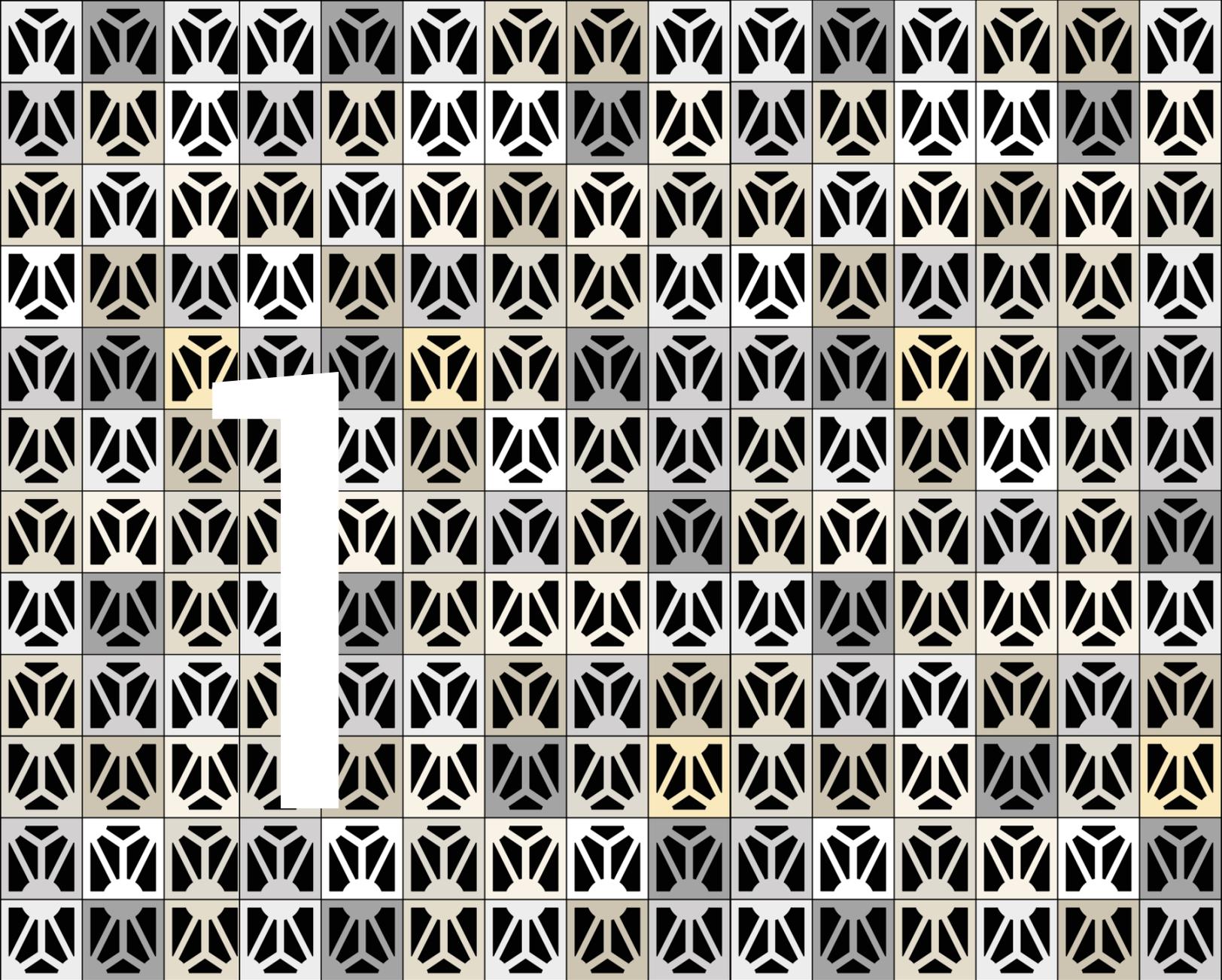
Para ello, se describen los materiales empleados con los que se trabajó durante la fase experimental, así como la familia a la que pertenecen, con el fin de identificar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Después en el capítulo tres se muestra la parte experimental de la investigación donde se describió el proceso de diseño de la celosía que se realizó desde la idea original y las modificaciones que se tuvieron que hacer de acuerdo con las normas consultadas. Posteriormente el proceso de elaboración de los moldes requeridos para poder trabajar con el material empleado, además de mostrar el proceso de elaboración de la celosía con el concreto polimérico reciclado en el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM. Una vez obtenidas diferentes piezas de celosías se procedió a realizar las pruebas mecánicas, térmicas, hidrofóbicas y simulación de fluidos que se llevaron a cabo en el laboratorio de mecánica de materiales de Ingeniería Civil y el Centro Tecnológico de FES Aragón.

Por último, en el capítulo cuatro se evaluó la celosía a partir de los resultados alcanzados en las pruebas antes mencionadas y se hizo la aplicación en la zona de estudio. Para ello, se realizó un cálculo térmico del espacio arquitectónico donde se colocó la pieza como parte de un muro exterior o fachada y se determinó el ahorro energético a partir de la propuesta del material y de la geometría.

En la presente investigación se pudo obtener resultados favorables ya que a partir de la recuperación de residuos plásticos como el PET y cerámicos como el concreto, se trabajó con un material compuesto con buen comportamiento térmico, resistente a la humedad y excelente resistencia mecánica, que sirvió para la elaboración de una celosía y coadyuvar en la reducción del consumo energético de una vivienda unifamiliar en Cuautla Morelos.

Dando paso a su aplicación de manera favorable y aprobando las normas consultadas para la elaboración hasta el momento de elementos no estructurales.



**1. CAPÍTULO 1. PANORAMA SOBRE LA GENERACIÓN DE BASURA A  
NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL**

---

Cada mañana suena una campana en la vía pública que anuncia el paso del camión de la basura, todos se preparan para sacar sus bolsas, a veces con una separación correcta y otras veces no, una vez entregada la basura al personal del camión, existe un alivio en las casas y espacios al estar libres de residuos olorosos y estorbosos.

Pocas veces las personas se preguntan qué pasa con todos esos residuos que se producen día con día y a dónde van a parar estos camiones. Sólo vivimos y deseamos lo que ya no sirve.

Para comenzar la basura se compone de residuos sólidos, líquidos<sup>1</sup> y de manejo especial, uno de los materiales que se recuperarán en la presente investigación son de tipo sólidos urbanos (RSU) estos se definen como, todos aquellos producidos en las casas habitación que “resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques” (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMANART] 2020, p. 11).

A nivel mundial conforme a la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2021) todos los años se recolecta aproximadamente 11.200 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos, esta cifra corresponde al incremento del número de pobladores en el mundo. (párr. 1)

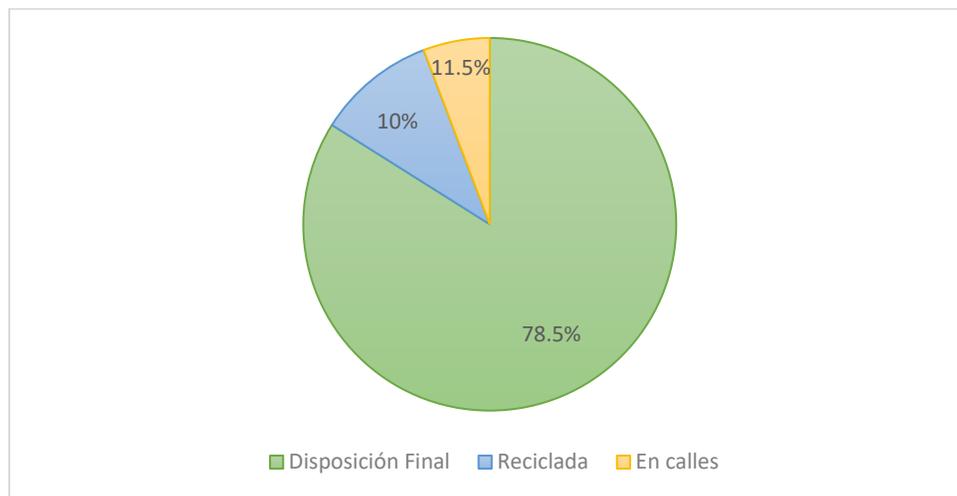
Mientras que en México durante el año 2017 se producían 102,895.00 toneladas de residuos diariamente, de estos se recogen 83.93 % y se colocan en sitios de disposición final 78.54 %, por lo que solo se recicla 9.63 % de los residuos, esta cifra es alarmante ya que menos del 10 % de la basura se recicla. (SEMANART, 2017, párr. 1).

---

<sup>1</sup> Los residuos líquidos son los que se vierten disueltos en las aguas residuales o sistema de drenaje, normalmente estos se escapan en forma de gases.

**Figura 1.1**

*Porcentaje de reciclaje de Residuos Sólidos Urbanos en México en 2017*



Nota: Se muestra el porcentaje de disposición de residuos. Fuente: elaboración propia con base en datos de SEMANART (2017) <https://acortar.link/G7ms0f>

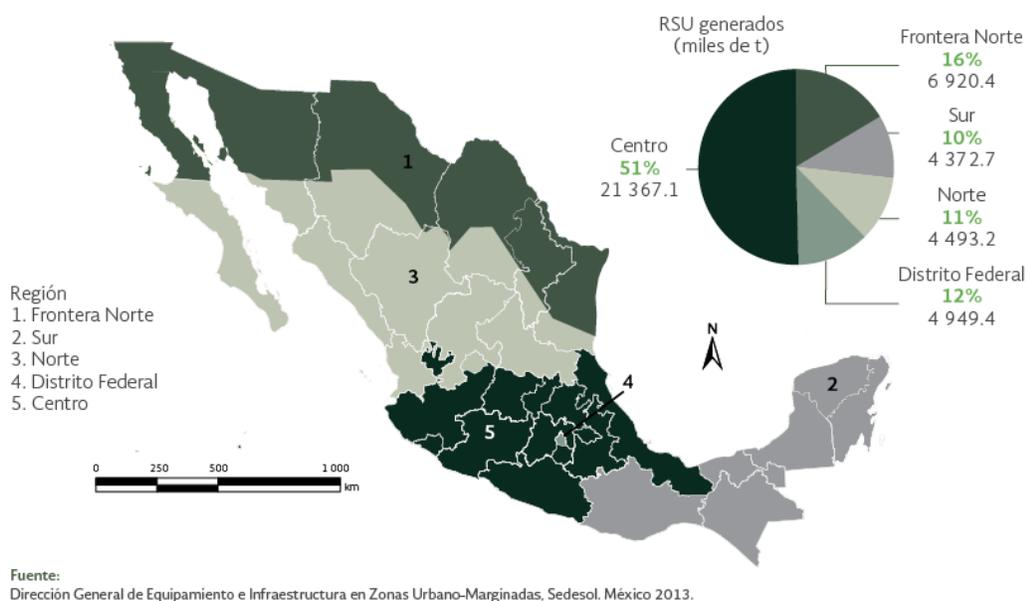
De acuerdo con estos datos se vio un aumento en la producción de RSU del 61.2 % ya que en el año 2015 se generaban 53.1 millones de toneladas, mientras que en 2003 solo 10.24 millones de toneladas. Lo que representa 1.2 kg por habitante al día (SEMANART, 2017, párr. 1).

Este aumento de residuos se puede deber a muchos factores, como el aumento de la población, al crecimiento industrial, avances tecnológicos y hábitos de consumo de los ciudadanos.

Un fenómeno para ejemplificar esto es que el número de residuos en México es proporcional al número de la población, ya que los mayores volúmenes de basura corresponden a las ciudades más grandes. Como se muestra en la figura 1.2 la región Centro generó el 51 % de los RSU, a continuación, la frontera Norte con 16.4 % y solo la Ciudad de México el 11.8 %.

Figura 1.2

*Generación de RSU por región en México, 2012.*



Nota: Se muestra como el número de generación de basura, está relacionado con el número de población. Fuente: datos obtenidos del informe de la situación del medio ambiente en México, capítulo 7, (2017) <https://acortar.link/PoeDDA>

De acuerdo con esto, el origen de los RSU “está íntimamente ligada al proceso de urbanización, ya que se reconoce que éste se acompaña por un mayor incremento del poder adquisitivo de la población que conlleva a estándares de vida con altos niveles de consumo de bienes y servicios, lo que produce un mayor volumen de residuos”. (Secretaría del Medio Ambiente, 2016, p. 437).

Así la basura es resultado de la producción y consumo de bienes y servicios, lo que se ve ligado de la misma manera a las actividades económicas que existe en las ciudades, por lo que es debido cambiar hacia modalidades de consumo diferentes a través de economías diferentes como lo es la circular.

## 1.1 TIPOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Los RSU pueden ser de naturaleza orgánica e inorgánica. Como menciona la Secretaría del Medio Ambiente (2016) “Todos ellos, en función de su composición, tasa de generación y manejo pueden tener efectos muy diversos en la población y el ambiente” (p. 438).

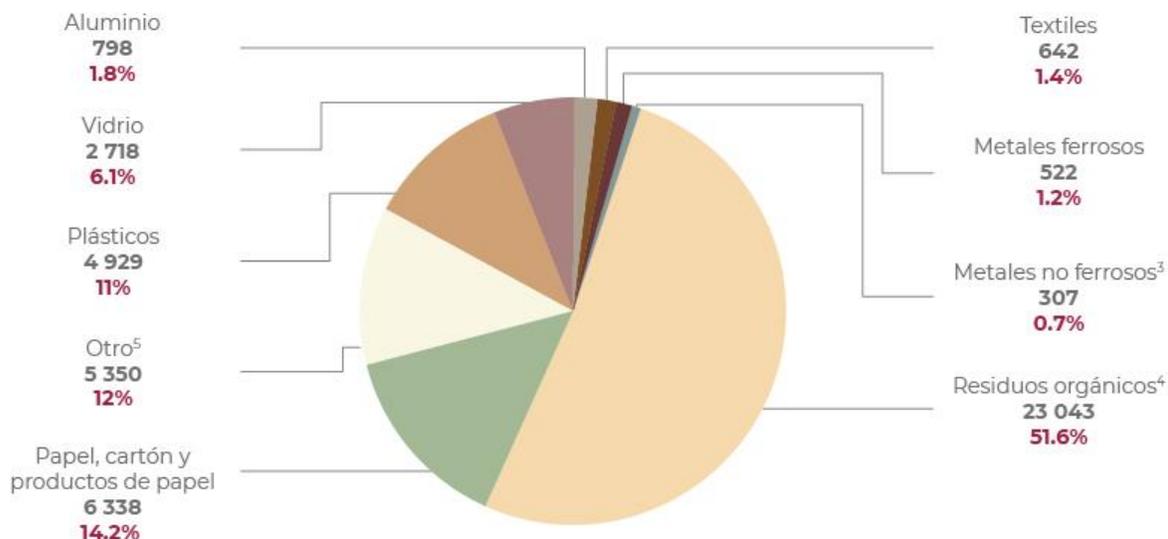
Los orgánicos son todo desecho de origen biológico, que fue parte de un ser vivo o estuvo vivo, como comida, frutas, madera, hojas, huesos, etc. y estos corresponden al 51.6 % de residuos tirados a la basura durante el 2017, datos recabados del 5to. Informe de Gobierno de la Presidencia de la República Mexicana.

Por el contrario, los inorgánicos son todos aquellos que no son de origen biológico, como el cartón, vidrio, plástico, papel, aluminio, etc. y corresponden al 49.4 % de residuos directos a la basura.

Sin embargo, el proceso de separación debería de tener más categorías, éstas de acuerdo con el tipo de material que puede recuperarse, como el vidrio, el cartón, papel, aluminio y plásticos. Cabe mencionar que esta selección se puede hacer desde casa de igual forma.

En la figura 1.3 se muestran los porcentajes de cada categoría que forma parte de los RSU en México y de los que se debería seleccionar desde casa en primera instancia.

El proceso de selección desde casa es más complejo de lo que parece, ya que cada clasificación tiene subclasificaciones, por ejemplo, los plásticos se pueden dividir en más de 5 tipos, de los cuales se hablará más adelante.

**Figura 1.3***Composición de los RSU en México, 2017.*

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente, capítulo 7 (2017) <https://acortar.link/PoeDDA>

Los plásticos son los que más residuos generan debido a su gran demanda dentro del mercado mundial, tales como botellas desechables, embalajes, platos, vasos y prácticamente cualquier objeto de uso doméstico. Por lo que su proceso de separación es complejo, aunado a una mala gestión de residuos hace difícil el procedimiento de recuperación de un material 100 % reciclable.

### *1.1.1 Gestión integral y disposición final de residuos sólidos urbanos en México*

Actualmente existe una gestión deficiente de residuos y malas condiciones de los sitios de disposición final, lo que provoca la contaminación del aire, suelos y mares. “Los vertederos abiertos e insalubres contribuyen a la contaminación del agua potable y pueden causar infecciones y transmitir enfermedades. La dispersión de escombros contamina los ecosistemas y las sustancias peligrosas de los desechos electrónicos o la basura industrial

ejercen presión sobre la salud de los habitantes urbanos y el medio ambiente” (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2021, párr. 2).

Uno de los pasos fundamentales en la gestión de los residuos es la recolección, esta etapa es un servicio público que se encarga de recolectar y trasladar hasta el lugar donde se va a tratar o disponer de toda la basura.

La importancia de la colecta es que la mayoría de los materiales con potencial de reciclaje pueden ser recuperados y tratados de manera adecuada y con ello garantizar la calidad del material en su nueva aplicación, por el contrario, si no se separan adecuadamente antes de llegar a su disposición final, estos se contaminan por estar en contacto con otros tipos de residuos disminuyendo su valor y calidad para el reciclaje.

Por otro lado, los que no se recolectan terminan en su mayoría en calles o tiraderos clandestinos, lo que ocasiona efectos negativos, como obstrucción de coladeras y con ello desencadenan problemas como inundaciones, también es muy común que la basura termine en cuerpos de agua, por lo que deriva en su contaminación al igual que la tierra.

Además de la contaminación visual que se produce a través de paisajes llenos de basura en ecosistemas y como consecuencia el origen de enfermedades importantes para la población (UN-HABITAT, 2010, p. 87).

Por último, la disposición final es el depósito permanente en sitios e instalaciones que permitan evitar su dispersión y los posibles riesgos a los ecosistemas y a la salud de la población.

En promedio ingresan 86,352.7 t/día de residuos a un sitio de disposición final (SDF) de acuerdo con datos de la Secretaría del Medio Ambiente (2017). Cabe destacar que la Ciudad de México no cuenta con SDF, pero dispone de cuatro rellenos sanitarios en el Estado de México, la Cañada, Cuautitlán, el Milagro, Naucalpan y Chicoloapan, además de uno extra en el estado de Morelos, en Cuautla (SEDEMA, 2020, p. 61).

Sin embargo, el dato más alarmante es que en México se cuenta con “2,203 lugares activos de los cuales 1,440 que equivale al 65 % ya concluyeron su vida útil, 134 tiene entre uno a cinco años de operación, 184 tienen entre seis a 10 años y 445 más de una década de operación apropiada” (Patiño, 2022, párr. 11).

El panorama se ve crítico, por un lado, la generación de residuos va en aumento y por el otro los sitios de disposición final se están acabando, por lo que urge de medidas que reduzcan el número de residuos que llegan a estos sitios de disposición final.

Ante esta situación se plantean diferentes soluciones, entre ellas la reducción de residuos en primera instancia y la recuperación de estos a través del reciclaje o reutilización de productos que así lo permitan. “El reciclaje conduce a un ahorro sustancial de recursos (...) Además, el reciclaje genera empleo: el sector emplea a 12 millones de personas solo en Brasil, China y Estados Unidos” (ONU, 2021, párr. 4).

Asimismo, en México se propone en sus planes de gestión de residuos, el reúso y el reciclaje de materiales, debido a que son fundamentales para reducir la presión sobre los ecosistemas y otras fuentes de recursos de las que se extraen. Paralelamente, disminuyen el uso de energía y de agua necesarios para su extracción y procesamiento, así como la necesidad de espacio para disponer finalmente los residuos (SEMANART, 2017, p. 439).

Por este motivo la presente investigación pretende coadyuvar en el aprovechamiento de residuos, entre ellos el PET, debido a que es uno de los más contaminantes a nivel mundial derivado de su vida útil corta y su lenta descomposición, además de usar residuos de manejo especial como ha sido clasificado el concreto y otros desechos provenientes de obras arquitectónicas, con el objetivo que estos lleguen con menor frecuencia a los sitios de disposición final.

Primero hay que analizar la materia prima con la que se va a trabajar, dónde radica su peligrosidad para el medio ambiente y su población.

## 1.2 RESIDUOS PLÁSTICOS Y SU RECICLAJE

A nivel mundial se obtuvieron muchos beneficios al utilizar el plástico ante otros materiales, gracias a su durabilidad, resistencia al impacto, ligereza, transparencia, entre otras, sin embargo, estas valiosas propiedades han llevado a un consumo desmedido del plástico de un solo uso, con consecuencias muy graves para el medio ambiente.

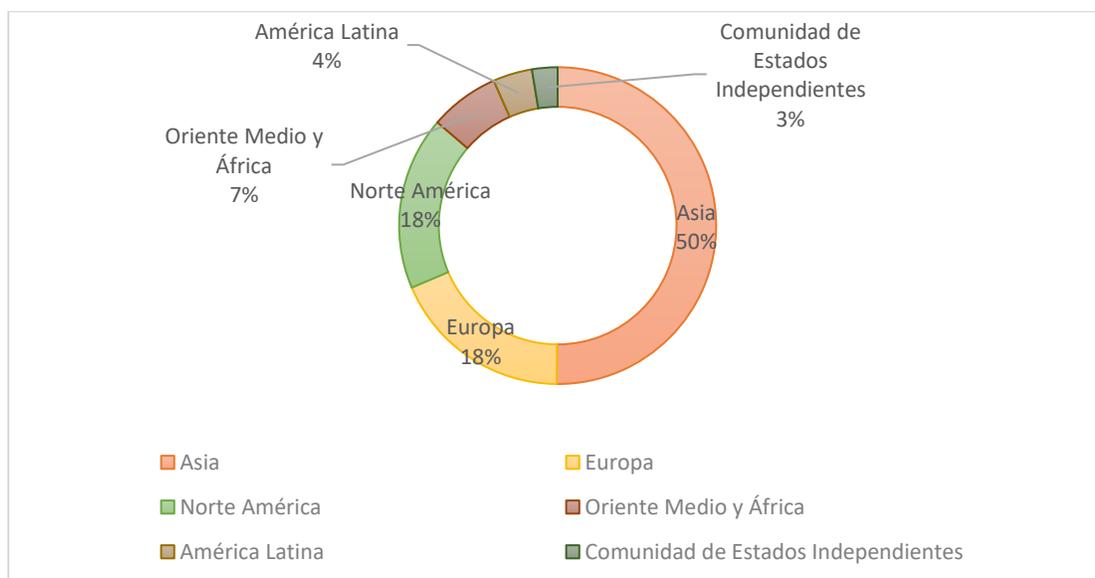
De acuerdo con el informe Plásticos the facas (2021) la producción mundial de plásticos alcanzó los 390.7 millones de toneladas y creció 6.45 % con respecto al 2018, debido a los años complicados que se desencadenaron por la pandemia de Covid-19 y no se descarta que ese porcentaje va en aumento. (p.16)

También con este informe como se citó en el panorama general de las tecnologías del reciclaje de plásticos en México y el mundo, (2020) se destacan las siguientes cifras regionales de producción: Asia con un 50.1 %, donde incluye a China como el mayor productor con el 29.4 %, Europa con 18.5%, Norteamérica, lo que comprende a Canadá, EUA y México con 17.7 %, Oriente Medio y África 7.1 %, América Latina 4 % y la Comunidad de Estados Independientes formados por las ex repúblicas soviéticas con 2.6 %, como se muestra en la figura 1.4.

Uno de los mayores problemas del plástico es que ocupa un gran volumen de espacio y su uso es muy corto, por ejemplo, las botellas de PET están diseñadas y calificadas para su uso en bebidas de agua o con gas, por lo que aproximadamente “en todo el mundo, se compran un millón de botellas de plástico cada minuto, mientras que cada año se utilizan hasta cinco billones de bolsas de plástico en todo el mundo. En total, la mitad de todo el plástico producido está diseñado para un solo uso: se usa solo una vez y luego se desecha” (ONU, 2022, párr. 2).

**Figura 1.4**

*Proporciones de producción de plástico a nivel mundial.*



Fuente: elaboración propia con base en datos de Panorama general de las tecnologías del reciclaje de plásticos en México y el mundo (2020)

Toda esta producción creció a partir de la década de los setentas ya que de 1950 a 1970 se producía una cantidad menor de plásticos, por lo que los residuos que se obtenían eran fáciles de controlar, sin embargo, a partir de 1990 esta producción se triplicó con respecto a las 2 décadas anteriores.

De acuerdo con la ONU (2022) “entre 1950 y 2017, aproximadamente 7.000 millones de los 9.200 millones de toneladas de plástico producido se convirtieron en residuos plásticos, tres cuartas partes de los cuales se desecharon y depositaron en vertederos” (párr.9).

Dado que se prevé que la producción mundial de plástico primario alcance los 34 000 millones de toneladas para 2050, ahora nos enfrentamos a dos cuestiones urgentes: cómo reducir el volumen de flujos de desechos no controlados o mal gestionados que van al océano y cómo aumentar el nivel de reciclaje. (ONU, 2022, párr.11)

En México del mismo modo se produce una gran cantidad de plásticos, conforme con un estudio realizado por Greenpeace en colaboración con el Centro para la Diversidad Biológica, Barco Las, la Universidad Autónoma de Baja California Sur, el laboratorio de biodiversidad, Conservación Arrecifal de la UNAM, el Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana (2019), mencionan “en México se producen más de siete millones de toneladas de plástico al año; el 48 % se destina a envases y embalajes. Muchos de ellos son reciclables, pero no necesariamente terminarán siéndolo, pues la capacidad real de reciclaje del total de residuos valorizables en el país apenas llega al 6.07 %” (p.9).

Además, este estudio comprobó el gran impacto de los microplásticos, que son plásticos de un tamaño muy pequeño (menores a 5 mm) en peces de importancia comercial en el Golfo de California, el Golfo de México y el Caribe Mexicano.

Ante esta situación se plantean diferentes alternativas, entre ellas la reducción y la recuperación de estos a través de la reutilización y reciclaje en productos que así lo permitan. Por lo que el reciclaje ayudará a reducir la presión que se ejerce actualmente a los recursos naturales, además de brindar empleos.

### *1.2.1 Clasificación de plásticos*

Para lograr reutilizar estos desechos, primero deben ser separados para facilitar su proceso de reciclaje, esto como resultado de programas de recuperación desde la década de los ochentas, por lo que se vio la necesidad de poner códigos que ayudarán a identificar el tipo de plástico de manera fácil y rápida.

Así para el año de 1988 “la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI, por sus siglas en inglés), en Estados Unidos desarrolló el Código de Identificación de Resinas para favorecer el reciclaje en ese país. (...) En México, este código ha sido adoptado (SEMANART & INECC, 2020, P.37).

De acuerdo con el código de la Sociedad de la Industria del Plástico (SPI) se clasifican 7 categorías, donde la separación depende del tipo de resina y es importante reconocer el tipo de plástico para poder facilitar el proceso de reciclaje, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 1.5**

*Códigos de identificación de los plásticos*

						
PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER
						
Polyethylene Terephthalate	High Density Polyethylene	Polyvinyl Chloride	Low Density Polyethylene	Polypropylene	Polystyrene	Other

Fuente: *Humanidad y medio* (2020) <https://acortar.link/qFLt4A>

La presente investigación trabajará con una resina poliéster insaturada obtenida de una botella de Tereftalato de Polietileno (PET) el cual corresponde al número uno dentro de esta clasificación.

Este plástico se utiliza principalmente en la producción de botellas de agua, una vez reciclado este material se obtiene principalmente fibras para relleno de almohadas, alfombras, cuerdas y textiles para ropa.

Esta clasificación va ayudar a la población de manera rápida a identificar el tipo de resina que se desecha, para separarla desde casa en primera instancia y posteriormente recolectarse por el camión o personal de limpieza para dirigirse a la planta de reciclaje apropiada donde llevará una técnica específica para poder reprocesar dicho material.

Para ello se requieren de máquinas calificadas como extrusoras e ingenieros químicos o personal con experiencia que están capacitados para realizar diferentes procesos de reciclaje.

### *1.2.2 Proceso de reciclaje mecánico del PET*

Existen diferentes métodos para reciclar un producto plástico, sin embargo, para obtener la resina poliéster con la que se va a trabajar se utiliza un reciclaje químico, pero antes se lleva a cabo un reciclaje mecánico, este último es el más común y utilizado en México, además se tuvo la oportunidad de asistir a un recorrido virtual en la planta recicladora más grande de Latinoamérica y se encuentra en la Ciudad de México y el Estado de México, bajo el nombre de PetStar, esta planta es pionera en reciclaje de PET y su proceso se resume en 6 pasos como se muestra en la figura 1.4.

Primero es la recolección, aquí se reciben todas las pacas de PET que son enviadas desde las plantas de acopio, una vez llegado el PET a la planta, se coloca en bandas transportadoras para iniciar un prelavado del material.

**Figura 1.6**

*Etapas de reciclaje*



Fuente: Elaboración propia, Dalia Cruz Martínez (2022)

Posteriormente se pasa a un área de detección, donde se separará por tipo de material y colores. Una vez separados algunos materiales incompatibles se ingresa la botella a un molino donde se tritura y se obtienen las hojuelas de PET, como se muestra en la figura 1.7.

**Figura 1.7**

*Hojuelas de PET*



Fuente: *Tecnología del plástico* (2018) <https://acortar.link/T5T6Ht>

Sin embargo, las hojuelas pasan por una tina de flotado para separar el material de las tapas y etiquetas a través de un proceso de densidad, donde estas hojuelas al ser más ligeras flotan, mientras que las hojuelas de la botella se hundirán, al mismo tiempo que se vuelven a lavar.

Las hojuelas productos de las tapas y etiquetas, también se aprovecharán para fabricar diferentes aplicaciones, como cajas de refresco o sillas.

Posteriormente las hojuelas de PET entrarán a un proceso de extrusión donde se calientan aproximadamente a 207 °C y se plastifican hasta obtener hilos de esta mezcla, después se enfrían y se cortan en pequeños pellets, que es una forma granular como se muestra en la siguiente figura. Estos serán utilizados en un nuevo proceso de producción,

pero si se requiere para grado alimentario se tendrá que someter a otros procesos más estrictos.

**Figura 1.8**

*Pellets de PET*



Fuente: *Magazine Plástico* (2019) <https://acortar.link/xed6JR>

Por otro lado, para aplicaciones en la rama de la construcción, es importante conocer las características de un plástico una vez que ya pasó por un proceso de reciclaje, debido a que las propiedades de éste se modifican y evidentemente los resultados mecánicos del material también resultan diferentes a los esperados, sin embargo, esto se verá a continuación.

### *1.2.3 Características de un plástico reciclado*

Una vez que se realizó un proceso de reciclaje mecánico al PET se van a presentar cambios en la estructura del material, además hay que considerar que estos no están hechos solo de polímeros, sino también se componen de colorantes, aditivos, plastificantes, etc. Dicho material lo hace de los más calificados para tener una gran diversidad de aplicaciones, sin embargo, esto hace que su reciclaje sea más complejo de lo que parece.

Las características de un plástico reciclado van a variar a las de un plástico virgen y estas van a depender de muchos factores, entre ellos; el tipo de resina, el proceso que se lleve a cabo para reciclarlo, el número de veces que se ha reciclado anteriormente, lo que está

directamente relacionado con la degradación térmica que sufrió el material previamente, al ser sometido a elevadas temperaturas.

Además, los plásticos cambian según la exposición a térmicos, mecánicos, oxidativos y procesos fotoquímicos de degradación. Idealmente, para producir productos de alta calidad debe determinarse si el material es puro o mezclado y si está contaminado, por ejemplo, con metal o madera.

Asimismo, la densidad del material se ve modificada y esta característica es muy importante para facilitar la alimentación en las máquinas de procesamiento ya sea de moldeo por inyección, extrusión o soplado, además que el tamaño y la forma del triturado debe ser adecuada. Si el material es higroscópico (absorbe agua), por ejemplo, puede requerir un secado previo (Goodship, 2007).

Por lo que el reciclaje de los plásticos es muy estricto dentro de la industria alimentaria, debido a que se deben cumplir requisitos sanitarios para garantizar que ningún contaminante pueda migrar a la superficie del producto. De manera que se abre la posibilidad para emplearlos en otras ramas como la construcción.

#### *1.2.3.1 Cambios físicos y químicos del plástico reciclado*

Una vez reciclado el plástico sus propiedades mecánicas se verán modificadas, por un lado, su composición química es susceptible a daños por la influencia del medio ambiente, por ejemplo, la acción de la luz solar o rayos UV, el calor, la humedad, el frío, etc. Por lo que pueden adquirir un color amarillento con el paso del tiempo.

Hay dos procesos que modifican las propiedades físicas y químicas al reciclar un plástico, una producida por los efectos del calor sobre el polímero al someterlos a temperaturas elevadas y como resultado una degradación química, “debida al daño molecular en forma de escisión de cadena, reticulación o la formación de una serie de dobles enlaces” (Goodship, 2007).

Y la segunda son los efectos del “cizallamiento” a la que se ven sometidos los plásticos en procesos de reciclaje mecánico principalmente. “El cizallamiento es un tipo de fuerza que implica ejercer una tensión a través de la superficie del polímero, mientras que, en efecto, la base del polímero está intacta” (Goodship, 2007, p.30).

Esta acción se realiza por los molinos al triturar el polímero y obtener las hojuelas de los plásticos. Como consecuencia de esta fuerza, se provocan daños y roturas en las cadenas del polímero, por lo que conduce a una degradación.

Por esos motivos los plásticos se habrán degradado en cierta medida, en comparación con su uso original. Sin embargo, para ello se emplean aditivos comunes que ayudan a inhibir estas reacciones, por lo que el nivel de degradación dependerá del tipo de polímero, choques térmicos y de cizallamiento sobre su estado original (Goodship, 2007, p.32).

De acuerdo con esto, una buena estabilidad térmica es un requisito para la mayoría de las operaciones de procesamiento de polímeros, como la acción combinada de calor y el cizallamiento puede producir degradación.

Al hablar químicamente el efecto de esto, es la rotura de la cadena y la longitud de la cadena está relacionada con el peso molecular y este a su vez afecta las propiedades del plástico.

Por lo tanto, cualquier cambio en la longitud de la cadena afectará:

- Peso molecular y viscosidad.
- Propiedades de tracción e impacto.

El calor y el cizallamiento combinados también pueden resultar en: Cambio de color, es decir se presenta una decoloración amarilla o marrón. (Goodship, 2007, p.32).

Cabe destacar que las variaciones en sus propiedades pueden ser no aptas al hablar de un reprocesamiento para la industria alimentaria, por lo que se analiza la importancia de la aplicación de los plásticos reciclados para fines distintos.

La forma en que esto afecta las propiedades del material dependerá de la respuesta específica del mismo, cada vez que sufre degradación en procesos y cómo se mezcla en el triturado, por ejemplo, con un nuevo material.

### 1.2.3.2 Importancia de su clasificación oportuna

Uno de los mayores retos para el reciclaje es que todos los plásticos no son compatibles a la hora de mezclarlos, a estas combinaciones se les conocen como inmiscibles o incompatibles, lo que conduce a un deterioro del rendimiento mecánico. En la siguiente tabla se muestra como todos los plásticos al mezclarlos con otros son incompatibles.

**Figura 1.9**

#### *Guía de compatibilidad entre plásticos*

Polímero	PS	PA	PC	PVC	PP	LDPE	HDPE	PET
Poliestireno	Y							
Poliamida	N	Y						
Policarbonato	N	N	Y					
Cloruro de Polivinilo	N	N	N	Y				
Polipropileno	N	N	N	N	Y			
PE de baja densidad	N	N	N	N	N	Y		
PE de alta densidad	N	N	N	N	N	N	Y	
Polietileno Tereftalato	N	N	N	N	N	N	N	Y
Y= miscible N= Inmiscible								

Fuente: Introduction to Plastics Recycling Second Edition Introduction to Plastics Recycling (2007, p. 43.)

Por eso la importancia de separar previamente los plásticos, ya que las propiedades de los nuevos productos donde se reciclen serán mejores. Por lo tanto, para reprocesar materiales reciclados y conservar buenas propiedades para un nuevo producto, necesitamos materiales bien clasificados en lugar de una mezcla de varios plásticos inmiscibles (Goodship, 2007,p.41).

Por otro lado, muchos de los problemas asociados con el reciclaje de plásticos se acentúan en la degradación del material como resultado del calor y el cizallamiento, como se mencionó anteriormente.

Además, los plásticos tienen diferentes puntos de fusión y diferentes temperaturas para el inicio de la degradación térmica. Por lo que se requiere una buena dispersión y homogeneidad en las combinaciones propuestas.

Debido a esto, es importante tener una clasificación adecuada de los plásticos y coadyuvar en la calidad de este material en sus futuras aplicaciones, ya que “un criterio importante para un procesamiento de alta calidad es la homogeneidad del material. Cuando los reciclados son mezclas de diferente viscosidad y color, es importante que se mezclen adecuadamente para formar un material coherente”(Goodship, 2007, p.42).

Para lograr esto actualmente existen tornillos homogeneizadores especiales para procesar equipo, estos mejoran tanto el producto, como la calidad y reproducibilidad.

Una vez lograda la homogeneidad con los reciclados, especialmente en los materiales mixtos, la tecnología de procesamiento de plásticos todavía tiene una forma de desarrollarse. Esto significa que el control de calidad de los materiales reciclados es tan necesario como el material virgen.

### 1.3 RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y SU RECICLAJE

Por otro lado, la presente investigación se encargará de usar residuos producidos en las obras, debido a que la rama de la construcción es responsable de producir residuos sólidos de manera rápida y con muy pocos hábitos de recuperación.

Este sector consume un gran número de energía con un porcentaje del 36 % a nivel global, del 40 % de emisiones de CO<sub>2</sub> y del 45 % de generación de residuos. (*Instituto de Tecnología de la Construcción, 2022, párr.1*).

De acuerdo con el documental Ciudad 2030 (NESIFORUM,2019, min.11) la rama de la construcción debe ser descarbonizada, puesto que esta genera casi el 40 % de emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel global. Esto se debe a dos puntos importantes, el primero; a la energía que gasta el edificio durante su vida y el segundo la cantidad de energía que gastan en construir ese edificio.

El origen de los residuos sólidos en la construcción se deriva en parte a la demanda actual de construcciones nuevas, tanto del sector público como del privado, de acuerdo con (S. del M. A. SEDEMA, 2021) y su Programa de Gestión Integral de residuos para la Ciudad de México (PGIR) 2019–2025, “se estima que los residuos procedentes de la construcción y la demolición (RCD) proporcionan la más alta generación de residuos de manejo especial en la Ciudad de México, debido principalmente al crecimiento de la población y desarrollo urbano; lo que se genera aproximadamente 13,982.73 ton/año proveniente de obras públicas” (p.33).

Por otro lado, en la Ciudad de México también se presentan remodelaciones, demoliciones y obras nuevas, derivadas de las afectaciones por los sismos de los últimos años y de la renovación normal de la arquitectura.

Por lo que se aprobó la Norma NACDMX-007-RNAT-2019, la cual establece la clasificación y especificaciones de manejo integral para los residuos de la construcción y

demolición en la Ciudad de México (2021) esta norma menciona que, “1,506 edificaciones nuevas a consecuencia del sismo del 19 de septiembre del 2017, y por lo menos 4,757 edificaciones que están en espera de ser demolidas por el alto riesgo de colapso, las que representan un problema ambiental que es necesario atender de manera prioritaria, considerando acciones tendientes al aprovechamiento de estos residuos de manera integral y sustentable” (p.1).

Estos desechos están clasificados como residuos de manejo especial, de acuerdo con la Ley de residuos sólidos del Distrito Federal, por lo que al día se generan 625.27 toneladas de residuos de manejo especial (RME).

Además, el Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México (2019) menciona que durante ese año se presentaron ante la Secretaría un total de 659 Planes de Manejo, con un reporte de generación de 149, 468.29 m<sup>3</sup> por año de residuos de la construcción y demolición, además de otros 250,929.27 m<sup>3</sup> por año de residuos de la construcción reciclados.

Es importante destacar que la mayoría del material que se produce como desecho en una obra tienen potencial de reuso y reciclaje, por lo que el Gobierno de la Ciudad de México aprobó dicha norma, puesto que es fundamental hoy en día reciclar los desechos generados por la construcción.

### *1.3.1 Clasificación de los residuos de manejo especial*

Para reciclar este tipo de residuos al igual que los plásticos, se tienen que separar para facilitar el proceso de recuperación de dichos materiales.

De acuerdo con la Norma NACDMX-007-RNAT-2019, establece la clasificación y especificaciones de manejo integral para los residuos de la construcción y demolición en la Ciudad de México (2021) donde presenta una tabla para separar estos residuos de acuerdo con el tipo de material. Su clasificación se muestra en la figura 1.10.

Figura 1.10

*Clasificación de residuos de construcción y demolición*

<b>Categorías</b>	<b>Residuos</b>
A) Concreto simple	Concreto de elementos prefabricados Concreto de elementos estructurales y no estructurales Sobrantes de concreto (Sin elementos metálicos)
B) Concreto armado	Elementos de concreto armado prefabricados y colados en obra
C) Metales	Residuos metálicos como: - Acero de refuerzo - Metales ferrosos - Metales no Ferrosos (aluminio, cobre, etc.)
D) Mamposterías con recubrimiento	Residuos de mampostería y pétreos con recubrimiento y mortero de juntas, como: blocks, tabicones, adoquines, block cerámico, prefabricados de arcilla recocida (tabiques, ladrillos, tejas, etc.), muros de piedra braza, etc.
E) Pétreos	Materiales pétreos sin recubrimientos o sin juntas de mortero
F) Mezcla Asfáltica	Provenientes de bases asfálticas o negras
G) Excavaciones	Suelos no contaminados y materiales arcillosos, granulares y pétreos naturales
H) Elementos prefabricados con elementos mixtos	Paneles y sistemas prefabricados conformados por materiales mixtos (como panel de yeso, panel de tabla cemento y otros paneles en general)
I) Otros residuos de manejo especial generados en la obra	Residuos con tratamiento y manejo especial, listados de manera enunciativa y no limitativamente: - Residuos de instalaciones eléctricas, residuos electrónicos, lámparas, balastras y baterías - Llantas - Textiles - Madera - Lodos bentoníticos - Unicel

Fuente: Tabla obtenida de la Norma NACDMX-007-RNAT-2019 (2021)

<https://acortar.link/tmPDCC>

Primero, estos residuos deben de seleccionarse desde la obra de origen, a través de una separación manual que ayudará en las siguientes etapas de su recuperación. Para posteriormente repartirse a los sitios autorizados por las autoridades ambientales.

Hay otros residuos que puede no se especifique en dicha tabla, sin embargo, se recomienda clasificar a el material con mayor similitud en cuanto a sus familias o características físicas.

### *1.3.2 Proceso de reciclaje del concreto*

El concreto es uno de los materiales más demandados en la rama de la construcción, sin embargo, su producción es uno de los más contaminantes de la atmósfera, debido a que emite casi el 8 % de todas las emisiones globales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Rodgers, 2018, párr.3).

Por lo que su reciclaje es fundamental para avanzar hacia modalidades diferentes como lo es la economía circular y coadyuvar así en la presión que se ejerce actualmente sobre los recursos naturales.

Los agregados con los que se va a trabajar son granulados tipo grava y se obtendrán de la empresa ACCUBO S.A. de C.V. que es una planta de reciclaje ubicada en la alcaldía Iztapalapa, pero no se pudo tener acceso a su proceso de reciclaje, sin embargo, se tuvo la oportunidad de conocer el proceso de reciclaje a través de la planta Concretos Recicladados fundada en el año 2004, ubicada igualmente en la alcaldía Iztapalapa.

El reciclaje del concreto es muy similar al proceso de reciclaje de un plástico, pero se constituye de 3 etapas principales.

La primera es de recepción y almacenamiento; en esta etapa se presenta la llegada de los materiales aptos para dicho proceso, estos materiales deben estar libres de papel, cartón, plásticos, maderas que puedan afectar la calidad de los productos finales, esta etapa se hace mediante una pepena.

Posteriormente se resguarda el material en 4 almacenes importantes;

- Almacén de concreto simple o armado
- Almacén de materiales mezclados, morteros, cerámicos, tabiques y mamposterías
- Almacén de fresado de carpeta asfáltica
- Almacén de arcillas y arenas producto de excavaciones

Posteriormente se entra al proceso de trituración, durante esta segunda fase se retiran materiales ferrosos a través de electroimanes gigantes, que ayudarán a separar los metales de los concretos o materiales a reciclar.

También en esta etapa se reduce el tamaño del material hasta 3" aproximadamente, si se requiere de un menor tamaño, se puede volver a repetir la trituración hasta lograr el tamaño deseado.

Finalmente, la tercera etapa consta de una clasificación final y esta corresponde a la granulometría obtenida, la cual corresponde a dos productos importantes, uno es el material de residuo proveniente de concreto hidráulico, el cual se compone por residuos resultantes de la demolición de casas, banquetas, sobrantes de concreto de obras, etc.

El segundo material conocido como residuo mezclado o "todo en uno" que está formado por residuos cerámicos, como yeso, adoquines, tabiques rojos, entre otros. (Santillán, 2019).

En general el reciclaje de concreto es un hecho, aunque no es fácil, ya que una vez reciclado se recomienda fabricar piezas con buenas resistencias a las cargas y para usos nobles, ya que "Alrededor del 60 % de lo que se tritura puede utilizarse para procesos de *downcycling* o infrarreciclaje (recuperación de materiales con una gama de usos más limitada que el material original)"(Souza, 2020, párr.5).

### *1.3.3 Propiedades de un concreto reciclado*

Para elaborar un concreto con buenas propiedades mecánicas es un proceso que depende de muchas variables, como la calidad y cantidad del cemento, el agua, los agregados gruesos y agregados finos, además de las condiciones en las que fue trabajado y aplicado junto con variables climáticas que aúnan a una deshidratación o saturación de agua de la mezcla. Si se requirieron de aditivos especiales para mejorar alguna propiedad etc.

Por lo que el reciclaje de un concreto se vuelve mucho más complejo de lo que parece ya que se tiene que considerar la calidad del concreto que se va a reciclar para obtener buenas

propiedades mecánicas, sin embargo, éstas no serán iguales ni superiores a las de un concreto normal.

Existen muchos estudios sobre el reciclaje del concreto, donde se ha concluido utilizarlo como agregado grueso y no como un sustituyente de cemento-pasta, por lo que su aplicación sería solamente como agregado reciclado (AR) esto ayuda de alguna forma no solo a aprovechar desechos de obras y demoliciones, sino a reducir la cantidad de agregados naturales como grava y arena, extraídos anualmente.

Por otro lado las propiedades mecánicas del concreto reciclado se ven directamente modificadas si se compara con un concreto normal, por ejemplo la resistencia a la compresión<sup>2</sup> que es la propiedad más importante de este material, disminuye en concretos con agregados reciclados donde se utilizó la misma relación agua- cemento (Vidaud & Vidaud, 2015, p.24).

Esta resistencia disminuirá proporcionalmente conforme aumente la cantidad de AR empleado en la mezcla, por ejemplo de acuerdo con el Ingeniero Vidaud (2015) si se incorpora el 100 % de agregado grueso la resistencia disminuirá entre un 20 %-30 %, mientras que si se sustituye menos del 50 % de AR la resistencia caerá entre un 2-15 %, estas pérdidas se debe a que existe una menor resistencia mecánica propia del agregado grueso si se compara con un agregado natural, además presentan una mayor porosidad que resulta una mayor absorción de agua y como se ha mencionado anteriormente, entre más agua se agrega a la mezcla, menor capacidad de resistencia se tendrá.

Otra propiedad importante del concreto es el módulo de elasticidad<sup>3</sup> y al igual que la resistencia a compresión se ve modificada al reciclarlo, a causa “del mortero adherido (cuyo

---

<sup>2</sup> La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a cargas externas, se expresa en kilo/gramos por centímetros cuadrados (kg/cm<sup>2</sup>)

<sup>3</sup> El módulo de elasticidad es la relación entre la fuerza externa y la deformación que ésta ejerce en un material

módulo de elasticidad es menor), el módulo de elasticidad de los concretos reciclados es inferior” (Vidaud & Vidaud, 2015, p.26).

Por ejemplo, se demostró que al agregar un 20 % de AR no influye significativamente en el módulo de elasticidad, pero al aumentar a un 25 % este se ve reducido hasta un 15 %.

Evidentemente habrá variaciones en las demás propiedades puesto que se derivan de la resistencia a compresión del concreto.

Por lo que, la calidad del agregado reciclado influye mucho en las propiedades del nuevo concreto, sin embargo, las normas establecen que su reutilización debe de ser en aplicaciones nobles que así lo permitan o con resistencias limitadas.

En este caso se propone la aplicación de este material reciclado en una celosía que corresponde a bloques de mampostería no estructurales, sin embargo, se debe llegar a una resistencia mínima que permitan las normas mexicanas para su aprobación y posteriormente su aplicación. Para ello se llevarán a cabo pruebas de resistencia a compresión individual de la celosía y compresión diagonal, ya colocada en un murete.



## 2. CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES A EMPLEAR

---

El material que se empleará para la creación de la celosía es un concreto polimérico reciclado, el cual es un material compuesto a partir de una resina poliéster insaturada obtenida de una botella de PET, que se transforman químicamente en una resina termofija. Esta resina es el resultado de investigaciones previas y producida por el Dr. Antonio Sánchez Solís Ingeniero Químico del Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM.

El concreto polimérico está hecho de agregados granulares como lo son gravas, arenas, piedras, etc. Sin embargo, en este caso se trabajará con residuos de la construcción, mejor conocido como cascajo o concreto reciclado.

La investigación tiene dos enfoques importantes; el primero, con el propósito de llegar a un reciclaje adecuado y evitar que estos residuos lleguen a un depósito de disposición final o queden expuestos al medio ambiente y provoquen daños graves tanto a la salud humana como a los ecosistemas, en el caso del PET derivado de su lenta descomposición, ya que una botella de este material puede tardar hasta 150 años en degradarse por completo, según de las condiciones en las que se encuentre (Botet, 2019, p. 13).

La segunda y la más importante es aprovechar las propiedades mecánicas y químicas que nos brindan los materiales a reutilizar, para darles una segunda oportunidad de vida y aplicarlo a un material dentro de la rama de la construcción.

Para ello hay que conocer las propiedades de los materiales propuestos y el estudio de sus estructuras, sin embargo, esto abre las puertas a la multidisciplinariedad ya que como menciona Mancini y Viñas (2016) “han confluído en la ciencia de materiales conocimientos provenientes de diversas ramas del saber cómo la física general, la química, la termodinámica, la mecánica estadística, el electromagnetismo o la mecánica cuántica. Se trata, por lo tanto, de un campo multidisciplinar que además reúne aspectos científicos y tecnológicos” (p. 1).

Dentro de la rama de la arquitectura y desde una perspectiva funcional, se define a un material como “todo aquello que necesita el ser humano para construir cosas” (González & Mancini, 2016, p. 9).

Desde los primeros años de la humanidad se ha tratado de aprovechar los elementos de la naturaleza para la subsistencia del hombre, posteriormente con el desarrollo del pensamiento humano se ha logrado desarrollar técnicas para manipular estos elementos a través de la observación de su comportamiento y sus características físicas, con el objetivo de mejorarlos a través de la modificación de estos y sus propiedades, hasta el punto de predecir los efectos de los materiales ante diversas situaciones, por ejemplo la reacción de la madera con el agua provoca un hinchamiento por la saturación de líquidos en este material.

A través de los años se ha escrito mucho sobre los nuevos materiales y como se han desarrollado a partir de los avances tecnológicos para lograr propiedades específicas, incluso proponer soluciones a problemas socioambientales graves como reducir la presión que se ejerce sobre los recursos naturales.

Se puede definir entonces a la ciencia de los materiales como “el estudio de la relación entre la estructura y constituyentes de los materiales y sus propiedades, así como la influencia de algunos de sus procedimientos de elaboración”. Mientras que la ingeniería de materiales “estudia el proceso de elaboración, selección y aplicación de materiales de acuerdo con las propiedades conocidas y deseadas” (González & Mancini, 2016, p. 10).

Por tal motivo se espera analizar los materiales que se emplearán en la creación de la celosía desde la familia a la que pertenecen, para identificar sus propiedades mecánicas que brindan por separado como se verá a continuación.

## 2.1 FAMILIAS DE LOS MATERIALES SÓLIDOS

Se pueden clasificar los materiales de maneras simples o complejas, sin embargo, para fines de esta investigación se basará en una clasificación con respecto a sus propiedades, que es la más adecuada dentro de la rama de la Arquitectura.

De acuerdo con el autor Callister (2018) los materiales se clasifican en tres categorías básicas, estos son; materiales metálicos, poliméricos y cerámicos, esta separación de materiales corresponde a su composición química y estructura atómica (p. 6).

Con el desarrollo de las técnicas y tecnologías, se agrega una clasificación más, la cual corresponde a los materiales compuestos, que son técnicamente composiciones de dos materiales diferentes antes mencionados.

De manera breve se describen algunas características de estas familias:

La familia de los metálicos, presentan una distribución ordenada de sus átomos son materiales muy densos y respecto a sus características mecánicas son; buenos conductores eléctricos y térmicos, tienen buena resistencia a la fractura, alta rigidez, ductilidad<sup>4</sup> y resistencia al impacto. Algunos ejemplos son el cobre, acero y aluminio (González & Mancini, 2016, p. 6).

Los cerámicos, están compuestos por elementos metálicos y no metálicos, por ejemplo, algunos materiales comunes contienen óxido de aluminio, además de elementos minerales como arcillas. Algunas de sus características mecánicas son: baja conductividad eléctrica y térmica, fuertes, duros, sin embargo, también son muy frágiles y quebradizos o presenta poca resistencia a la fractura. Entre sus ejemplos encontramos el vidrio, el ladrillo y la porcelana (Callister, 2018, p. 8).

Por otro lado, los poliméricos presentan estructuras moleculares muy grandes, que forman cadenas con una estructura principal de átomos de carbono. Sus propiedades mecánicas son diferentes a la de los metálicos y cerámicos sin embargo se puede resumir que, tienen baja conductividad eléctrica y térmica, resistencia reducida, no son adecuados para temperaturas elevadas y estos también se pueden clasificar en termoplásticos y termoestables, sin embargo, esto se mencionará más adelante. Algunos ejemplos de estos

---

<sup>4</sup> Que pueden desarrollar grandes deformaciones sin romperse.

son el Policloruro de Vinilo (PVC) y el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) (Callister, 2018,p. 9).

Los materiales compuestos o también llamados composites, están constituidos por dos o más materiales con composiciones diferentes, es decir, que generalmente corresponden a una de las familias antes mencionadas, pero que al combinarlos tienen el objetivo de mejorar las propiedades negativas individuales y potencializar las positivas de ambos. Estos mecánicamente son ligeros, fuertes, dúctiles y resistentes a altas temperaturas. Algunos ejemplos son los laminares como las placas de MDF, con fibras como las láminas de techo y particulados como el cemento (Callister, 2018, p. 11).

Finalmente hay otra clasificación que el autor Callister (2018) menciona y es la de los materiales avanzados, que son de alta tecnología y aplicados a ramas muy específicas, entre ellos se encuentran semiconductores, biomateriales, materiales inteligentes como aleaciones con memoria de forma y nanomateriales.

Sin embargo, hablar de cada uno de estos sería demasiado extenso para la presente investigación, por lo que se retomará los materiales poliméricos, cerámicos y compuestos, puesto que la propuesta será de un material compuesto a partir de una matriz polimérica (resina de PET reciclado) con refuerzo particulado cerámico (concreto reciclado).

Cabe destacar que el tratamiento, es decir la forma de procesar el material va a determinar el tipo de estructura de éste y definirá sus propiedades para poder predecir su comportamiento y desempeño del mismo.

Se iniciará con los materiales poliméricos, ya que el PET es un polímero y estos son algunos antecedentes de dicho material.

## 2.2 MATERIALES POLIMÉRICOS

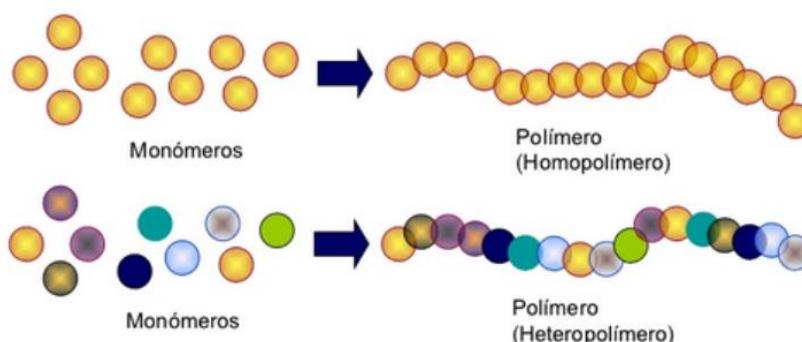
Una manera de entender la definición de un polímero es si se compara con un espagueti, ya que se puede definir como la unión de pequeños monómeros que forman cadenas largas (como un espagueti) en muchos casos y ramificadas en otros.

Un polímero es una molécula construida por la repetición de pequeñas unidades químicas simples. En algunos casos la repetición es lineal, de forma semejante a como una cadena la forma sus eslabones. En otros casos las cadenas son ramificadas o interconectadas formando retículos tridimensionales. La unidad repetitiva es usualmente equivalente al monómero o material de partida que se forma el polímero. (Billmeyer, 1975, p. 3)

Los polímeros tienen origen de dos palabras griegas: “poli” que significa muchos y “meros” que significa partes. Son resultado de una serie de unidades repetidas, llamadas monómeros y las reacciones a través de las cuales se obtienen se les llaman reacciones de polimerización, cuando se parte de un solo tipo de molécula se define como homopolímero y cuando son dos o más moléculas diferentes se define como un copolímero (López, 2004). Como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 2.1**

*Estructura de un polímero*



Fuente: Estructura de un polímero y tipos de polímeros, imagen tomada del Panorama General de las Tecnologías de Reciclaje de Plásticos en México y en el Mundo (2020). <https://acortar.link/EfkWc1>

Asimismo, de acuerdo con su composición a partir de monómeros iguales o diferentes “se obtendrán ramificaciones y un peso molecular del polímero para cada uno. Estos aspectos determinarán el uso final del plástico, por ejemplo, algunos podrían usarse en el área automotriz, otros en empaques, juguetes, etcétera” (Santillán, 2018, párr. 8).

Dentro de la ciencia de las macromoléculas se dividen en polímeros biológicos y no biológicos, también llamados sintéticos, ambos de mucha importancia para el desarrollo de la humanidad.

### *2.2.1 Tipos de polímeros*

Se pueden encontrar polímeros biológicos (naturales) o no biológicos (sintéticos). Los naturales o biopolímeros, son parte de la naturaleza, como la madera, el ácido desoxirribonucleico (ADN) o las proteínas, que presentan estructuras mucho más complejas ( Beltrán y Marcilla, 2013 citado en SEMANART & INECC, 2020, p. 33).

Se conocen los polímeros naturales desde hace mucho tiempo, incluso el hombre ha dependido de materiales vegetales y animales para su protección, calefacción y otras necesidades. Las resinas y gomas naturales son polímeros naturales y han sido empleadas desde hace miles de años. “El asfalto era utilizado desde tiempos pre bíblicos, el ámbar era conocido por los antiguos griegos y el mastique de goma era utilizado por los romanos” (Billmeyer, 1975, p. 10).

Por otro lado, los materiales no biológicos son materiales sintéticos que se utilizan para la producción de plásticos, fibras y elastómeros, sin embargo, se pueden incluir algunos polímeros naturales, como el caucho, la lana y la celulosa. En este caso el PET pertenece a los plásticos de origen sintético.

### *2.2.2 Breve historia de los polímeros*

El origen de los polímeros se remonta hace miles de años, un ejemplo es que durante el siglo XVI a.C. donde las antiguas culturas mesoamericanas utilizaban el caucho natural para realizar figuras o para hacer hilos y así atar sus instrumentos para la caza, este lo obtenían de un árbol que le llamaban la castilla elástica. Posteriormente fue descubierto el proceso de vulcanización en 1839 por Goodyear y Hancock en Inglaterra, el cual consistía en endurecer el caucho y aportar así mayor resistencia, como consecuencia se empezó a comercializar este material y nacen los polímeros termoestables (Avilés, 2019, párr. 2).

Más adelante en 1907 para ser más exactos, se descubrió la Baquelita por Leo Baekeland, el cual fue el primero en descubrir un polímero sintético. “ Es el plástico más antiguo, puramente sintético de la familia de las resinas de fenol-formaldehído”(Billmeyer, 1975, p. 14).

Para 1926 y 1928 surgen los termoplásticos y resinas que son producidos con la adición de ácidos grasos y otros componentes. Además, de utilizar algunos como adhesivos, para así empezar a expandirlos.

Finalmente, se produjeron otros tipos de materiales como las resinas epoxi, siliconas, elastómeros, poliuretano o poliamidas, para los años 1940 y 1960. Además, uno de los plásticos más famosos es el celuloide que dio paso a la industria cinematográfica, ya que se usaban en los rollos de películas. Evidentemente tenían que ser perfeccionados ya que eran altamente inflamables (Avilés, 2019, párr. 6).

Con el paso del tiempo y posterior a los años ochenta el incremento del uso del plástico específicamente fue de manera exponencial, hoy en día estamos rodeados de este material, en cada objeto que tenemos a nuestro alcance.

### *2.2.3 ¿Qué son los plásticos?*

Estos materiales se encuentran en la vida cotidiana de cualquier persona y en diferentes presentaciones, incluso en lugares menos pensados, como el relleno de las almohadas o en los textiles de la ropa.

Un plástico es un polímero sintético o como lo menciona Santillán (2018) citado por la Secretaría del Medio Ambiente en su Panorama General de las Tecnologías de Reciclaje de Plásticos en México y en el Mundo (2020) es un material formado por la unión repetitiva de miles de átomos hasta formar moléculas más grandes, conocidas como macromoléculas (p. 33).

Su palabra proviene del griego “plastikos” que significa moldear, lo que en realidad gracias a sus propiedades se pueden adaptar a diferentes formas y aplicaciones (Cairplas, 2020, párr. 2).

A pesar de que son polímeros sintéticos se componen de elementos orgánicos principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, cloro, azufre, silicio y fósforo.

#### *2.2.3.1 Tipos de plásticos*

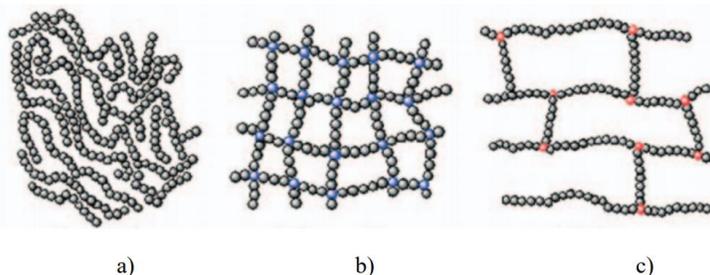
Existen tres categorías para identificar un plástico y esta clasificación corresponde al tipo de estructura, propiedades y su comportamiento con la temperatura. Son los termoplásticos, termofijos y elastómeros.

Los termoplásticos son los que más se pueden encontrar en el planeta, ya que son muy empleados en la industria alimentaria y embalaje, estos se caracterizan porque se pueden fundir al calentarse y se hacen blandos y dúctiles adaptándose a diferentes formas, además al enfriarse adquieren de nuevo su dureza y este proceso se puede hacer más de una vez. Esto se debe a su tipo de estructura molecular ya que presentan enlaces lineales o ramificados como se muestra en la figura 2.2 con el inciso a.

Algunos ejemplos de este tipo de plásticos son el polietileno de alta densidad (High density polyethylene – HDPE), el polietileno de baja densidad (Low density polyethylene – LDPE), polipropileno (PP), PVC, PS, PET, policarbonato (PC) y polimetilmetacrilato (PMMA).

**Figura 2.2**

*Estructura de los polímeros*



Fuente: Estructura de los polímeros. a) termoplásticos, b) termoestables y c) elastómeros. Panorama General de las Tecnologías de Reciclaje de Plásticos en México y en el Mundo (2020).

Los termofijos presentan enlaces entrecruzados para formar estructuras tridimensionales como si fuera una red, como se muestra en el inciso b de la figura 2.2. Estos comienzan en estado líquido y una vez que adquieren un estado sólido ya no pueden revertirlo, solo se quemarán, por lo que se produce una reacción química irreversible, debido a la permanencia de sus enlaces entrecruzados.

A este tipo de polímero pertenece la resina poliéster insaturada con la que se trabajará más adelante. Algunas de sus características son alta resistencia, baja conductividad eléctrica y térmica, alto módulo de elasticidad y baja resistencia al impacto si se compara con otros plásticos. Algunos ejemplos de este tipo incluyen a polifenoles (PF), resinas de formaldehído de melamina (MF), resinas de poliéster insaturado (Unsaturated Polyester – UP) y resinas epóxicas (EP).

Finalmente, los elastómeros con el inciso c) “son de origen vegetal o sintético y se caracterizan por tener la capacidad de ser elongados o alargados hasta 30 veces con respecto a su tamaño normal y luego pueden volver a su forma original sin tener ningún cambio.

Forman una red de malla con pocos enlaces, lo que les permite deformarse elásticamente. Algunos ejemplos de ellos son el caucho natural o sintético y el neopreno” (SEMANART, 2020, p. 36).

De estas 3 categorías de plásticos, se recuperará un termoplástico, el seleccionado fue el PET, puesto que es el que más se produce hoy en día junto con el PEAD, como resultado a que son muy demandados en la industria de envases de bebidas y alimentos, lo que provoca un gran número de residuos, derivado de su corta vida para los que fueron hechos.

En el mes de abril del 2022 se contactó al Dr. Antonio Sánchez Solís, Ingeniero químico del Instituto de Investigación de Materiales (IIM) de la UNAM quién creo la resina poliéster insaturada obtenida de una botella de PET y sugirió trabajar con esta resina termofija en vez de un termoplástico directamente.

A diferencia de un termoplástico, una vez curada la resina, está no podrá ablandarse o fluir por efecto de la temperatura, asimismo se obtendrán mejores propiedades mecánicas ya que estas resinas presentan mayor rigidez y soportan altas temperaturas. “Tienden a ser resinas de mucha rigidez y someterlas a temperaturas elevadas promueve la descomposición química del polímero (carbonización). A temperatura ambiente son duras y frágiles” (Besednjak, 2005, p. 22).

Sin embargo, durante la fase experimental se describe con mayor detalle este proceso de obtención de la resina.

### *2.2.3.2 Ventajas y desventajas del uso de los plásticos*

Se pueden enlistar diferentes ventajas de estos materiales ante otros, como el vidrio y los aluminios, debido a las propiedades que estos ofrecen. Por mencionar algunas, son elementos ligeros, por lo que se reduce el consumo de combustibles para el transporte de los productos que contienen.

Son excelentes aisladores térmicos, eléctricos y acústicos debido a que son bajos conductores, por lo que ¿será una buena opción proponerlos en elementos constructivos que ahorren energía en calefacción y refrigeración, como los son las celosías cuyo objetivo es ventilar de forma natural los espacios?

Es un material resistente a climas o elementos corrosivos, como sales, cloros, humedad y muchos agentes químicos, lo que hace un material con alta durabilidad.

Es empleado en diferentes campos, como la aeronáutica, agricultura, la industria de la alimentación, por lo que es un material versátil. A esto se le suma “el hecho de que son más económicos de producir y procesar que otros materiales” (Botet, 2019,p.8).

El uso de este material no es del todo ventajoso, ya que estas mismas propiedades que ofrece, ha repercutido en un consumo desmedido y precisamente su durabilidad lo hace peligroso para los ecosistemas, si este no tiene un manejo adecuado en su disposición final. Algunas desventajas son:

- Debido a que tiene un peso muy bajo, el porcentaje de volumen es elevado, por lo que puede presentar un problema de espacio.
- En ocasiones no se puede utilizar para envasar productos de consumo humano los plásticos que ya han sido reciclados.
- En el caso de que se mezclen varias familias de plásticos en el reciclado, el producto que se obtiene es de baja calidad (Botet, 2019,p. 8).

### *2.2.3.3 Características físicas, químicas y mecánicas de los plásticos*

Se entiende que las propiedades físicas son las características visibles de un material y su respuesta a las sustancias químicas o a la radiación. Entre ellas se encuentran la densidad, la resistencia a la corrosión química y a la descomposición por rayos UV. También pueden referirse a aspectos decorativos, como el color y la textura de la superficie.

Las propiedades mecánicas son las resistencias que manifiesta el material al aplicarse a diferentes fuerzas, por ejemplo, la resistencia a la tensión, a la compresión, la flexibilidad y la dureza.

Los plásticos tienen grandes características como, flexibilidad, excelentes propiedades para el aislamiento térmico y eléctrico, además de una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. (SEMANART & INECC, 2020, p. 33).

De acuerdo con el autor Cornish (1997) citado por SEMANART & INECC las características más importantes y favorables que los plásticos ofrecen con respecto a otros materiales son las siguientes:

Ligereza. Aunque depende del tipo de plástico, una buena parte de estos materiales pesa poco. Tienen densidades bajas, en el rango de 830 a 2500 kg/m<sup>3</sup>; sin embargo, estas cifras pueden variar.

Aislamiento térmico. La conductividad térmica de los plásticos no es buena, por lo que pueden ser utilizados para mangos de utensilios de cocina o envases para transportar líquidos calientes.

Aislamiento acústico. Absorben la vibración y el sonido.

Elasticidad. Soportan grandes esfuerzos sin fractura y recobran su firmeza original y dimensiones cuando la fuerza es removida.

Bajo coeficiente de fricción. No se calientan mucho ante la fricción, aunque no estén lubricados. Esta propiedad puede utilizarse en baleros o engranes.

Resistencia a la corrosión. Son muy buenos para soportar los ácidos débiles y soluciones acuosas salinas.

Bajo costo. Son muy económicos; tomando en cuenta su producción en volumen, la materia prima del plástico es considerablemente más barata que la del metal.

Fáciles de fabricar. Requieren poca mano de obra y la pieza sale con un alto nivel de acabado. Reciclables. Muchos de ellos pueden ser sometidos a reciclaje mecánico o químico. (p.34)

Por otro lado, los plásticos tienen también desventajas en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas, al igual que cualquier otro material, pero estas son limitaciones que en muchas ocasiones están sujetas al proceso en el que se desea usar. Algunas de sus desventajas que forman parte de sus propiedades se describen a continuación:

- Baja resistencia a la temperatura. Muchos de los plásticos más comunes son inservibles a temperaturas de 150°C o mayores. El uso continuo de este material a temperaturas elevadas puede causar una gran pérdida de sus propiedades.
- Baja resistencia a los rayos UV. Hay plásticos que se decoloran y degradan con la exposición continua al sol.
- Poca dureza superficial y resistencia a la abrasión. La mayoría de los plásticos pueden rayarse con un lápiz duro y su resistencia a la abrasión depende de sus condiciones de uso, pero en general es muy poca.
- Inflamables. Se pueden prender y los gases que desprenden pueden llegar a ser tóxicos.
- Expansión térmica. Con el calor son de tres a diez veces más expandibles que los metales. Esto puede ser un problema, ya que complica el diseño de piezas que deben embonar.
- Orientación. Los plásticos tienen betas, por lo que debemos saber orientarlas. Su orientación es análoga a la de la madera, pues el material es mucho más resistente a lo largo del grano que a través de él.
- Fragilidad al frío. Son propensos a volverse quebradizos a bajas temperaturas.
- Impactos en el medio ambiente y la salud. La mayoría de los plásticos no son biodegradables, por lo cual persisten en el ambiente por muchos años, y algunos pueden liberar sustancias que son tóxicas para la salud humana. (SEMANART & INECC, 2020, p. 35)

De la gran variedad de plásticos el seleccionado para reciclar es el PET y a continuación se describe con detalle sus características más importantes.

#### *2.2.4 Tereftalato de Polietileno (PET)*

El PET es uno de los plásticos que más se puede encontrar en las actividades cotidianas del ser humano, puesto que se emplea para la fabricación de botellas y envases de bebidas como agua y refresco hoy en día. Este plástico forma parte de los termoplásticos lo que hace muy fácil su recuperación una vez que termino su vida útil y se puede reciclar mediante procesos mecánicos y químicos.

Este plástico es muy empleado en la industria alimentaria debido a sus propiedades, entre ellas están, es un material económico, es higiénico e impermeable, resistente, flexible, garantiza seguridad y optima conservación del producto, entre otras. Además presenta “una alta dureza, buena tenacidad a bajas temperaturas, rigidez, buena resistencia ante la deformación por parte de fuerzas mecánicas y ante el calor, también es un buen aislante eléctrico” (*Tereftálato de Polietileno PET, 2022, párr. 2*).

Es un polímero plástico que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres (*Tecnologías de los plásticos, 2011*).

Cabe mencionar que el PET fue descubierto por científicos británicos Whinfield y Dickson, en el año 1941, al principio fue propuesto para la fabricación de fibras textiles, ya que en ese momento su país se encontraba en guerra y requerían de estas fibras para sustituir al algodón que se exportaba en ese momento de Egipto.

Posteriormente en el año de 1946 se comenzó a usar industrialmente con uso textil, hasta nuestros días. Fue hasta el año de 1976 que se consolidó su uso en el embotellado de bebidas carbonatadas (García, 2021, párr. 3).

Sus aplicaciones se deben en principio a sus propiedades físicas, mecánicas y químicas.

### 2.2.4.1 Propiedades del Tereftalato de Polietileno

Este termoplástico se caracteriza principalmente por su pureza, color transparente, alta resistencia a los golpes y además existen diferentes grados de PET que corresponden a sus pesos moleculares y grados de cristalinidad.

De acuerdo con el autor Mariano (2011) “los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y los de mayor peso molecular, grado ingeniería” (párr. 18).

Otra característica importante de este material es que no se estira, resiste ácidos y gases atmosféricos, “es resistente al calor y absorbe poca cantidad de agua, forma fibras fuertes y flexibles, también películas. Su punto de fusión es alto, lo que facilita su planchado, es resistente al ataque de polillas, bacterias y hongos”( *Tecnología de los Plásticos*, 2011, párr. 15).

Sus propiedades físicas se pueden resumir de la siguiente manera:

- Es un material transparente (PET amorfo) o cristalino (PET cristalino), admitiendo colorantes en su fabricación.
- Procesable por soplado, inyección y extrusión.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Es un material impermeable.
- Es inerte al contenido.
- Su superficie puede barnizarse.
- Estable a la intemperie ante temperaturas que pueden oscilar entre los  $-20^{\circ}\text{C}$  a los  $+60^{\circ}\text{C}$ .
- Aunque los envases PET no son biodegradables si es totalmente reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica.

- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.

Sus propiedades químicas son;

- Tiene una alta resistencia química con buenas propiedades térmicas.
- Excelente barrera contra los gases CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, la radiación UV y la humedad.

Sus Propiedades Mecánicas son:

- Presenta alta dureza y rigidez lo que le hace resistente al desgaste.

### Figura 2.3.

*Datos técnicos del PET*

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1.34–1.39
Resistencia a la tensión	MPa	59–72
Resistencia a la Compresión	MPa	76–128
Resistencia al impacto	J/mm	0.01–0.04
Dureza	---	Rockwell M94–M101
Dilatación térmica	10 <sup>-4</sup> /°C	15.2–24
Resistencia al calor	°C	80–120
Resistencia dieléctrica	V/mm	13780–15750
Constante dieléctrica (60Hz)	--	3.65
Absorción de agua (24Horas)	%	0.02
Velocidad de combustión	Mm/min	Consumo lento
Efecto luz solar	--	Se decolora ligeramente
Calidad de mecanizado	--	Excelente
Calidad óptica	--	Transparente–opaco
Temperatura de fusión	°C	244–254

Fuente: Tabla obtenida de *Industria del Plástico*. Plástico Industrial, Richardson & Lokensgard (2011). <https://acortar.link/BpnN2J>

Además, el PET es un material que presenta las siguientes características: una biorientación lo que permite lograr propiedades mecánicas y de barrera con optimización de espesores.

Dentro de sus técnicas de procesamiento se utilizan los procesos de inyección, extrusión por termo conformado y soplado.

En general no mantiene buenas propiedades cuando la temperatura supera los 70°C a excepción del PET cristalizado que aguanta temperaturas de hasta 230 °C ya que su temperatura de fusión es alta, está entre los 244 y 254 °C, o semi cristalino que aguanta los 120 °C, es por eso que no se aconseja el uso permanente a la intemperie (Botet, 2019, p. 14).

#### *2.2.4.2 Ventajas y desventajas del uso del PET*

De acuerdo con sus propiedades únicas, se pueden encontrar varias ventajas de este material, como la transparencia, brillo, ligereza, barrera a gases y aromas, impacto, termoformabilidad, fácil de imprimir con tintas y permite cocción en microondas.

También la relación costo beneficio es muy importante para la rama de la industria alimentaria puesto que el costo de PET no ha sido elevado, en comparación con otros plásticos como el PVC, PP, PEAD de baja densidad.

Además, la disponibilidad de este material es fundamental y hoy en día se produce en todo América, Europa, Asia y Sudáfrica.

Dentro de las desventajas de este material es que debe estar totalmente seco a la hora de iniciar su proceso de producción a fin de evitar pérdidas en sus propiedades. “La humedad del polímero al ingresar al proceso debe ser de máximo 0.005 %. Para ello se utiliza el secado por circulación de aire caliente previamente secado en dos humificadores antes de ser procesado en inyectoras y extrusoras. Lo que le confiere un costo extra. También se puede secar por radiación infrarroja, pero presupone un costo aún mayor” (*Tecnología de los plásticos*, 2011, párr. 30 ).

También el costo de la maquinaria que se emplea para su producción como moldeo por soplado e inyección son costosos.

Finalmente, el reciclaje de este material es muy importante y es el número uno en reciclarse a nivel mundial, sin embargo, una desventaja de este plástico es que al reciclarse se somete a temperaturas elevadas lo que provoca una degradación térmica en el material y con ello cambios en sus propiedades afectando principalmente su transparencia y viscosidad.

Por tal motivo el reciclaje del PET dentro de la industria alimentaria es más complejo, ya que se debe cumplir requisitos sanitarios muy estrictos y para ello se requiere de aditivos y procesos extra para ser aprobado, pero estos procesos elevan el costo del reciclado.

Esto abre la posibilidad de utilizar el PET reciclado en otras ramas como puede ser las fibras o en la construcción, en este caso el PET se somete a un reciclaje mecánico donde se obtendrán los pellets<sup>5</sup> y posteriormente se hace un reciclaje químico para poder obtener la resina poliéster insaturada, con la que se va a trabajar.

De acuerdo con las propiedades que se mencionaron anteriormente se espera compensar el desgaste del intemperismo con el agregado cerámico, el cual le aportará a la resina mayor resistencia a esta desventaja del plástico.

El elemento cerámico es el concreto reciclado, este será la fase particular del material compuesto con el que se trabajará más adelante.

---

<sup>5</sup> Son pequeños cilindros comprimidos, en este caso formado por PET y parecen hojuelas, pero con una forma homogénea.

## 2.3 MATERIALES CERÁMICOS

Dentro de la arquitectura esta familia de materiales es muy empleada, ya que son empleados como materiales de construcción, entre ellos se pueden encontrar, arcillas, piedras, cementos, adobes, etc.

Estos materiales tienen propiedades muy diferentes a los metales, pero de alguna forma cada material se complementa uno con otro, incluso si se habla de polímeros. Sin embargo, esta parte de la ciencia de los materiales es interesante, puesto que siempre habrá ventajas y desventajas de cada familia y responderán de acuerdo a las aplicaciones para las que fueron hechos.

Los cerámicos son inorgánicos no metálicos, pero están conformados por elementos metálicos y no metálicos enlazados por enlaces iónicos y covalentes. Sus composiciones químicas son muy variables, se pueden encontrar desde compuestos sencillos a mezclas mucho más complejas (Smith, 2022, párr.1).

Si se habla de sus propiedades mecánicas, en general son materiales altamente resistentes, rígidos y duros, pero son muy frágiles lo que los hace susceptibles a la fractura.

En cuanto a propiedades térmicas, son muy buenos aislantes al calor y a la electricidad, derivado de una baja conductividad, por lo que son más resistentes a elevadas temperaturas y ambientes agresivos en comparación con los metales y polímeros (Callister, 2018, p. 9).

Conforme al autor Smith (2022) los cerámicos pueden clasificarse en dos grupos; el primero de materiales cerámicos tradicionales y los segundos de uso específico en ingeniería.

Los primeros están compuestos por tres componentes básicos; arcilla, sílice y feldespato, algunos ejemplos son ladrillos, tejas y porcelana eléctrica. Mientras que los segundos están conformados por compuestos puros o casi puros como el óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), carburo de silicio (SiC), y nitruro de silicio ( $Si_3N_4$ ) algunas aplicaciones están en tecnologías de punta, como motores y chips (Smith, 2022, párr. 7).

Por otro lado, una característica importante de esta familia de materiales es que tienen puntos de fusión muy elevados, por lo que las técnicas de procesamiento serán diferentes a la de los polímeros que involucran deformación plástica del componente. En los cerámicos no es factible fundirlos, por lo que la mayoría se forma a partir de polvos o partículas pequeñas, que posteriormente serán secados y cocidos en hornos, por ejemplo, la elaboración de ladrillos de barro recocido rojo.

Una excepción es el vidrio, ya que se consigue a través de un moldeo a elevadas temperaturas, donde se creará una masa fluida y que al enfriarse su viscosidad aumentará.

Otras técnicas de procesamiento, es mediante reacciones químicas, por ejemplo, el cemento en forma de polvo entra en contacto con el agua y se comienza a endurecer en el molde que se tenga previsto, una vez curado permanecerá en la forma al que fue sometido.

### *2.3.1 Tipos de materiales cerámicos*

De acuerdo con Callister (2018) “muchos materiales cerámicos pueden clasificarse, según sus aplicaciones, en uno de los grupos siguientes: vidrios, productos estructurales de arcilla, porcelanas, refractarios, abrasivos, cementos y cerámicas avanzadas de reciente desarrollo” (p. 432) como se muestra en la figura 2.4.

De esta clasificación se retomarán los cementos, ya que es un componente fundamental a la hora de elaborar el concreto y es importante conocer cuáles son sus propiedades una vez que pasan por un proceso de reciclaje.

**Figura 2.4.**

*Clasificación de los materiales cerámicos en base a su aplicación.*

Materiales cerámicos	Vidrio	Vidrios y vitrocerámicos
	Productos de arcilla	Productos estructurales de arcilla y porcelanas
	Refractarios	Arcilla refractaria, sílice, básico, especial.
	Abrasivos	
	Cementos	
	Cerámicas avanzadas	

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de Callister (2018)

<https://acortar.link/9f2T5n>

### *2.3.1.1 Características de los cementos*

Es un conjunto de materiales cerámicos muy similares, entre ellos se encuentran; el cemento, yeso y caliza, “ Se clasifican como cementos inorgánicos” (Callister, 2018, p. 450).

Es un material primordial dentro de la construcción e ingeniería ya que se emplea en elementos estructurales y no estructurales a la hora de transformarlo en concreto, una de sus características más notables es que el cemento reacciona con el agua químicamente y forma una pasta, que después de un tiempo corto, aproximadamente 30 minutos comienza a endurecer, además de que es muy versátil puesto que se adapta a múltiples formas y diseños.

Cabe mencionar que este proceso se lleva a cabo a temperatura ambiente por lo que es una ventaja al no requerir elevadas temperaturas para moldear y sellar la forma deseada, como en el caso de las arcillas y vidrios.

Uno de los cementos más importantes en la elaboración de elementos estructurales es el denominado Portland, además de ser el que más se utiliza hoy en día.

Se produce moliendo y mezclando íntimamente minerales con contenidos en arcilla y caliza en las proporciones correctas y luego calentando la mezcla a alrededor de 1400°C en un horno giratorio; este proceso, algunas veces denominado calcinación, produce cambios físicos y químicos en las materias primas; el producto resultante, el clinker, es entonces triturado hasta que se forma un polvo muy fino al cual se le añade una pequeña cantidad de yeso ( $\text{CaSO}_4 - 2\text{H}_2\text{O}$ ) para retrasar el proceso de fraguado. El producto es cemento portland. Las propiedades del cemento portland, incluidos el tiempo de fraguado y la resistencia final, dependen en gran medida de la composición. (Callister, 2018, p. 451)

En la conformación de este cemento se pueden encontrar el silicato tricálcico y el silicato dicálcico, una vez que estos componentes reaccionan con la adhesión de agua, comienza el fraguado y endurecimiento, las propiedades serán variables, ya que la cantidad de agua influye directamente en las características mecánicas que se requieran. Por ejemplo, si se agrega agua de más a la mezcla podría diluir la resistencia mecánica, mientras que, si se usa menos agua de lo debido, se puede perder la trabajabilidad de la mezcla y con ello una mala aplicación con malos resultados.

El cemento es un ingrediente primario para elaborar concreto, sin embargo, hacer un buen concreto es mucho más complejo de lo que se cree, ya que hay múltiples variables que determinarán la calidad de este producto, como la temperatura ambiente, la calidad del agua, proporciones utilizadas, aditivos, etc.

### *2.3.1.2 Características del concreto*

El concreto es un material compuesto de tipo particulado, como se verá en el apartado 2.3. en general es una mezcla de varios componentes, uno formado de agregados, que se componen de materiales secos y sólidos, como la arena y la grava, las cuales son piedras naturales trituradas de diferentes medidas. El segundo componente es una pasta, formada por cemento portland y agua.

El concreto se forma a partir de una reacción química entre el contacto del cemento con el agua lo que formará una masa tan dura como una roca (Kosmatka et al., 2004, p. 1).

Al igual que el cemento, la calidad del concreto va a depender directamente de la calidad de la pasta y de los agregados que se utilizaron, además de la buena unión entre estos.

Asimismo, la relación agua-cemento es fundamental ya que esta puede afectar las propiedades finales del concreto, de acuerdo con Kosmatka (2004) menciona que al disminuir el agua a la mezcla se presenta:

- Aumento de la resistencia a la compresión y de la resistencia a flexión.
- Disminución de la permeabilidad, entonces disminución de la absorción y aumento de la estanquidad (hermeticidad).
- Aumento de la resistencia a la intemperie.
- Mejor unión entre concreto y armadura.
- Reducción de la contracción (retracción, encogimiento) y de la fisuración (agrietamiento, fisuramiento).
- Menores cambios de volumen causado por el humedecimiento y el secado (p. 2).

Por lo que esta relación definirá en gran medida las propiedades del concreto, sin embargo, hay otros factores no menos importantes, como la calidad de los agregados, tales como la arena, la grava e incluso la calidad del agua, además de las condiciones de almacenamiento a las que se vieron sometidos estos agregados.

Hay una gran complejidad en la producción del concreto debido a las múltiples variables a las que se ve sometida la mezcla, sin embargo, se puede controlar mediante pruebas de resistencia a compresión.

La resistencia a compresión “se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )” (Kosmatka, 2004, p. 8).

Esta resistencia se va adquirir desde el momento en que se mezcla el cemento con el agua y va en aumento hasta 28 días después, donde se alcanza una resistencia mínima, sin embargo, puede aumentar conforme el tiempo transcurrido e incluso en años.

La resistencia es la propiedad física más importante del concreto y se expresa en  $f'c$  donde los concretos más usados en las construcciones de viviendas y edificios tienen una resistencia entre 200 y 400 kg/cm<sup>2</sup>.

## 2.4 MATERIALES COMPUESTOS

Con el desarrollo de las tecnologías es usual que se requieran materiales con mayores capacidades y propiedades, por ejemplo, en la aeronáutica se requieren materiales mucho más resistentes, rígidos, resistentes al impacto, a la abrasión y a la corrosión, pero con el detalle de que sean más ligeros.

Para ello se busca la combinación de propiedades de materiales por ejemplo una combinación de metálicos con cerámicos o cerámicos con poliméricos. Por lo que se define como material compuesto “aquel formado por dos o más componentes, de forma que las propiedades del material final sean superiores que las de los componentes por separado” (Miravete, 2012, p.31).

Estos materiales existen en la naturaleza, por ejemplo, la madera, que consiste en fibras de celulosa flexibles que están sumergidas en un material mucho más rígido, llamado lignina. (Callister, 2018, p.532)

Otras características que deben cumplir los materiales compuestos propuestas por el autor Hull (1987) es que estos materiales se componen de dos o más materiales físicamente diferentes y que se pueden separar mecánicamente, además de que pueden “fabricarse mezclando los distintos materiales de tal forma que la dispersión de un material en el otro pueda hacerse de manera controlada para alcanzar unas propiedades óptimas” (p. 3).

Finalmente, las propiedades obtenidas al mezclar dos o más elementos diferentes serán superiores y probablemente únicas a las propiedades de los componentes por separado.

Los materiales compuestos se componen de dos fases importantes y se verán a continuación.

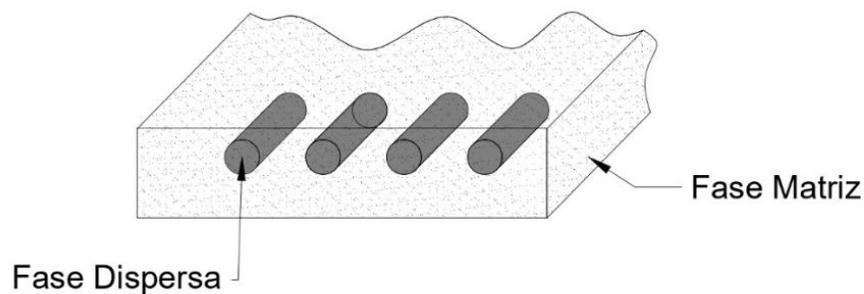
### 2.4.1.1 Fases de los materiales compuestos

Se pueden identificar dos fases de los materiales compuestos como se muestra en la figura 4; la primera, que es continua, formada por una matriz y la segunda discontinua o fase dispersa, denominada refuerzo.

Cabe mencionar que estas fases no deben disolverse ni fusionarse completamente unas con otras, por lo que la identificación de estos materiales y de su interfase deben ser distinguibles físicamente (Besednjak, 1997, p.15).

**Figura 2.5.**

*Composición de dos fases en un material compuesto*



Fuente: Callister (2018). <https://acortar.link/9f2T5n>

Por último y no menos importante, las propiedades del material compuesto van a depender del tipo de interfase y de las características de sus componentes, como concentración, tamaño, forma, distribución y orientación de la fase dispersa (Callister, 2018, p. 533).

### 2.4.1.2 Clasificación de los materiales compuestos

Los materiales compuestos se pueden clasificar de muchas maneras, las cuales dependen de cómo se quiera identificar al material, sin embargo, una separación general y sencilla la describe el autor Besednjak (2005) a través de tres categorías simples que corresponden al tipo de matriz, estas pueden ser:

- De matriz polimérica
- De matriz cerámica
- De matriz metálica

Los materiales compuestos con base polimérica, como es el caso del material con el que se va a trabajar, se puede caracterizar por tener buenas propiedades mecánicas, resistentes a la corrosión y a los agentes químicos, además de ser moldeados con versatilidad de formas. (Besednjak, 2005, p. 16)

Por otra parte, se pueden identificar el material compuesto a partir del refuerzo que se utiliza, compuestos reforzados con partículas, compuestos reforzados con fibras y compuestos estructurales; además, existen dos subdivisiones para cada una'' (Callister,2018, p. 533).

En este caso se utilizará un refuerzo con partículas, es decir el concreto reciclado funcionará como el agregado granular del material. Estos materiales reforzados con partículas a su vez se subdividen en dos, uno por partículas grandes y otra por partículas de dispersión.

Las primeras están compuestas por partículas de un material duro y frágil dispersas uniformemente, rodeadas por una matriz más blanda y dúctil, un ejemplo de este material compuesto es el concreto, formado por cemento que será la matriz y arena con grava que serán las partículas en la fase dispersa (Callister, 2018, p. 534).

En las segundas el tamaño de la partícula es muy pequeño (entre 100 y 2500  $\mu$  de diámetro). A temperaturas normales, estos compuestos no resultan más resistentes que las aleaciones, pero su resistencia disminuye con el aumento de la temperatura.

Posteriormente los reforzados con fibras, que son los composites más importantes desde el punto de vista tecnológico. Su objetivo es conseguir materiales con una elevada resistencia a la fatiga y rigidez a temperaturas extremas. Simultáneamente, se busca una baja densidad, por lo que se pretende conseguir una mejor relación resistencia–peso. Esta relación se consigue a

través de materiales ligeros tanto en la matriz como en las fibras, siempre que estas cumplan con las propiedades mecánicas que se quieren otorgar al composite. (Callister, 2018, p. 535)

A partir de esto, se define que se trabajará con un material compuesto a partir de una matriz polimérica, que está compuesta por una resina poliéster insaturada obtenida de una botella de PET y una fase dispersa particular, compuesta por concreto reciclado de aproximadamente ¼” y 3/8” de tamaño. Es un concreto polimérico, este material es muy empleado en la rama de la construcción, sin embargo, se puede encontrar en el mercado sin la característica de ser un producto reciclado.

## 2.5 MATERIAL EMPLEADO, CONCRETO POLIMÉRICO

El concreto polimérico es un material compuesto y es parte del mercado mexicano e internacional, sin embargo, el material con el que se va a trabajar en la presente investigación está elaborado a partir de materiales reciclados.

Este material es una mezcla conformada por una matriz polimérica, que es una resina termofija obtenida de una botella de PET y un refuerzo granulado a partir de un concreto reciclado. Al combinar estos dos materiales, se busca una buena resistencia a la humedad, buen comportamiento térmico, acústico, resistencia a agentes químicos, que son características que brinda el polímero y se refuerza con el concreto en partículas dispersas que darán mayor rigidez mecánica al material y resistencia a la intemperie.

La mezcla de los materiales se hará a temperatura ambiente y se utilizarán catalizadores como el monómero de estireno, peróxido de metil-etil acetona y acelerador de cobalto para que dicha mezcla comience a reaccionar químicamente y pase de estado líquido a estado sólido, o comúnmente se le conoce como proceso de gelación<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Es un proceso por el cual se estabilizan o se espesan los líquidos y se obtiene una textura gelatinosa.

En la fase experimental se verá paso por paso el proceso que se realizará para obtener la pieza propuesta, para ello primero se tiene que diseñar la celosía bajo normas de mampostería no estructural y después se realizará un molde negativo en impresión 3D para posteriormente obtener el molde madre de la pieza.

### *2.5.1 Proceso de obtención de resina PET*

Cuando se habla de termoplásticos se refiere a polímeros que se pueden calentar hasta fundir y con ello adaptarlos a múltiples formas y fines, además de que este proceso puede hacerse una y otra vez, sin embargo, existen diferentes procesos para transformar un termoplástico, puede ser a través de un reciclaje mecánico, que es uno de los más utilizados hoy en día, o un reciclaje químico, el cual es una opción viable hoy en día para tratar los desechos del PET.

El PET es un termoplástico que tiene un punto de fusión entre los 244–260°C, este plástico se puede reciclar de las dos formas, mecánica y químicamente.

Sin embargo, al someter al PET a un proceso de reciclaje mecánico en específico sufre una degradación térmica y mecánica, por lo que sus propiedades mecánicas se ven modificadas a las originales e incluso por debajo del PET virgen, derivando un producto no idóneo para la industria alimentaria.

Por otro lado, el reciclaje químico es una alternativa que se está usando hoy en día, “este método presenta la ventaja que hace posible la obtención de materias primas orgánicas que posteriormente podrían ser usadas para producir nuevamente PET apto para estar en contacto con alimentos u otros materiales con distintas propiedades” (Mariano, 2011, párr. 4).

Al visitar el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) el Doctor Antonio Sánchez Solís, quién es Ingeniero Químico optó por hacer un reciclaje químico del residuo de PET, donde se hace un proceso químico de glicólisis del polietileno tereftalato (PET) para obtener una resina termofija a partir de una botella ya desechada.

Este proceso es similar al de vulcanización que se emplea a la hora de fabricar llantas, en este se adiciona azufre y algunos aditivos que van a modificar el polímero, cuyo objetivo es crear enlaces entrecruzados o puentes entre las distintas cadenas del polímero original. (*Tecnología de los Plásticos*, 2012, párr. 1)

Cabe mencionar que este proceso fue descubierto accidentalmente por Goodyear al vaciar un bote de azufre sobre caucho en una estufa, por lo que se obtuvo un material altamente impermeable y duro. Sin embargo, “hay estudios que demuestran que un proceso similar a la vulcanización, pero basado en el uso de materiales orgánicos (savia y otros extractos de plantas) fue utilizado por la Cultura Olmeca hace 3.500 años antes para hacer pelotas de hule destinadas a un juego ritual” (*Tecnología de los Plásticos*, 2012, párr. 2)

Este proceso es irreversible, puesto que se habla de una resina termofija, como se vio anteriormente, los termofijos no pueden fundirse una vez que estos adquieren su rigidez, al contrario de los termoplásticos que se pueden fundir y rigidizar las veces que se requiera.

Sin embargo, los termofijos adquieren otras ventajas, entre ellas la alta resistencia a elevadas temperaturas, por lo que al llegar a una temperatura mayor estos se empiezan a descomponer es decir a carbonizar.

El PET tiene una estructura larga como un espagueti, formada por las uniones de muchos monómeros, cuando se somete a un proceso de glicólisis, la estructura se va a separar en pequeñas partes y así se obtiene una resina poliéster de este material, a través del entrecruzamiento de sus enlaces.

Es un proceso a nivel químico y de alta especialidad que no es fácil pero los avances tecnológicos han permitido desarrollar, como mencionan los autores Bardales y Seclen (2021);

Está referida a una reacción de condensación inversa, (...) para provocar la degradación, y que obtendrá oligómeros de cadena corta, (...) La glicólisis ha podido convertirse en uno de los procedimientos más viable en el reciclado químico, la bondad de este método radica en la baja

inversión de capital, siendo diferente a la metanólisis, así como la hidrólisis, que requieren plantas de grandes capacidades para posibilitar su viabilidad. (p.22)

Es una alternativa para recuperar un material a través de la descomposición de sus partes y modificarlo para crear otro fin, a través de este proceso se obtiene la resina termofija de PET reciclado que se va a trabajar durante la parte experimental de la presente investigación.

### *2.5.2 Refuerzo granulado con agregados*

Los agregados se obtendrán de una planta recicladora llamada ACCUBO S.A. de C.V. ubicada en Iztapalapa, Ciudad de México y se utilizarán diferentes tamaños de agregados, los cuales son de 1/4" y de 3/8" de pulgada. Estos se obtuvieron de un proceso de separación de cascajo que provienen de concreto simple.

Esto de acuerdo con las clasificaciones de los residuos de construcción y demolición que presenta la Norma NACDMX-007-RNAT-2019.

#### *2.5.2.1 Diluyentes y aceleradores*

Para hacer un concreto polimérico se requiere de otros complementos fundamentales como diluyentes y aceleradores, estos ayudarán por una parte a modificar la consistencia de la resina y con ello mejorar la trabajabilidad de esta y por otro lado, a que se lleve a cabo una reacción química que pueda hacer que la resina empiece a gelar.

Entre ellos está el monómero de estireno, de acuerdo con *Poliformas Plásticas*, empresa que se dedica a elaborar este producto, es un "líquido transparente con olor aromático más utilizado como diluyente de resinas poliéster y gel coats" (párr. 2).

Dentro de sus datos técnicos está, una excelente compatibilidad con resinas poliéster, como la que se va a usar en la investigación y buena integración.

Posteriormente se usará el peróxido de metil-etil cetona k-200, es un peróxido orgánico líquido incoloro transparente y funcionará como catalizador en el concreto polimérico que se está

trabajando. Será el iniciador del proceso de polimerización, “utilizado para el curado a temperatura ambiente de resinas poliéster insaturadas y gel coat`s” (*Poliformas Plásticas*, párr. 1).

Finalmente, se empleará el octoato de cobalto, el cual es un acelerador líquido utilizado en resinas y su función es ir “desarrollando un adecuado secado superficial, así como blancura a los recubrimientos, pinturas y acabados” (*Poliformas Plásticas*, párr.1).

De acuerdo con sus datos técnicos tiene una buena formación de película, lenta volatilidad y alta reactividad con agentes oxidantes.

Cabe mencionar que estos elementos líquidos son indispensables para el proceso de gelación de la resina y sin estos, la mezcla no cambiaría nunca de estado líquido a sólido. Cabe destacar que son materiales fuertes y requieren de un manejo adecuado, ya que son fácilmente inflamables, además se requieren protecciones de seguridad, para el personal que los va a manipular como guantes, lentes, overoles y mascarillas.

## 2.6 APLICACIONES ACTUALES DEL CONCRETO POLIMÉRICO

El concreto polimérico es un material con buenas propiedades mecánicas, físicas y térmicas, por lo que se ha empleado en varias ramas dentro de la construcción.

Hasta hoy en día es un compuesto de materiales que en su mayoría se usa con resinas termofijas y agregados naturales, sin embargo, no se ha empleado con elementos que se obtengan de un residuo o algún elemento reciclado.

Además, como se vio en los capítulos anteriores las propiedades tanto del PET como del concreto una vez reciclados van a variar con respecto a las originales, por lo que se recomienda utilizarlo en elementos nobles y aplicaciones limitadas.

En este sentido la investigación va encaminada a proponerlo en una celosía, donde se realizará el diseño de ésta, el manejo adecuado de los componentes del material y la evaluación de sus características mecánicas y térmicas principalmente.

En México existen varias empresas dedicadas a trabajar con concreto polimérico, el cual fue propuesto desde los años setentas, cuando el American Concrete Institute, (ACI) comenzó a mezclar concretos con polímeros, con el fin de mejorar las propiedades mecánicas del concreto (Freites y Sánchez, 2016, p. 7).

En este material el cemento es sustituido por una resina polimérica termofija la cual va a brindar buenas propiedades mecánicas, alta estabilidad térmica, resistencia a la abrasión, a la corrosión, al fuego, agentes químicos, además de ser impermeable si se desea.

Por estas propiedades se ha empleado en varios elementos dentro de la construcción, sin embargo, ninguno está elaborado con materia prima reciclada, entre las más importantes se encuentran, pisos industriales, tanques para almacenamiento de agua, prefabricados, cubiertas para muebles de baño, saunas, registros de agua y aisladores para transmisión de alta tensión.

### *2.1.1 Elaboración de productos prefabricados*

Una de las aplicaciones más comunes son los prefabricados elaborados por la empresa mexicana Concreto Polimérico Castor, la cual produce elementos para los campos de; alcantarillado, eléctrico, telefonía y construcción, de esta última se destacan bolardos para ciclovías, guías táctiles, tapas para cisternas, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 2.6.**

*Productos prefabricados*



Fuente: Concreto polimérico Castor (2022) <https://acortar.link/zbtnf>

Estos están hechos de concreto polimérico de alta resistencia y están reforzados con fibra de vidrio, por lo que brindan propiedades particulares, entre ellas es que son; ligeros, manejables, ideales para climas extremos y ambientes salinos, resiste a agentes corrosivos, rayos UV, cambios de temperatura, no absorbe líquidos, dieléctricos y auto extinguiible. Además de que se pueden encontrar en una amplia gama de medidas y colores.

Existe otra empresa mexicana con el nombre de Polycom y también se dedican hacer prefabricados similares a los anteriores, pero con una gama de mobiliario urbano extra, algunos bolardos y topes para estacionamiento. Como se muestran en la figura 2.

Esta empresa ha colaborado con el gobierno de la Ciudad de México para brindar una imagen urbana a partir de sus productos innovadores.

**Figura 2.7.**

*Productos prefabricados de Plycom*



Fuente: Concreto polimérico Polycom (2022) <https://polycon.mx/productos-2/>

### *2.1.2 Aplicaciones en acabados y mobiliario*

En México hay un taller de prefabricados que trabaja materiales muy interesantes, entre ellos el concreto polimérico con fibras de vidrio y el GFRC (Glass fiber reinforced concrete) que es un concreto reforzado igual con fibra de vidrio.

El concreto polimérico brinda las siguientes características; es resistente al agua, calor, ligero, resistente mecánicamente y moldeable. Esta empresa crea una variedad de mobiliarios, pérgolas, techumbres, macetas, acabados de fachadas, cubiertas para muebles, entre muchas más, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 2.8.**

*Productos prefabricados de TDP*



Fuente: Taller de prefabricados (2022) <https://www.tallerdeprefabricados.com/>

Estos materiales al estar en climas con altos índices de radiación solar, en contacto con humedad y agentes corrosivos como la sal de mar, deben estar capacitados para resistir estas condiciones ambientales. Por lo que las resinas termofijas brindan esta resistencia a los agentes corrosivos y al agua, mientras que el concreto le da la resistencia mecánica y a la intemperie.

### *2.1.3 Aplicaciones en pisos*

Una de las mayores aplicaciones y probablemente el origen del desarrollo del concreto polimérico, es su uso en pisos, la empresa mexicana EK4 trabaja una diversidad de pisos y recubrimientos poliméricos, los cuales se colocan sobre pisos de concreto para protegerlos de agentes químicos y mecánicos. Su uso es principalmente en la industria y el comercio.

Estos utilizan resinas epóxicas, poliuretanos con cemento y otras mezclas, las cuales ofrecen facilidad de limpieza, flexibilidad y resistencia al impacto, que son requerimientos derivados de las actividades que se llevan a cabo en estos almacenes, como el tránsito de transporte pesado y actividades altamente higiénicas de la industria alimentaria.

En la siguiente figura se muestran ejemplos de aplicaciones de concretos con polímeros, o resinas epóxicas.

**Figura 2.9.**

*Usos de concreto y polímeros en pisos*



Fuente: EK4 Diseño y Construcción (2022) <https://ek4.com.mx/category/principal/>

#### *2.1.4 Propuesta del concreto polimérico con materia prima reciclada*

Hasta ahora se han presentado aplicaciones de este material en diferentes sectores de la construcción con concreto polimérico sin elementos reciclados, es decir componentes vírgenes y sin ningún proceso de recuperación.

Sin embargo, el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM creó el concreto polimérico a partir de compuestos reciclados, donde utilizan una resina termofija obtenida de una botella de PET ya desechada y el concreto reciclado como agregado seco, este último se propuso después de que se aprobará en México la norma ambiental NACDMX-007-RNAT-2019 sobre el reciclaje del concreto en el 2021.

Actualmente este concreto polimérico se ha aplicado en pavimentos como mejoramiento urbano y concreto permeable, es decir que permite la filtración del agua que cae sobre este piso.

Debido a su uso de agregados de tamaño grande permite una alta permeabilidad al agua si se compara con materiales tradicionales que cubren las calles y banquetas hoy en día, lo cual

brinda una mayor durabilidad en superficies de rodamiento pesado e infiltración al subsuelo. Se obtuvo una resistencia de  $f'c$  500 kg/cm<sup>2</sup> lo cual es muy bueno para este sector.

**Figura 2.10.**

*Concreto polimérico reciclado*



Fuente: *Concreto polimérico nanocompuesto a base de concreto reciclado y resinas termofijas* (2022) <https://acortar.link/Inq9Xo>

Este material abre la línea de investigación para proponer otros elementos constructivos que puedan utilizarlo y determinar sus características mecánicas y térmicas, que es lo que abonará la presente investigación.

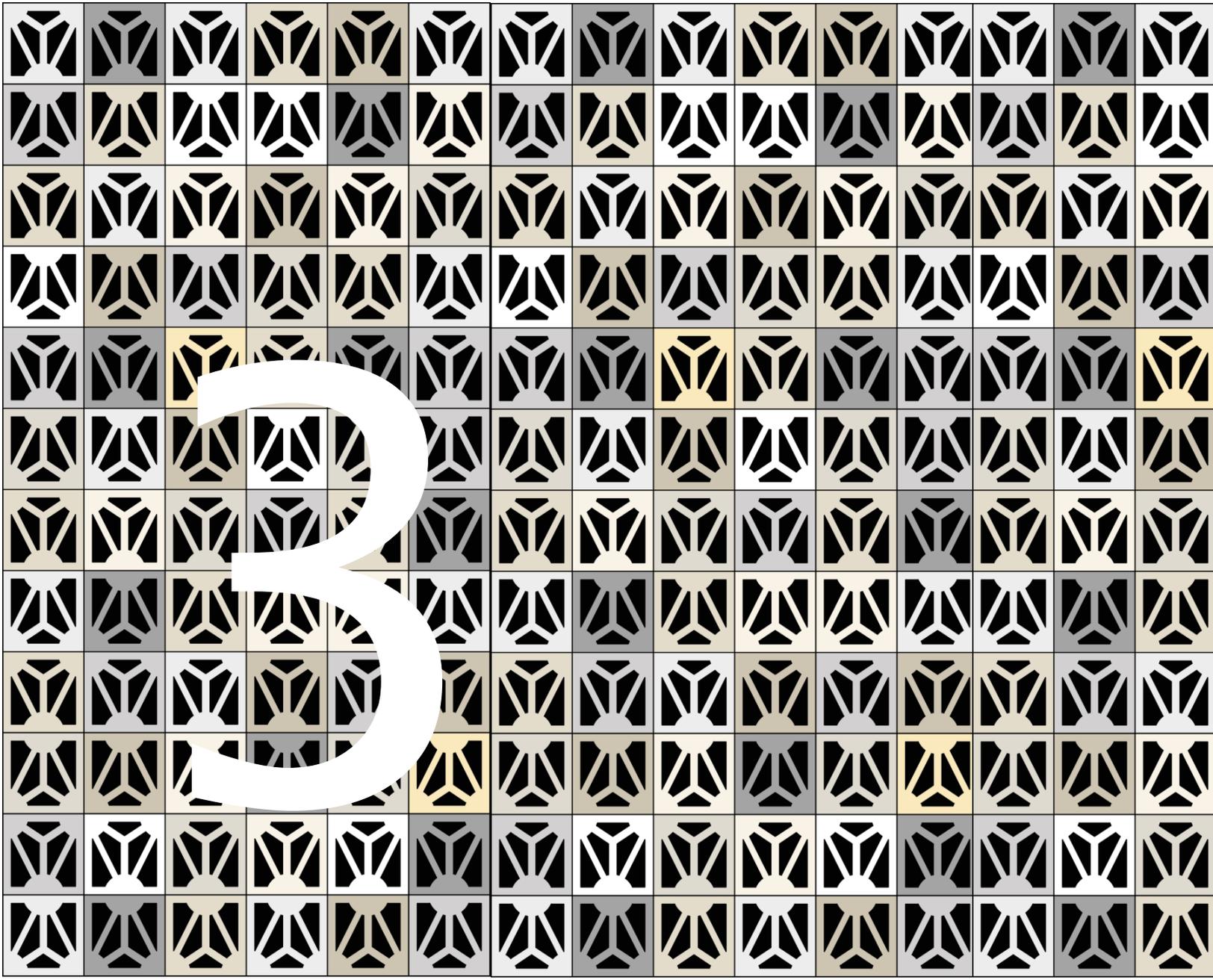
Para ello, se propone elaborar un bloque de celosía que permitan la ventilación e iluminación natural, hecho de concreto reciclado y resina termofija de PET, para ello se usará un tamaño menor de agregados secos con el fin de evitar la permeabilidad y el acabado poroso, al contrario de la investigación previa.

También obtener un bloque con buena resistencia a la humedad, debido a que son empleados con mayor frecuencia en la arquitectura de climas cálidos y húmedos cuyo objetivo es la ventilación e iluminación indirecta de los espacios.

Resistencia a los rayos UV, puesto que se propone en fachadas para exteriores, además de tener buenas propiedades térmicas que funcione como aislador del calor.

Lo que continúa es el diseño de la celosía, de acuerdo a las características que brinda dicho material y la técnica de procesamiento que se llevará a cabo, además de cumplir con las normas de mampostería no estructurales.

Por lo cual, se realizará el modelo 3D de la celosía en Revit, posteriormente se hará un molde negativo en impresión 3d a escala 1:1, para vaciar sobre éste el silicón que será el molde madre y cuyo material facilita el desmolde al no adherirse a la mezcla del concreto polimérico.



3. CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE APLICACIÓN

---

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS CELOSÍAS

Las celosías se han empleado como filtros de luz en el campo de la construcción debido a la influencia de la arquitectura vernácula y tradicional de regiones cálidas, además de la arquitectura árabe como elementos de control lumínico.

Estas surgen desde que el hombre se ve con la necesidad de protegerse del sol a través de diferentes técnicas y materiales que van desde palos de madera entrelazados, muros perforados e incluso textiles.

Una celosía es una pieza prismática que tienen huecos con el fin de permitir el paso parcial del viento y la luz solar de un espacio a otro de forma natural, además de estar compuesta de geometrías y patrones que la hacen un elemento decorativo dentro de la arquitectura para delimitar espacios.

Estas piezas se pueden usar como elementos constructivos de protección solar, sobre todo en ciudades con climas calurosos y con ellas lograr una ventilación cruzada en los espacios interiores, esto acompañado de un estudio solar previo para colocarlas en lugares estratégicos de la vivienda y hacer eficiente su uso en la arquitectura.

Por otra parte, como respuesta a una arquitectura condicionada “por la búsqueda constante de soluciones y diseños que tengan presentes criterios de sostenibilidad y ahorro energético” (Garrido Roca, 2017, p. 25).

De acuerdo con un estudio realizado por CONACYT y la Secretaría de Energía y Sustentabilidad Energética (2009) demostró que “el uso de sistemas pasivos en las viviendas es deficiente y que se puede mejorar el diseño para que las viviendas sean más adecuadas al clima donde están edificadas” (p. 42).

Este estudio se realizó en cinco zonas climáticas diferentes de México, entre ellas la zona de Morelos donde se obtuvo que el 98 % de las viviendas evaluadas no tienen criterios de diseño para mejorar el desempeño térmico de las viviendas.

Por lo que, surge la siguiente pregunta ¿el uso de celosías que son elementos para lograr una ventilación natural y control lumínico como sistemas de adaptación a fachadas desfavorables

coadyuvarán en la reducción del uso de sistemas activos de ventilación como lo son el aire acondicionado y ventiladores de techo o pedestal, así como el consumo energético de la vivienda?

Aunque las celosías no son consideradas como sistemas pasivos de diseño, si son elementos constructivos que a través de un método de ventilación cruzada utilizan los recursos como el viento a su favor para refrescar un espacio arquitectónico.

De manera que podrían ayudar a reducir el consumo energético producido por sistemas activos de ventilación en una vivienda e incluso lograr que estos no se requieran, acompañándolas de estrategias de diseño, estudios solares, orientaciones, alturas, colores en acabados, etc.

Por este motivo se propone diseñar una celosía hecha con concreto polimérico reciclado, cuyas propiedades mecánicas y térmicas permitirán la búsqueda de un ahorro energético en la vivienda del caso de estudio.

La celosía se colocará en una fachada exterior de una vivienda unifamiliar ubicada en Cuautla Morelos, donde se presentan temperaturas elevadas la mayor parte del año, se caracteriza por ser un municipio caliente, con rangos desde los 11 °C hasta los 32 °C, la temporada que tiene los días más calurosos es del 22 de marzo hasta el 27 de mayo, solo 3 meses de 12, por lo que es viable construir con celosías que permitan detener la ganancia térmica de una fachada desfavorable y con ello disminuir el uso de sistemas de aire acondicionado.

Hoy en día se pueden encontrar una gran variedad de diseños y materiales con las que se elaboran las celosías, por ejemplo, de barro rojo recocido y concreto son las más utilizadas en México, sin embargo, la propuesta va a emplear el concreto polimérico reciclado para mejorar la estabilidad mecánica y térmica del espacio donde se coloque dicha celosía.

Este material proporcionará un adecuado funcionamiento mecánico y térmico de la pieza, ya que al usar un polímero como una resina termofija brindará mayor capacidad de aislamiento térmico o menor conductividad de calor al interior del espacio arquitectónico donde se encuentre este elemento.

Además, a través de la geometría diseñada, dimensiones y propiedades de la pieza, está podrá ser aplicada con un correcto uso y funcionamiento calificado por las normas NMX-C-441-

ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2013 para formar parte de un elemento de mampostería no estructural.

Esto se corroborará a través de pruebas mecánicas como resistencia a compresión de la pieza individual y a tensión diagonal de un murete hecho con celosía.

Asimismo, se llevarán a cabo pruebas de comportamiento térmico para comparar con otros materiales y simulaciones digitales a fin de ver el comportamiento solar y de viento en la geometría diseñada.

### *3.1.1 Propuesta de diseño*

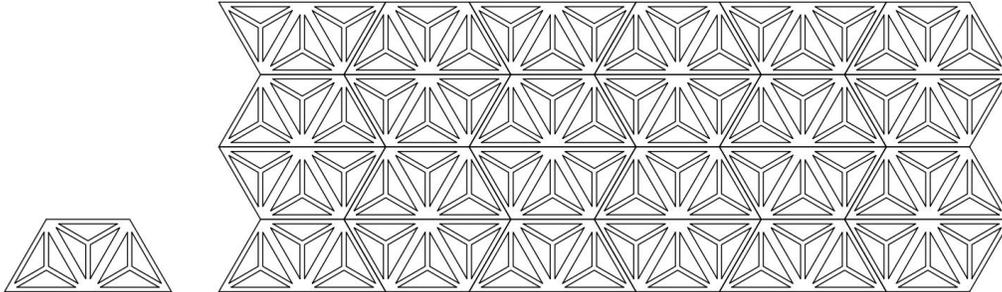
Se planteo una celosía de uso no estructural hecha sin ningún tipo de maquinaria especial, la cual tiene como objetivo ser aplicada en muros divisorios interiores y exteriores, siendo este último el más recomendado, la idea surgió como una propuesta de fachada que permita una ventilación e iluminación natural para casas de vivienda unifamiliar en zonas con climas cálidos – húmedos, como lo es en Cuautla Morelos.

De acuerdo con la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 se clasifican las piezas en bloques, tabiques (ladrillos o tabicones) y piezas para celosías. Además, que los materiales que menciona la norma son de arcillas y concreto, sin embargo, en la presente investigación se va a trabajar con un material reciclado que no está contemplado actualmente en la norma mexicana de mampostería estructural y no estructural.

Sin embargo, de acuerdo con la norma, si los materiales y las formas son diferentes a lo indicado en ella, se pueden utilizar siempre y cuando cumplan con todos los requisitos presentes en dicha norma. (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación S.C. [ONNCCE] 2013, p. 2)

Al principio de la investigación se pensó en una forma triangular para el diseño de la celosía, como se muestra en la siguiente figura.

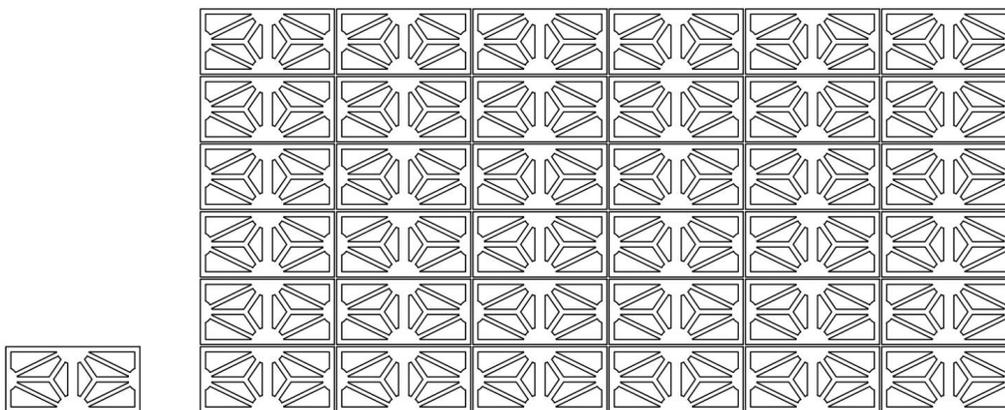
Pero al revisar las normas técnicas complementarias “se imponen requisitos geométricos y de refuerzo que están basados principalmente en la experiencia de comportamiento de estructuras reales” (*Gaceta oficial de la Ciudad de México*, 2020, p. 14).

**Figura 3.1.***Primera propuesta de celosía*

Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

De tal manera que, al analizar los requisitos en medidas, modulaciones, geometrías se cambió la propuesta original sin perder la esencia del diseño, por lo que se adaptó esa forma triangular a una prismática, con el fin de facilitar su traslado y colocación, además de que la pieza no sufra algún percance como despostillamiento a la hora de manipularla en la obra.

Una vez revisadas las medidas y modulaciones que establecen las normas técnicas complementarias de mampostería se pensó en una forma tradicional como es el rectángulo, con dimensiones de 12x24x6 cm (alto x largo x ancho), como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 3.2.***Segunda propuesta de celosía*

Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

Posteriormente se llevó a cabo un ejercicio empírico donde se hicieron varios moldes con la geometría propuesta para analizar si funcionaba. Primero se realizó un colado de cemento normal en un molde de cartón y no se obtuvieron buenos, el cemento no entraba en las paredes interiores de la celosía con fluidez y facilidad, sin embargo, se muestra a más detalle en el anexo A los errores que se tuvieron, pero como a partir de estos fue cambiando la propuesta.

Después se realizó un segundo colado, pero con un molde de MDF, sin embargo, seguía fallando la geometría por lo que se consultó de nuevo la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013.

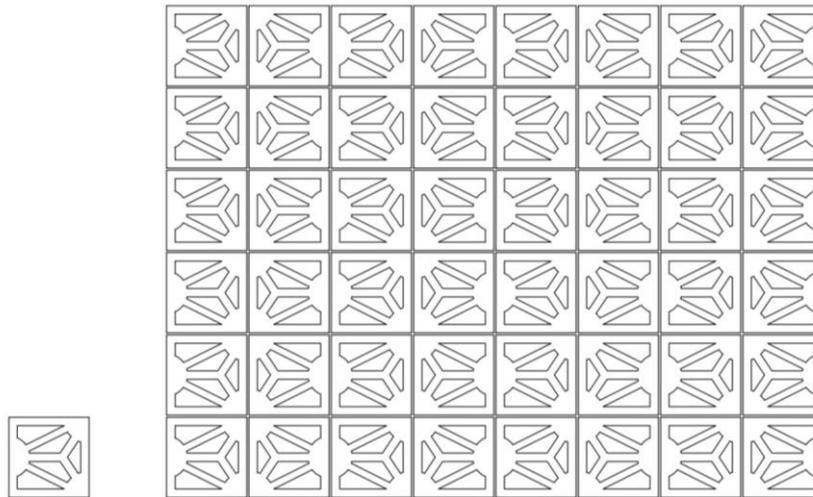
Durante estos dos intentos fallidos se observó, por un lado, que se tuvieron errores en la estabilidad del molde y trabajabilidad del material y por otro lado los espesores en las paredes interiores de la celosía eran muy delgadas y a la hora de desmoldar se presentaron dificultades con el riesgo a quebrarse muy fácil. De tal manera que con la densidad que presenta el concreto es complicado hacer que, entre correctamente en esas paredes delgadas sin empujar y probablemente deformar la figura original, al tener un molde con poca resistencia como el cartón.

Por lo que se consideró ajustar el diseño de la celosía, al ser un rectángulo con una reflexión al centro, se optó por trabajar con la mitad del rectángulo y hacer una pieza cuadrada, con el fin de utilizar dimensiones más grandes y con espesores mayores.

De acuerdo con la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 las celosías deben tener no menor a 8 mm en paredes exteriores e interiores. Mientras que en bloques de concreto “el espesor mínimo de las paredes interiores y exteriores de piezas de concreto es de 17 mm” (ONNCCE, 2013, p. 3).

Una vez verificada esta información, se procede a modificar la celosía ya que los espesores manejados en un inicio eran por debajo de los indicados a la hora de trabajar con un concreto y al aumentar el espesor en las paredes interiores y exteriores en la pieza, presentará mayor resistencia al desmoldarla.

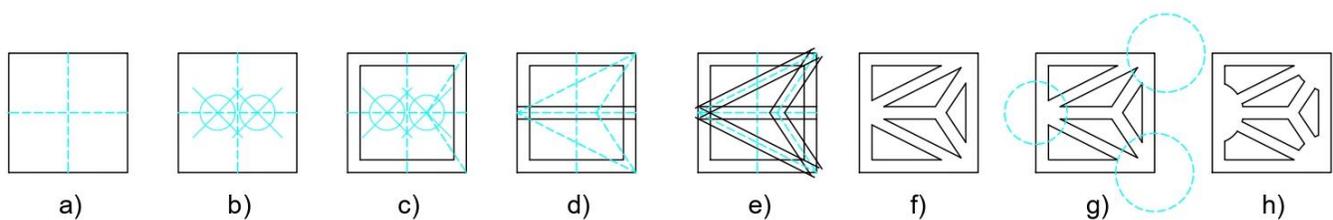
En la siguiente figura se muestra el diseño 3 de celosía con las siguientes dimensiones 20x20x10 cm (alto x largo x ancho) con espesores de 20 mm en paredes exteriores y 17 mm en paredes interiores.

**Figura 3.3.***Tercera propuesta de diseño de celosía*

Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

El diseño se pensó en una adaptación a la idea original la cual se basaba en un triángulo, posteriormente las normas guiaron a adaptarse a modulaciones establecidas y medidas mínimas.

En la siguiente imagen se muestra cómo se llegó a la geometría que se está trabajando.

**Figura 3.4.***Proceso de diseño adaptado a la idea original*

Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

Primero se trazaron dos ejes simétricos en ambas direcciones del cuadrado (a), posteriormente se dividió en 3 partes iguales el eje horizontal (b), una vez obtenidas estas referencias se traza un eje de las dos esquinas del lado derecho hacia el centro de una tercera parte del cuadrado (c) y se da el espesor a la pared exterior de la pieza, después se conectan estas

dos esquinas del lado derecho al centro del cuadrado del lado izquierdo (d) y se da espesor al eje horizontal del cuadrado. A continuación, se dan espesores a todos los ejes trazados, con excepción del eje vertical (f), se quitan los ejes y se cortan las líneas interceptadas, finalmente se trazan tres círculos para redondear las esquinas y hacer el diseño más amable (g).

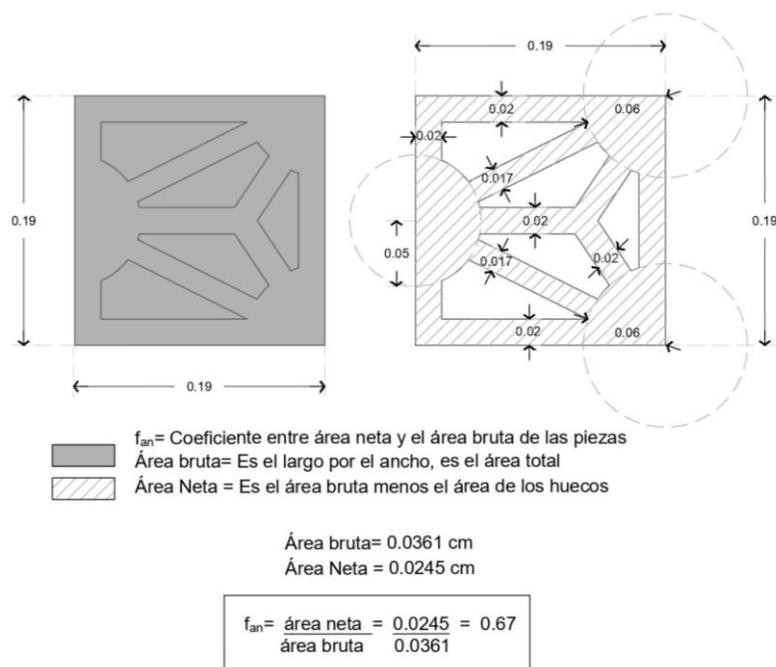
### 3.1.2 Dimensiones de la celosía

En la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 se establece el área neta<sup>7</sup> y el área bruta<sup>8</sup> que deben cumplir las piezas de mampostería, donde las piezas para celosías “deben tener un área neta mayor o igual al 50 % del área bruta, y las paredes exteriores e interiores deben tener un espesor no menor que 8 mm” (ONNCCE, 2013, p. 4).

El diseño cumple con esta parte de la norma como se muestra en la figura 3.5.

**Figura 3.5.**

*Área neta del diseño de la celosía*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

<sup>7</sup> Es la superficie sólida de la pieza, se obtiene de restar el área de los huecos del área total de la pieza de mampostería

<sup>8</sup> Es el área comprendida dentro del perímetro de la pieza de mampostería, viéndolo de su cara normal.

Una vez corroboradas las dimensiones mínimas establecidas en las normas mexicanas se procedió a realizar un tercer molde con papel cascaron, cinta adhesiva y cartón grueso ya con las observaciones que se tuvieron anteriormente.

Se preparó el cemento para colar en el molde y se verifico que fuera cemento blanco, se usó 2 kg de cemento blanco y 4 kg de arena cernida, además del 80 % de agua para mezclar y obtener una buena trabajabilidad de la mezcla, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 3.6.**

*Tercer intento de colado*



Nota: Se muestra el resultado de la celosía colada con cemento. Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

En esta ocasión se desmolda con éxito y es muy fácil retirar los volúmenes internos ya que al aumentar los espesores de las paredes interiores les da mayor resistencia y no se rompen al desmoldar, como sucedió anteriormente.

Sin embargo, el material con el que se va a trabajar es un concreto polimérico reciclado, para ello es importante saber si funciona también con un concreto ya con una dosificación adecuada, para lo cual se hizo un segundo molde para colar con un concreto, es decir arena, grava, cemento y agua, con el fin de ver si funciona la geometría ya con agregados más gruesos.

Se decidió hacer un concreto f'150 kg/cm<sup>2</sup> para ello se usaron las conversiones adecuadas para usar 1 kilo de cemento gris. En la figura 3.7 se muestra el proceso del colado, donde se realizó de nuevo un molde de papel cascarón y se hizo un vaciado con mayor facilidad.

**Figura 3.7.**

*Colado con concreto  $f' = 150 \text{ kg/cm}^2$*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022).

Fue más sencillo colar la celosía con un concreto, pero hay que destacar que la grava que se utilizó fue menor a 5 mm y se le conoce como granzón, está fue obtenida al momento de cernir la arena con un tamiz de 5 mm.

En la figura 3.8 se muestra la celosía desmoldada como resultado de colar con un concreto  $f' = 150 \text{ kg/cm}^2$

**Figura 3.8.**

*Colado con concreto  $f' = 150 \text{ kg/cm}^2$*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022).

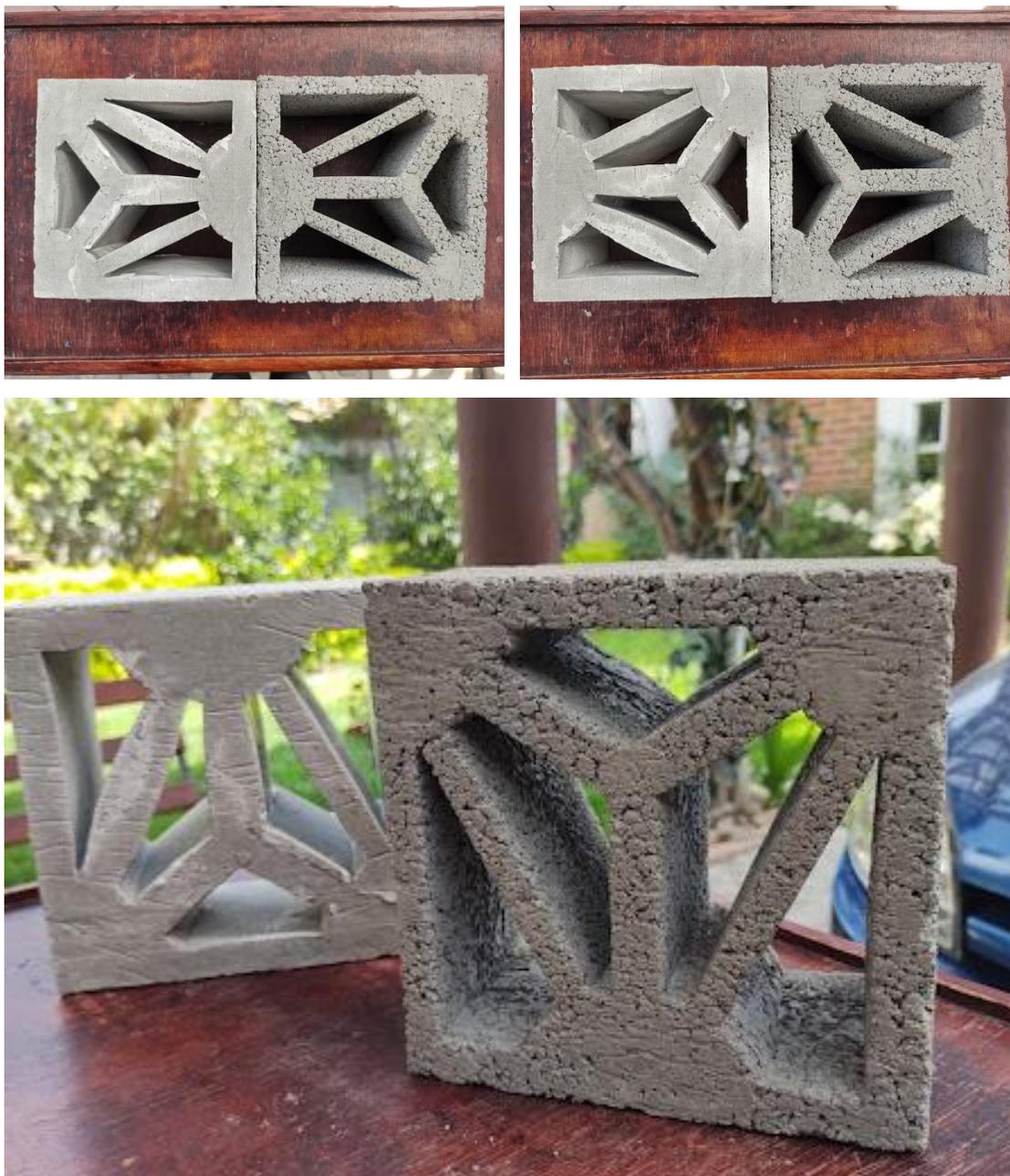
La celosía hecha de cemento es más pesada que la pieza de concreto, esto se debe a que la celosía tiene un mayor número de agregado granular y menor cantidad de pasta o cemento, lo que resulta en una pieza más ligera,

En la figura 3.9 se muestran los resultados de ambas pruebas, donde se confirma que la geometría y los espesores de paredes exteriores e interiores son adecuados para colar un concreto normal, ahora se tiene que verificar si funciona de la misma manera con el concreto polimérico reciclado y cómo se comporta.

Hasta el momento se han utilizado moldes de cartón con solo una vida, ya que estos se rompían al desmoldar la pieza, por lo que se requiere otro tipo de molde que pueda utilizarse más de una vez para poder sacar varias piezas y hacer el proceso más económico.

**Figura 3.9.**

*Resultado de celosías*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022).

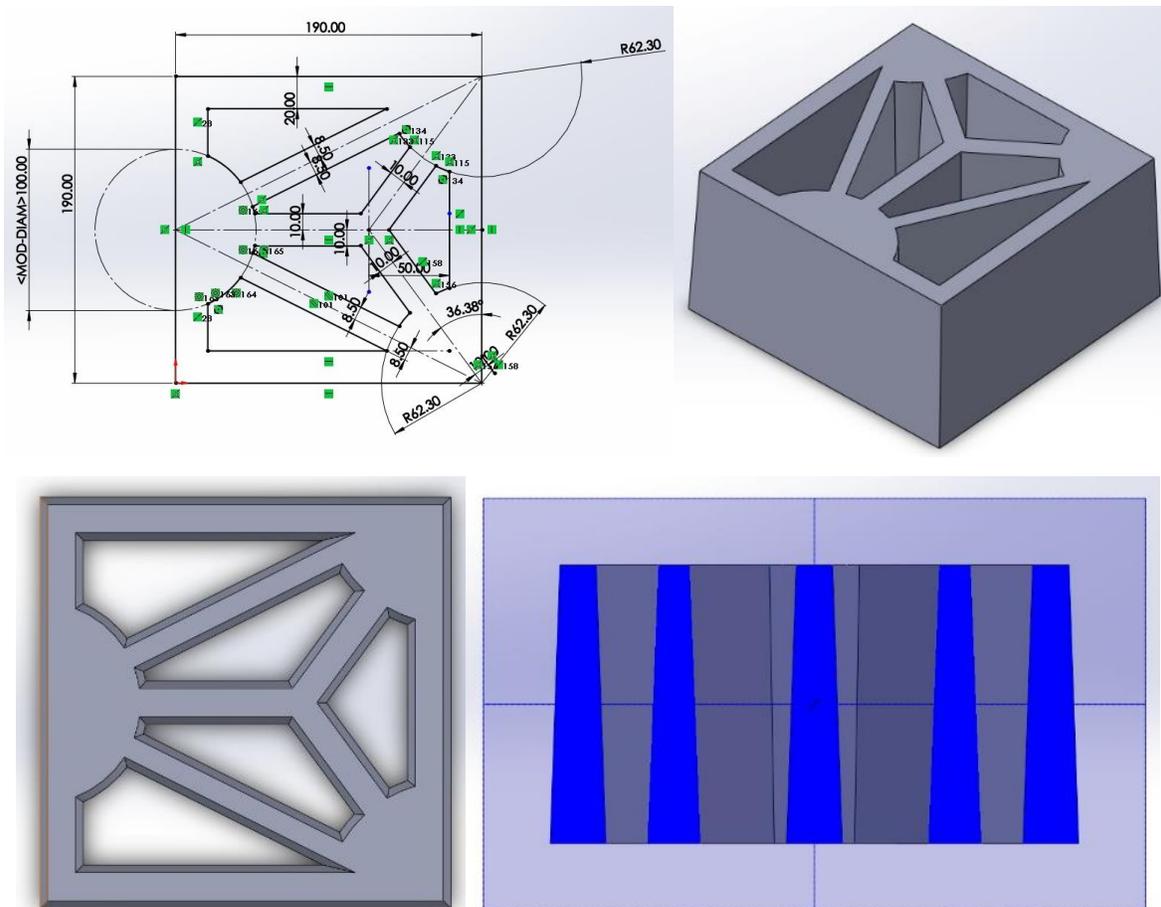
Para comenzar a trabajar con el concreto polimérico reciclado, se requiere de un molde que sea resistente al desgarre para utilizarlo más de una vez y además que la superficie de este no se adhiera al material y facilite su desmolde, el material adecuado es un caucho de silicón.

### 3.1.3 Elaboración de moldes

Para comenzar a trabajar con el concreto polimérico reciclado se requiere de dos moldes, el primero es un molde en negativo que servirá para poder sacar el segundo molde o mejor conocido como molde madre. Para ello se modelo en Solidworks la celosía, cabe mencionar que tiene una ligera inclinación de 0.2 mm a lo ancho de la pieza para facilitar su desmolde, como se muestra en la figura 3.10.

**Figura 3.10.**

*Medidas y modelado de la celosía en Solidworks*



Nota: Se muestran las medidas de la celosía, vistas en 3D y el corte donde se puede apreciar la inclinación de la pieza. Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022).

Posteriormente la celosía se imprimió en 3D a escala 1:1 con filamento PLA y se llevó a cabo en un tiempo de 59 horas, para hacer el molde negativo se elaboró un cajón con madera de triplay de 2 cm de espesor para contener el silicón que se vaciará en el cajón, como se muestra en la figura 3.11.

**Figura 3.11.**

*Molde negativo con pieza en impresión 3D y cajón de madera*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

### *3.1.3.1 Elaboración de molde madre*

Una vez logrado el molde negativo se acudió a la empresa Poliformas Plásticas ubicada en Viaducto Pde. Miguel Alemán Valdés No. 61, Álamos, Benito Juárez, 03400 Ciudad de México para recibir una capacitación de vaciado en Caucho 3D, donde te asesoran y recomiendan el silicón adecuado conforme al material que se va a trabajar en el molde, en este caso el concreto polimérico reciclado.

Existen 5 silicones con los que se pueden hacer moldes de diferentes usos y aplicaciones, en este caso se utilizó el silicón P-53, que es el más recomendado de acuerdo con su costo-beneficio, puesto que no es de los más caros, pero es muy resistente al desgarre y elástico,

características importantes entre los cauchos de silicón, lo que lo hace idóneo para la fase experimental de la investigación.

Todos los silicones necesitan diluirse dependiendo del tipo de silicón que se esté trabajando. El P-53 se diluye un 10 % del total de silicón que se va a utilizar, sin embargo, esto es opcional, en este caso para la elaboración del molde madre no se diluyó el caucho de silicón, ya que no debe de excederse este porcentaje de diluyente o el caucho comenzará a perder sus propiedades.

También se requiere de un catalizador o TP, el cual es un iniciador que ayuda al proceso de vulcanización, este proceso pasa por tres etapas importantes, primero de un estado líquido a sólido, la segunda es que existe un punto de gel, quiere decir que ya está pegajoso y finalmente el curado o vulcanizado total, cuando el silicón está completamente sólido.

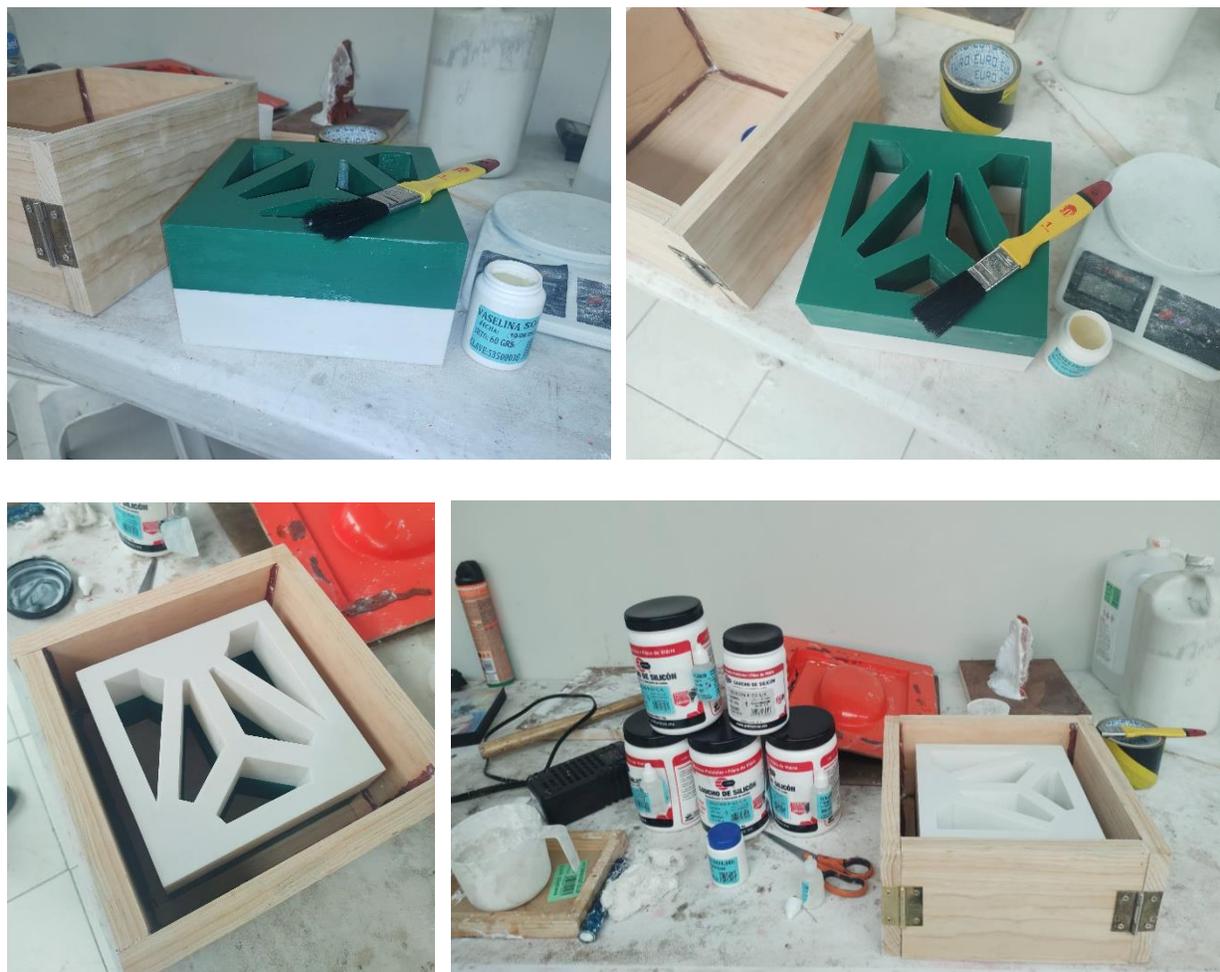
Posteriormente se calcula la densidad (D) del material que se requiere para hacer el molde, esto se obtiene dividiendo el peso entre el espacio o volumen. Primero se sacó el volumen del cajón de madera y se restó el volumen de la pieza, sin embargo, para hacerlo más exacto se hizo de manera empírica y se vació marmolina en el molde, después se pesó el total de esta, por lo que se obtuvo de las dos maneras anteriores 4.5 kg de densidad, por lo que se procedió a comprar esta cantidad de caucho de silicón para hacer el vaciado.

Para iniciar el proceso se le unto vaselina a la pieza 3D para evitar una adhesión entre el silicón y la celosía.

Posteriormente se pegó con el mismo silicón la pieza 3D al cajón de madera y se agregó plastilina a las juntas del cajón para evitar fugas en el vaciado. Este proceso se muestra en la figura 3.12.

**Figura 3.12.**

*Proceso de colocación de la pieza 3D en cajón de madera*



Nota: Se le aplicó vaselina a la pieza y se pegó al cajón de madera Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022).

Una vez fijada la pieza al cajón de madera, se comenzó a preparar el caucho de silicón en un recipiente donde se pudiera mezclar perfectamente hasta lograr una mezcla homogénea y pesar los ingredientes para tener un control exacto de los gramos que se estaban trabajando, como se muestra en la figura 3.13.

**Figura 3.13.**

*Preparación del caucho de silicón para el vaciado en el molde*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

Una vez logrado esto, se le agregó el catalizador TP a un 2 % este porcentaje corresponde al tiempo que tarda la mezcla en gelar, al usar un bajo porcentaje de TP permitirá tener más tiempo para hacer el vaciado correctamente, con calma y sin precipitaciones para alguien que apenas está empezando a trabajar con estos silicones. Cabe mencionar que en cuanto le agregas el catalizador o iniciador, comienza el proceso de vulcanización y pasa de estado líquido a sólido, por lo que se tiene que trabajar de manera rápida y precisa.

Además, se agregó un colorante para corroborar la homogenización de la mezcla, como se muestra en la figura 3.14.

Finalmente se hizo el desmolde 24 horas después del vaciado, por lo que se obtuvieron los siguientes resultados expuestos en la figura 3.15.

**Figura 3.14.**

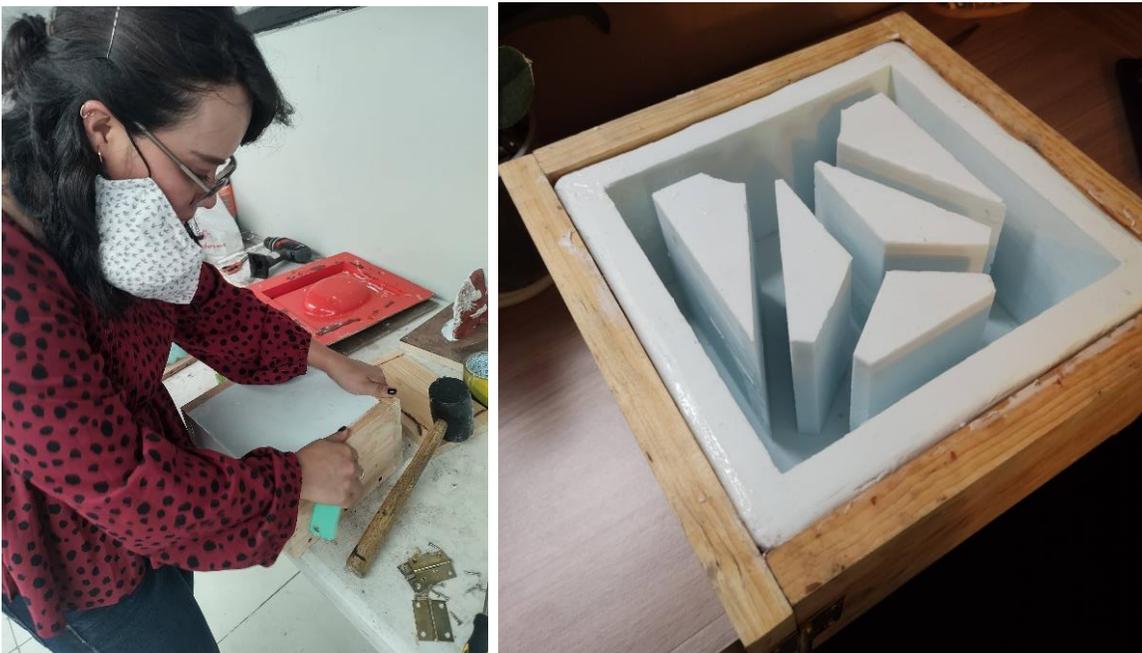
*Mezclado y vaciado del caucho de silicón*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022).

**Figura 3.15.**

*Desmolde y resultado*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022).

### *3.1.4 Inicio de trabajo con el concreto polimérico reciclado*

Se comenzó a trabajar en el Instituto de Investigación de Materiales (IIM) de la UNAM con el Dr. Antonio Sánchez quién es técnico académico titular del Instituto y creador de la resina poliéster insaturada obtenida de botellas de PET recuperadas de los residuos sólidos.

Para realizar una pieza de celosía se utilizaron las siguientes proporciones de materiales con una relación 4:1.

Se comenzó pesando los agregados reciclados en seco, como se muestra en la figura 3.16. Para lo cual se utilizaron tamaños de 1/4 y de 3/8 de espesor, obtenidos en el Instituto, procedentes de la planta recicladora ACCUBO S.A. de C.V. ubicada en Iztapalapa, Ciudad de México.

**Figura 3.16.**

*Peso de los agregados reciclados*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

Se utilizaron 3 Kg de agregados gruesos reciclados, los cuales se procedieron a mezclar en seco para incorporar ambos agregados. Se comenzó a trabajar con una relación 4:1 donde se

obtuvo la cantidad de resina poliéster insaturada que se requiere para trabajar la mezcla, la cual fue de 0.75 kg, como se muestra en la siguiente operación.

$$\frac{3Kg}{X} + \frac{4}{1} = x = \frac{(3 * 1)}{4} = 0.75 Kg \text{ de resina}$$

La resina poliéster insaturada empleada es de color obscuro como se muestra en la figura 3.17, lo que da un aspecto incluso de una resina sucia, esto como resultado del proceso de reciclaje químico a la que fue sometida y a la mezcla de diferentes botellas de PET durante el proceso de reciclaje. sin embargo, esta tiene casi las mismas propiedades que una resina virgen.

**Figura 3.17.**

*Resina poliéster insaturada*



Nota: Se muestra el color de la resina con la que se trabajó y se incorpora a los agregados en estado seco. Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022).

Se procede a agregar la resina a los agregados granulares secos y comenzar a mezclar muy bien, hasta homogenizar adecuadamente todos los agregados, como se muestra en la figura 3.18.

Para continuar, a la mezcla se le agrega un monómero de estireno, el cual va a corresponder al 35 % de lo que se usó de resina poliéster.

$$x = 750 \text{ gr} * 0.35 = 262.5 \text{ g de monómero}$$

Se agrega el 4 % de Peróxido de metil etil acetona correspondiente a la resina.

$$x = 750 \text{ gr} * 0.04 = 30.2 \text{ g de Peróxido}$$

Se agrega el 2 % de acelerador de octoato de cobalto correspondiente a la resina.

$$x = 750 \text{ gr} * 0.02 = 15.1 \text{ g de acelerador}$$

Una vez agregado el peróxido y el monómero se mezcla hasta incorporar muy bien con los agregados y la resina, en este caso se utilizó un bote de 19 litros y un agitador de madera.

**Figura 3.18.**

*Mezclado de los agregados y complementos químicos*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022).

Ya que se logra incorporar perfectamente la mezcla, se agrega el acelerador, este paso es muy importante, debido a que éste es un iniciador del proceso de vulcanización, es decir una reacción química donde la resina comienza a endurecer y pasa del estado líquido a sólido, además de ser un proceso irreversible por lo que la resina va a adquirir su resistencia máxima en 24 horas aproximadamente.

Esta reacción química es contra el tiempo y esto va a depender del porcentaje que se maneje de acelerador de cobalto. De acuerdo con los porcentajes mencionados anteriormente se tiene un tiempo aproximado de 15 minutos para mezclar perfectamente el acelerador y hacer el vaciado de la mezcla al molde final. En la figura 3.19 se muestra el resultado una vez que se vació la mezcla al molde y se compacta con el agitador de madera para asegurar que no queden vacíos al interior de la pieza.

**Figura 3.19.**

*Vaciado y compactado de la mezcla en el molde*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

Una vez realizado el vaciado del concreto polimérico al molde hay que esperar 24 horas para desmoldar la pieza, este tiempo hay que considerarlo en el proceso de fabricación, ya que se requeriría un mayor número de moldes si se piensa incrementar el número de piezas por día.

Una vez transcurrido el tiempo necesario para que la resina endurezca, se desmolda con parcial facilidad, ya que el molde de caucho de silicón no se adhiere a la superficie del concreto reciclado, pero se observó que las paredes interiores de la celosía ejercen presión a la hora de desmoldar la pieza, por lo que se requiere mojar con agua el molde y el material para hacer que resbale con mayor facilidad.

En esta primera prueba se obtuvieron dos tipos de acabados, evidentemente las propiedades serán diferentes, el primero es un terminado liso y en este se concentra con mayor cantidad la resina, lo que la hará impermeable al agua y el segundo terminado es más poroso y permeable. Como se muestra en la figura 3.20 los resultados de este primer colado.

**Figura 3.20.**

*Resultados del primer colado*



Nota. Se muestran los dos tipos de acabados que se pueden lograr con el concreto polimérico reciclado. Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022).

## 3.2 PRUEBAS MECÁNICAS

Después de haber trabajado en el Instituto de Investigación de Materiales, se comienza a trabajar en casa para obtener más piezas, que permitan realizar las pruebas mecánicas pertinentes.

Cabe destacar que, aunque la pieza no es estructural debido a que no forma parte de los elementos portantes de la construcción, debe cumplir con parámetros mínimos que se especifican en las normas mexicanas de mampostería, con el fin de garantizar su comportamiento ante fuerzas externas a la estructura, como los es un sismo o por viento.

De acuerdo con las normas técnicas complementarias de mampostería, la resistencia a compresión de las piezas es el parámetro más importante del que dependen las propiedades mecánicas de los muros de mampostería.

Para ello se pide que las piezas de mampostería, en este caso las celosías cumplan “con cierta resistencia a compresión ensayadas ante carga vertical y en la posición en que van a formar parte del muro” (ONNCCE, 2013, p. 8).

El objetivo de dichas pruebas es medir la resistencia a compresión por pieza individual y el comportamiento ya colocadas en un muro de mampostería donde trabajan con las juntas de mortero.

La metodología será; realizar dos pruebas mecánicas, la primera es de resistencia a compresión de la pieza individual y la segunda es de resistencia a compresión diagonal por murete.

Para llevar a cabo dichas pruebas es necesario máquinas de ensayo que pueden ser de tipo “a compresión” o “universal”, en este caso se ocupará la máquina universal del laboratorio de mecánica de materiales de Ingeniería Civil (L4) de FES Aragón que tiene una capacidad de 120 toneladas.

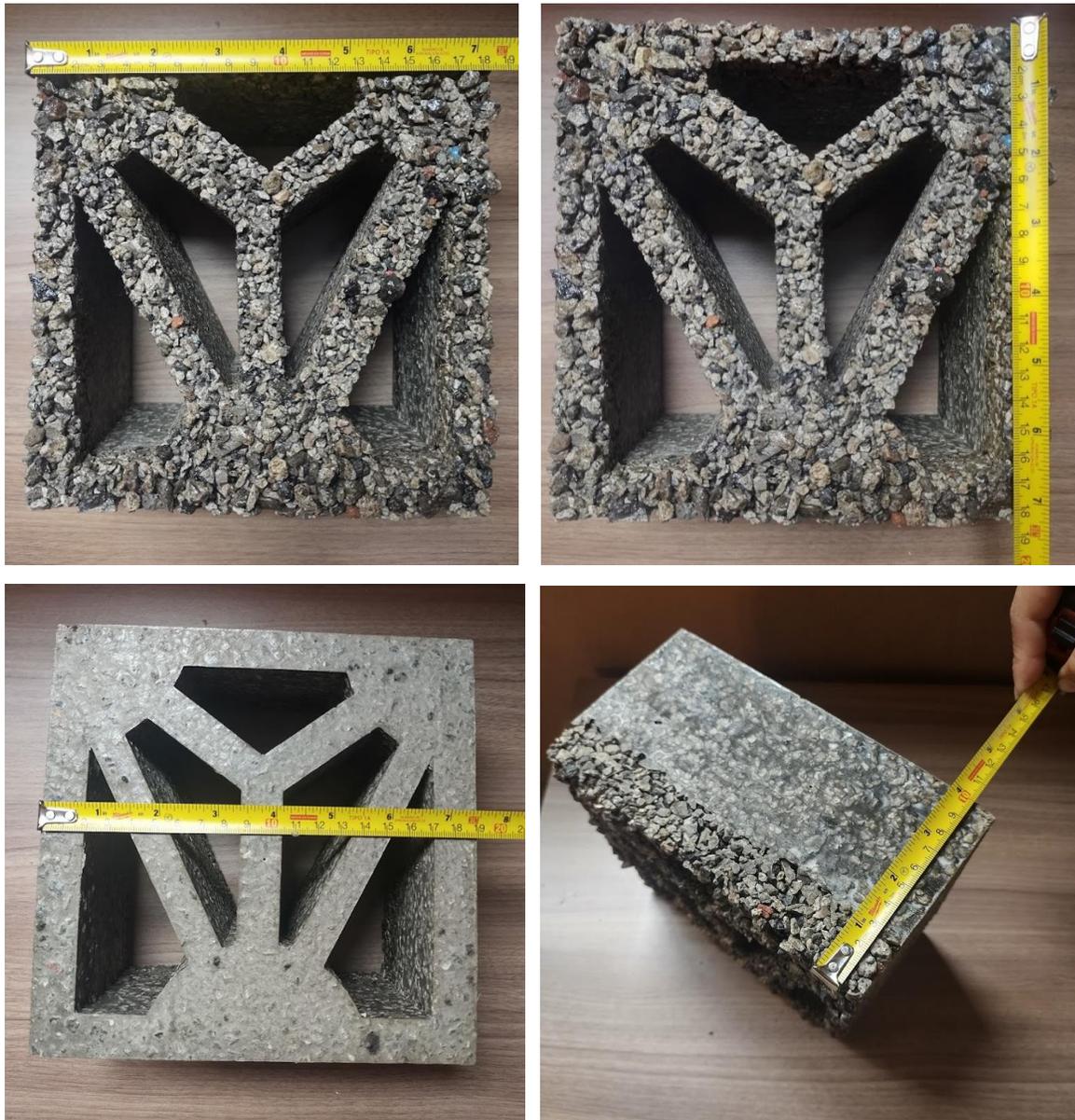
Se realizará el método de ensayo indicado en la norma mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2002, con los siguientes pasos.

### 3.2.1 Resistencia a compresión de la pieza individual:

Es una celosía que tiene una dimensión de 19 x 19 x 10 cm (largo x alto x ancho) hecha con concreto polimérico reciclado; una pieza de celosía es una unidad que formará parte de una muestra.

**Figura 3.21.**

Fotografías de la *pieza individual de celosía*



Nota: Se muestra la pieza individual con medidas. Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

### *3.2.1.1 Tamaño de la muestra*

El tamaño de la muestra debe estar constituida por mínimo 5 piezas, esto para verificar el cumplimiento de la norma NMX-C-036-ONNCCE-2013 que especifica los métodos de ensayo para pruebas de resistencia a compresión de bloques, tabiques, ladrillos, celosías y adoquines.

**Figura 3.22.**

*Tamaño de la muestra*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

### *3.2.1.2 Preparación de la probeta*

Las probetas deben estar almacenadas 48 horas, sin apilarse una con otra y separadas a una distancia de 13 mm mínimo en el laboratorio, a temperatura ambiente de  $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa de 80 % máximo.

Estas piezas deben estar completas, sin fallas ni fisuras.

### *3.2.1.3 Condiciones ambientales*

Las condiciones ambientales no son determinantes en el presente ensayo por lo que se pueden llevar a cabo las pruebas a temperatura ambiente.

### 3.2.1.4 Procedimiento

Muestra: celosía 1

Procedencia: fabricación a mano

Fecha de fabricación: 14 de septiembre 2022

Dimensiones: 190 x 190 x 100 (largo x alto x ancho en milímetros) espesores de paredes interiores y exteriores es de 20 mm

Defectos observados en la pieza: tiene una ligera inclinación en sus paredes exteriores, producto de la pendiente que se dejó en el molde para facilitar su desmolde.

Fecha de medición: 17 de noviembre de 2022

#### **Cabeceo:**

Verificar que sean superficies planas con una tolerancia de  $\pm 0.05$  en la longitud de 150 mm tomadas en las dos direcciones ortogonales.

#### **Colocación de la probeta**

Acomodar la celosía en la posición que serán colocadas en el muro de mampostería, no se tenía claro la posición final de la celosía al ser una pieza cuadrada, por lo que se probó primero en la posición como se muestra en la siguiente figura.

#### **Figura 3.23.**

#### *Colocación de la celosía*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

### Velocidad de la carga

Se debe aplicar la carga de una manera uniforme y continua sin producir impacto ni pérdida de carga, la velocidad debe estar en el intervalo de 0.137 MPa/s a 0.343 MPa/s es decir de 84 kg/cm<sup>2</sup>/mínimo a 210 kg/cm<sup>2</sup>/mínimo.

#### 3.2.1.5 Cálculos y expresión de resultados

Para hacer el cálculo del esfuerzo a la compresión se divide la carga máxima registrada por la máquina universal entre el área bruta de una sección perpendicular a la dirección de la carga sin descontar los huecos.

La fórmula es la siguiente:

$$f_p = \frac{P}{A}$$

$f_p$  = esfuerzo resistente a la compresión MPa (kg/cm<sup>2</sup>)

P = carga máxima, N (kg)

A = área bruta del espécimen en mm<sup>2</sup> (usar cm<sup>2</sup> para el sistema usual)

Se deben incluir los siguientes datos:

- **Espécimen 1**

Identificación de la Muestra: celosía 1

Tipo y procedencia: hecha a mano con concreto polimérico reciclado

Edad nominal: 64 días

Dimensiones en cm: 190 x 190 x 100 (largo x alto x ancho en milímetros) espesores de paredes interiores y exteriores es de 20 mm.

Área de la sección transversal: 190 cm<sup>2</sup>

Carga máxima registrada: P máx. = 4,660 kg

$$f_p = \frac{4,660 \text{ Kg}}{190 \text{ cm}} = 24.52 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo resistente a la compresión especificada: 20 kg/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo resistente a la compresión de la celosía 1: 24.52 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de ensayo: 17 de noviembre de 2022

**Figura 3.24.**

*Espécimen 1*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

- **Espécimen 2**

Identificación de la Muestra: celosía 2

Tipo y procedencia: hecha a mano con concreto polimérico reciclado

Edad nominal: 60 días

Dimensiones en cm: 190 x 190 x 100 (largo x alto x ancho en milímetros) espesores de paredes interiores y exteriores es de 20 mm.

Área de la sección transversal: 190 cm<sup>2</sup>

Carga máxima registrada: P máx. = 2,780 kg

$$f_p = \frac{2780 \text{ Kg}}{190 \text{ cm}} = 14.63 \text{ kg/cm}^2$$

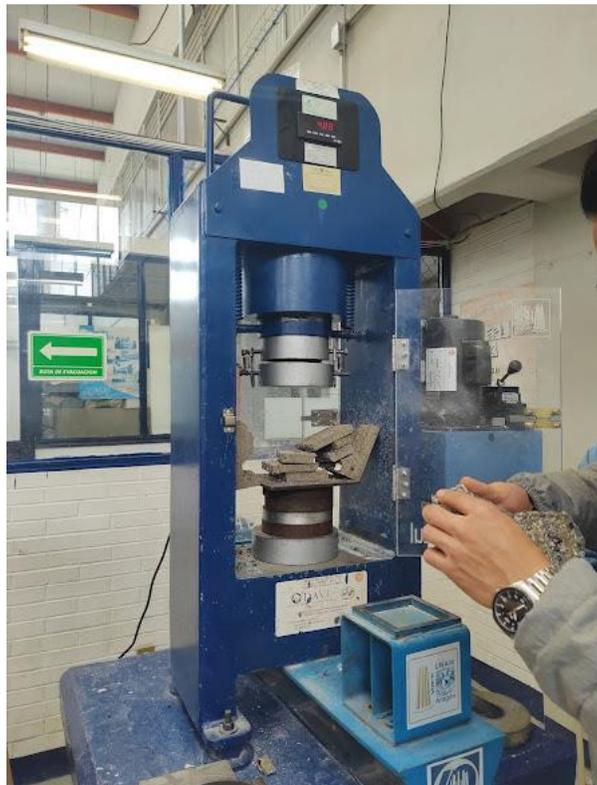
Esfuerzo resistente a la compresión especificada: 20 kg/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo resistente a la compresión de la celosía 2: 14.63 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de ensayo: 17 de noviembre de 2022

### Figura 3.25

*Espécimen 2*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

- **Espécimen 3 (Colocada en vertical)**

Identificación de la Muestra: celosía 3

Tipo y procedencia: hecha a mano con concreto polimérico reciclado

Edad nominal: 55 días

Dimensiones en cm: 190 x 190 x 100 (largo x alto x ancho en milímetros) espesores de paredes interiores y exteriores es de 20 mm.

Área de la sección transversal: 190 cm<sup>2</sup>

Carga máxima registrada: P máx. = 12,040 kg

$$f_p = \frac{12040 \text{ Kg}}{190 \text{ cm}} = 63.36 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo resistente a la compresión especificada: 20 kg/cm<sup>2</sup>

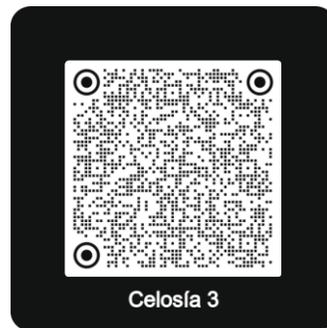
Esfuerzo resistente a la compresión de la celosía 3: 63.36 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de ensayo: 17 de noviembre de 2022

En el siguiente video se muestra el momento en el que falla la pieza de mampostería que fue colocada en vertical y que más adelante se verá la importancia de la posición en que será colocada.

### Figura 3.26

*Espécimen 3 Vídeo de la falla colocada la celosía en sentido vertical*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

- **Espécimen 4 (Colocada en horizontal)**

Identificación de la Muestra: celosía 4

Tipo y procedencia: hecha a mano con concreto polimérico reciclado

Edad nominal: 50 días

Dimensiones en cm: 190 x 190 x 100 (largo x alto x ancho en milímetros) espesores de paredes interiores y exteriores es de 20 mm.

Área de la sección transversal: 190 cm<sup>2</sup>

Carga máxima registrada: P máx. = 6,300 kg

$$f_p = \frac{6300 \text{ Kg}}{190 \text{ cm}} = 33.15 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo resistente a la compresión especificada: 20 kg/cm<sup>2</sup>

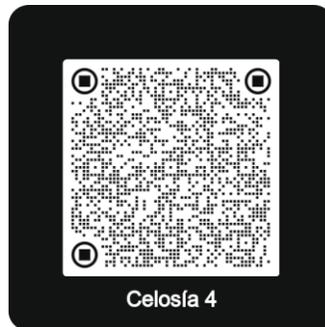
Esfuerzo resistente a la compresión de la celosía 4: 33.15 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de ensayo: 17 de noviembre de 2022

Aquí se muestra el momento de la falla de la celosía número cuatro que a diferencia de la celosía tres, se colocó horizontal como se muestra en el siguiente video.

**Figura 3.27.**

*Espécimen 4 Vídeo de la falla colocada la celosía en sentido horizontal*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

- **Espécimen 5**

Identificación de la Muestra: celosía 5

Tipo y procedencia: hecha a mano con concreto polimérico reciclado

Edad nominal: 45 días

Dimensiones en cm: 190 x 190 x 100 (largo x alto x ancho en milímetros) espesores de paredes interiores y exteriores es de 20 mm.

Área de la sección transversal: 190 cm<sup>2</sup>

Carga máxima registrada: P máx. = 11,260 kg

$$f_p = \frac{11260 \text{ Kg}}{190 \text{ cm}} = 59.26 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo resistente a la compresión especificada: 20 kg/cm<sup>2</sup>

Esfuerzo resistente a la compresión de la celosía 5: 59.26 kg/cm<sup>2</sup>

Fecha de ensayo: 17 de noviembre de 2022

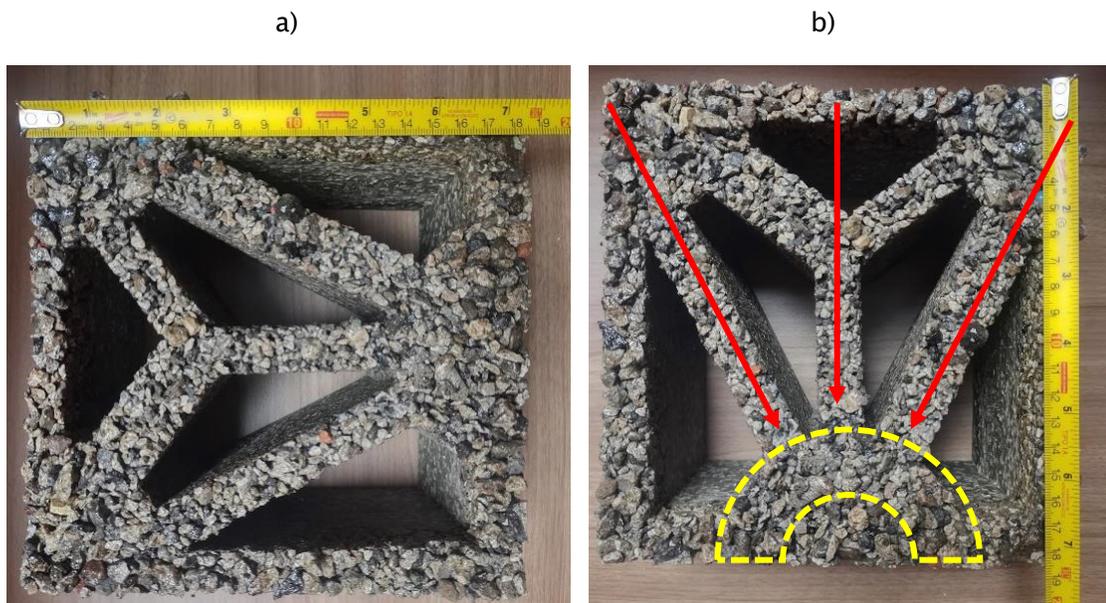
### 3.2.1.6 Observaciones generales

Durante la prueba se descubrió que la resistencia va a depender en gran medida de la forma en que se va a colocar la pieza en el muro, es decir, cuando se acomoda la celosía en horizontal como se muestra en el inciso a) de la figura 3.28 aguantan mucho menos que si se coloca de manera vertical como en el inciso b) donde aguanta más del doble de la carga.

Esto se debe a que las cargas se distribuyen en las paredes diagonales internas y caen sobre un arco, lo que permite que la celosía tenga mayor resistencia por el simple hecho de colocarla en diferente sentido, como se muestra en la figura 3.28.

**Figura 3.28.**

*Comparación entre dos maneras de colocar la geometría de la celosía*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

### 3.2.1.7 Resultados

Una vez realizadas las cinco pruebas de resistencia a la compresión individual se obtuvieron cinco resultados de los cuales tres fueron de piezas colocadas de manera horizontal y dos de manera vertical, se observó que los resultados varían de acuerdo a la posición en que se coloca la pieza en el muro, por lo que se procedió a sacar un resultado promedio por cada una de las formas en que se puede colocar la celosía.

Primero para obtener el esfuerzo a la compresión para muestras colocadas horizontalmente, se sumaron los tres resultados obtenidos en las pruebas, obteniendo el esfuerzo resistente promedio de **24.01 kg/cm<sup>2</sup>** a partir de la siguiente operación.

$$24.52 + 14.63 + 33.15 = 72.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{72.3 \text{ kg/cm}^2}{3} = 24.01 \text{ kg/cm}^2$$

Por otro lado, el esfuerzo resistente promedio a la compresión para muestras colocadas verticalmente fue de **61.31 kg/cm<sup>2</sup>** de igual forma se obtiene a partir de la siguiente operación.

$$63.36 + 59.26 = 122.62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{122.62 \text{ kg/cm}^2}{2} = 61.31 \text{ kg/cm}^2$$

Finalmente se obtuvieron diferentes resistencias dentro de la muestra trabajada, estas resistencias dependieron absolutamente de la posición en la que se colocó la celosía, por lo que se llevó a cabo un promedio entre las piezas que se colocaron de manera horizontal y otro promedio de las piezas que se colocaron en posición vertical.

En ambos casos se alcanzaron resultados positivos, puesto que se obtuvo una resistencia a la compresión individual para piezas horizontales de **24 kg/cm<sup>2</sup>** y para piezas verticales de **61.31 kg/cm<sup>2</sup>** por lo que la celosía propuesta aprueba la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 y logra una resistencia por arriba de la mínima requerida que son 20 kg/cm<sup>2</sup> y al colocar las piezas de manera vertical aprueba la resistencia media requerida por la norma con 25 kg/cm<sup>2</sup> para piezas de celosía con caras rectangulares.

En la siguiente tabla se muestra las resistencias a la compresión individual que pide la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 para corroborar los resultados.

**Figura 3.29.***Resistencia a compresión*

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media <i>f<sub>p</sub></i> <i>MPa (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	Resistencia mínima <b>individual</b> <i>f<sub>p</sub> Min</i> <i>MPa (kg/cm<sup>2</sup>)</i>
Bloque	Macizo o hueco	3,5 (35)	2,8 (28)
Tabique extruido	Macizo o hueco	4,0 (40)	3,2 (32)
Tabique artesanal	Macizo o hueco	3,0 (30)	2,4 (24)
Pieza para celosía	Cara rectangular	2,5 (25)	2,0 (20)

Fuente: Tabla obtenida de la Norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 (2022)

Una vez realizadas las pruebas de resistencia a compresión por pieza individual, hay que verificar su comportamiento ya en un muro de mampostería, donde se analiza cómo trabaja la pieza con mortero como pegamento entre estas. Para ello hay que realizar la prueba que a continuación se verá.

### 3.2.2 Resistencia a tensión diagonal:

La resistencia a tensión diagonal o cortante de la mampostería se expresa con la siguiente nomenclatura  $V' m$  y se determinará con el ensaye de murete construido con las piezas y mortero que se utilizará en la obra.

Para esta prueba se hizo un murete de 40 x 40 cm por el espesor de la pieza y se colocaron en casa con la ayuda de un maestro albañil, posteriormente se dejó curar 8 días aproximadamente y se trasladó el murete al laboratorio de Ingeniería Civil de FES Aragón para someterlo a la prueba de resistencia a compresión diagonal.

Cabe mencionar que se requirió hacer los cabezales para recibir el muro en la máquina universal con solera de acero y soldadura, puesto que el laboratorio no contaba con cabezales a la medida del muro, para lo que la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010 de ensayos de muretes y pilas específica las características de estos elementos extra para llevar a cabo las pruebas de manera adecuada.

### 3.2.2.1 Tipo de mortero

Existen diferentes tipos de morteros que se emplean como pegamento de piezas de mampostería, de acuerdo con las normas técnicas complementarias hay dos tipos de morteros, el primero es el tipo I que tiene una resistencia a compresión mayor o igual a 12.5 MPa (125 kg/cm<sup>2</sup>) y el tipo II con una resistencia menor que el mortero tipo I, pero mayor o igual a 7.5 MPa (75kg/cm<sup>2</sup>).

En la presente investigación se trabajará con el mortero tipo I ya que presenta mayor resistencia a compresión diagonal por lo que se espera que el murete con celosías de concreto polimérico reciclado resista la cortante diagonal y trabajen de manera adecuada con este mortero.

#### Figura 3.30.

*Proporción con la que se va a trabajar será la siguiente:*

Tipo de mortero	Partes de cemento hidráulico	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena
I	1	1/2	-	4 1/2

Fuente: Datos obtenidos de la tabla 2.5.1 Proporcionamientos, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra, Normas técnicas complementarias (2020).

### 3.2.2.2 Dimensiones

De acuerdo con las normas técnicas complementarias de mampostería “Los muretes tendrán una longitud de al menos una vez y media la longitud de la pieza y el número de hiladas necesario para que la altura sea aproximadamente igual a la longitud” (p.28) como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 3.31.***Murete que se probará*

Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

El murete se someterá a una carga a compresión monótona a lo largo de su diagonal.

La resistencia a compresión diagonal para diseño se calculará con la siguiente fórmula;

$$v'_m = \frac{\bar{V}_m}{1 + 2.5C_v}$$

$\bar{V}_m$  = Resistencia media a compresión diagonal de muretes, sobre área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga.

$P = 1375 \text{ Kg}$

$t =$  espesor del muro = 10 cm

$L_c =$  largo de la diagonal (sin contar huecos de la celosía) = 29 cm

$$\bar{V}_m = \frac{P}{tL_c} = \frac{1375 \text{ Kg}}{(10 \text{ cm})(29 \text{ cm})} = 4.74 \text{ kg/cm}^2$$

$C_v =$  Coeficiente de variación de la resistencia a compresión diagonal de muretes, que en ningún caso se tomará inferior a 0.20

Procedimiento

Identificación de la muestra: murete 1

Tipo y procedencia de las piezas: celosías hechas a mano con material de concreto polimérico reciclado.

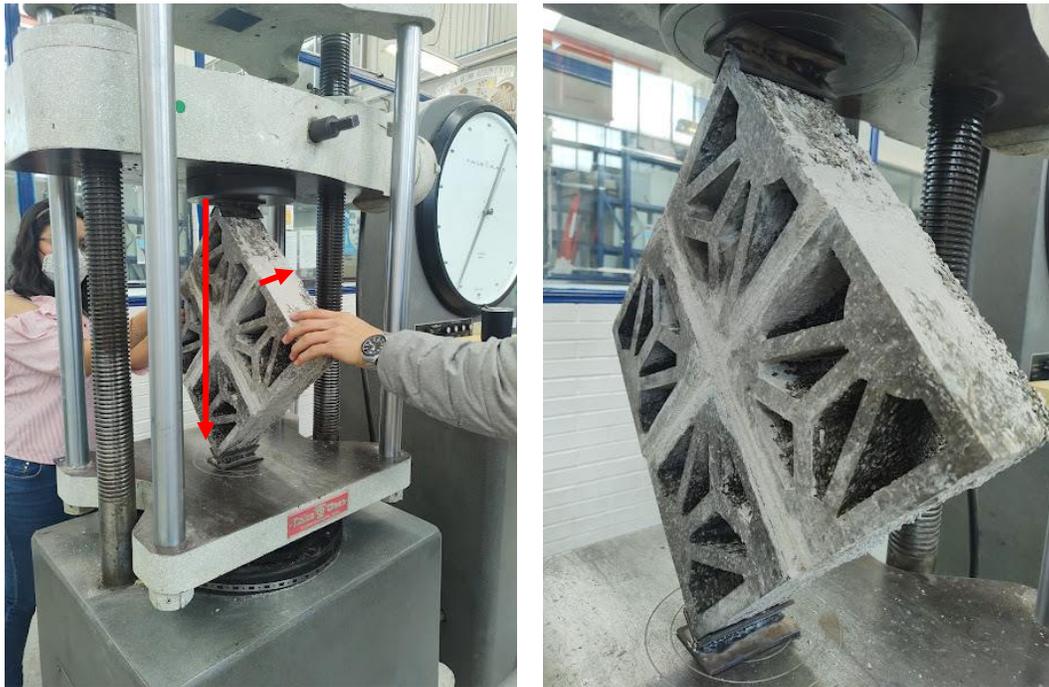
Edad nominal de la probeta: 8 días

Dimensiones de la probeta: 40 x 40 x 10 (largo x alto x ancho en centímetros) espesores de paredes interiores y exteriores es de 20 mm

Se colocó el murete en la máquina universal a 45 grados con los cabezales adecuados para recibir la carga y que no se desplace el muro, como se muestra en la siguiente imagen.

**Figura 3.32.**

*Colocación de murete en la máquina universal.*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

Área de la diagonal a compresión, en  $\text{cm}^2$  con aproximación al décimo: 290  $\text{cm}^2$

Carga máxima en newtons (kilogramos fuerza): 13,484.14 N (1,375 kg)

Tipo de cementante empleado: mortero tipo I

Descripción de la falla: Se observó que la falla que presentó el murete fue por cortante, es decir que fue producida por la adherencia de las juntas, como se muestra en el siguiente vídeo.

**Figura 3.33**

*Video de la falla por cortante.*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

Defectos observados en el espécimen o en sus cabezas: El murete presentaba ligeros desfases entre piezas, esto puede ser originado por la inclinación que presento cada pieza de manera individual producto de la inclinación que se le dejo al molde para facilitar el desmolde.

Edad de transporte al laboratorio (días): 1 día

Edad de ensayo (días): 8 días

### *3.2.2.3 Resultados*

Se presentó falla por cortante en el murete.

La resistencia a compresión diagonal del murete ensayado es;

$$v'_m = \frac{\overline{Vm}}{1+2.5Cv} = \frac{4.74}{1+2.5(0.1)} = 3.792$$

De acuerdo con la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010 de ensaye de muretes y pilas la resistencia a compresión diagonal esta por dentro de los parámetros que se establecen aquí.

**Figura 3.34***Rangos de compresión diagonal en muretes*

Pieza	Tipo de mortero	Vm* kg/cm <sup>2</sup>
Tabique de barro recocido ( $f_p^* > 60$ kg/cm <sup>2</sup> )	I	3.5
	II y III	3
Tabique de barro, huecos verticales ( $f_p^* > 120$ kg/cm <sup>2</sup> )	I	3
	II y III	2
Bloque de concreto (pesado <sup>2</sup> ) ( $f_p^* > 80$ kg/cm <sup>2</sup> )	I	3.5
	II y III	2.5
Tabique de concreto (tabicón) ( $f_p^* > 80$ kg/cm <sup>2</sup> )	I	3
	II y III	2

Fuente: Datos obtenidos de la Norma NMX-C-464-ONNCCE-2010

Una vez realizadas las pruebas a compresión se obtuvieron resultados de la carga máxima que aguantan las piezas de manera individual, sin embargo, el laboratorio de Ingeniería civil no cuenta con el instrumento adecuado para arrojar los datos de la prueba que ayudan para trazar las gráficas de esfuerzo y deformación del material con el que se está trabajando, por lo que no se puede trazar dichas gráficas.

### 3.3 PRUEBA DE ABSORCIÓN DE AGUA EN 24 HORAS:

Las piezas de mampostería deben cumplir con valores mínimos que garanticen un óptimo funcionamiento y seguridad para el usuario al validar su estabilidad durante movimientos por sismo o viento dentro de una estructura.

Sin embargo, deben cumplir con valores como lo es la absorción de agua, ya que el exceso de este elemento puede fragilizar las estructuras con el paso del tiempo. Para ello se llevó a cabo la prueba de absorción de agua en 24 horas de acuerdo con la norma NMX-C-037-ONNCCE-

2013 que especifica los valores máximos de absorción total e inicial de las piezas de mampostería.

Esta prueba se realizó en el laboratorio de mecánica de materiales L4 de Ingeniería Civil de la FES Aragón y se requirió de un horno de convección, basculas y guantes de asbesto.

### *3.3.1.1 Procedimiento*

Identificación de la muestra: Celosía 1 y 2

Tipo y procedencia de las piezas: celosías hechas a mano con material de concreto polimérico reciclado.

Edad nominal de la probeta: 50 y 40 días

Dimensiones de la probeta: 20 x 20 x 10 (largo x alto x ancho en centímetros) espesores de paredes interiores y exteriores es de 20 mm

Se procedió a colocar las celosías en un horno de convección durante 24 horas a una temperatura de  $\pm 105^{\circ}\text{C}$  para garantizar que la pieza este totalmente seca y sin humedad, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 3.35.**

*Colocación de celosía en horno de convección*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

Después de un día se sacaron las piezas y se dejaron enfriar por unos minutos, para proceder con el pesaje de estas.

Se pesaron las piezas de manera individual, como se muestra en la siguiente figura, en una báscula de precisión de 5kg y se obtuvieron los siguientes resultados;

Peso de celosía 1:  $M_s = 3.357\text{kg}$  en estado seco

Peso de celosía 2:  $M_s = 3.598\text{kg}$  en estado seco

**Figura 3.36.**

*Pesado de las piezas*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

Una vez que se pesaron en estado seco las piezas, se saturan de agua durante 24 horas, es decir sumergidas en agua por completo, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 3.37.**

*Proceso de saturación de agua*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

Una vez extraídas del agua se procede a pesarlas de nuevo en estado mojado, y los resultados fueron los siguientes;

Peso de celosía 1: 3.550kg en estado mojado

Peso de celosía 2: 3.850kg en estado mojado

La fórmula para obtener la absorción total en 24 horas es la siguiente:

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_{sss} - M_a} \times 1000$$

A= Volumen de agua absorbida referido al volumen aparente del espécimen en  $\text{dm}^3/\text{m}^3$

$M_s$  = Masa seca del espécimen en g

$M_{sss}$ = masa saturada y superficialmente seca en g

$M_a$ = masa del espécimen sumergido en agua en g

El factor 1000 se usa para presentar el resultado en  $\text{dm}^3/\text{m}^3$

### 3.3.1.2 Resultados

Para obtener el resultado en porcentaje se utiliza la siguiente fórmula:

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100 \%$$

Se sustituye con los datos de la Celosía 1

$$A = \frac{3550 - 3357}{3357} \times 100 \%$$

$$A = 0.057 \times 100 \% = 5.74 \%$$

Se sustituye con los datos de la Celosía 2

$$A = \frac{3850 - 3598}{3598} \times 100\%$$

$$A = 0.070 \times 100 \% = 7 \%$$

Una vez que se obtuvo la absorción de 24 horas en porcentaje, se revisa la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013 la cual establece los parámetros mínimos como se muestra en la siguiente tabla.

**Figura 3.38.**

*Valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 horas*

Tipo de material	Absorción inicial para muros expuestos al exterior g/ (cm <sup>2</sup> xmin <sup>1/2</sup> )	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento g/ (cm <sup>2</sup> xmin <sup>1/2</sup> )	Absorción total 24 h en porcentaje
Concreto	5	7.5	12
Arcilla artesanal	-	-	23
Arcilla extruida o prensada	5	7.5	19

Fuente: Datos obtenidos de la Norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 (p. 37)

En ambas piezas se obtuvo un porcentaje favorecedor de absorción total en 24 horas, ya que la norma establece un 12 % como valor máximo para un material tipo concreto y los resultados alcanzados están por debajo, con un 5.74 % en la primera pieza y 7 % en la segunda.

Cabe mencionar que no hay un porcentaje exacto para un concreto polimérico por lo que se tomó en cuenta el parámetro del material que más se le parece, en este caso un concreto normal.

Derivado a esta prueba se tiene una pieza de mampostería de baja absorción a la humedad, lo que permite tener una mayor estabilidad mecánica a largo plazo y de bajo mantenimiento, que son factores importantes para la durabilidad de la celosía. Además de poder enfrentarse a climas extremos donde la humedad sea un factor importante de desgaste en este tipo de elementos de mampostería.

### 3.4 PRUEBA TÉRMICA

Dentro del área de la construcción los materiales tienen propiedades físicas importantes como lo es la conductividad térmica ( $k$ ) propiedad que “cuantifica la capacidad de transferir energía térmica (calor) que pasa entre dos puntos del material por unidad de área” (Jocelyn & Iván, 2022, p. 3).

Esta propiedad es muy importante conocer para proponer diferentes materiales y técnicas arquitectónicas que eviten ganancias o pérdidas de calor en una envolvente de acuerdo al clima en la que se encuentre, esto con el fin de obtener ahorros energéticos significativos durante la vida de un edificio, además de ahorros económicos y ambientales.

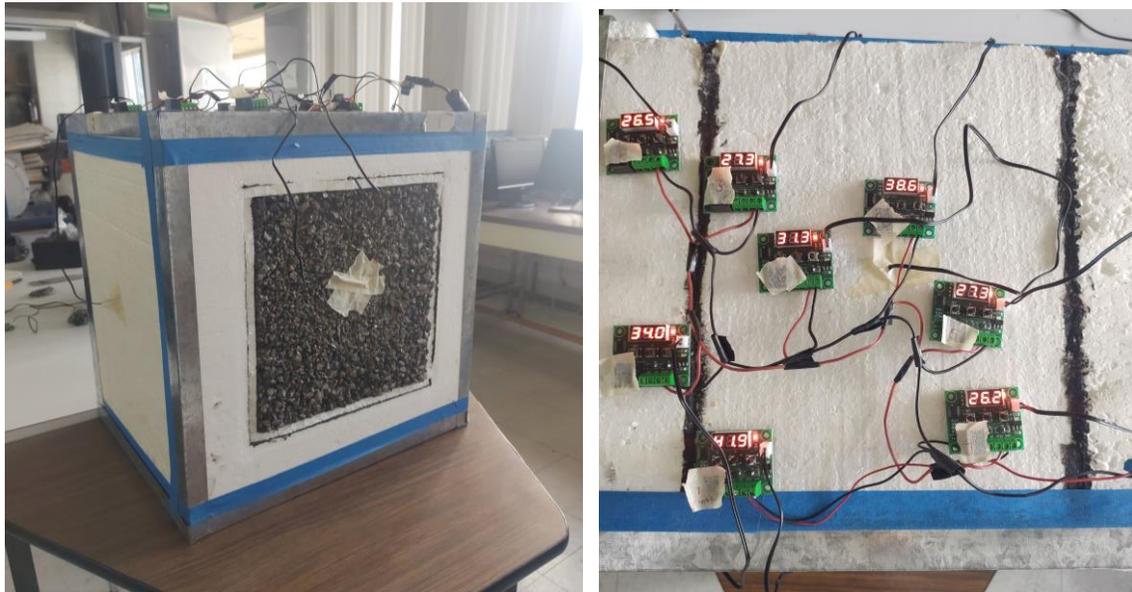
Para ello, conocer la conductividad térmica de un material ayudará a conocer su comportamiento a la hora de exponerlo a un flujo de calor, cómo lo va a transmitir y en qué tiempo puede alcanzar su estabilidad térmica.

Derivado a esto, el material se puede proponer de manera correcta y así coadyuvar a mantener una temperatura dentro de un rango confortable al interior de una vivienda, asimismo si se diseña un proyecto de manera integral, el cual considere el clima del sitio donde se está trabajando como; asoleamientos, vientos dominantes, temperaturas máximas y mínimas, etc.

En la presente investigación se está trabajando con un material maso menos nuevo, por lo que se realizaron pruebas térmicas con la ayuda de una cámara adiabática con el fin de calcular el coeficiente de transmisión térmica ( $k$ ) del concreto polimérico reciclado, esta cámara fue desarrollada en el Centro Tecnológico de FES Aragón de acuerdo con la norma ASTM C-508 y se muestra en la figura.

**Figura 3.39.**

*Cámara adiabática del Centro Tecnológico de Fes Aragón*



Fuente: Fotos tomadas por Dalia Cruz (2022)

La cámara está elaborada a partir de placas de poliestireno y con la ayuda de sensores de control de temperatura colocados al interior y exterior de esta se pueden obtener datos sobre el comportamiento térmico del material (Jocelyn & Iván, 2022, p. 4).

#### *3.4.1.1 Procedimiento*

Primero se realizó una muestra del material de 27 cm x 27 cm y 2cm de espesor, la cual se colocó en la cámara como se muestra en la figura 3.39, cabe mencionar que se realizaron dos pruebas; la primera con la parte lisa del material al interior de la cámara simulando que esta cara de la celosía estuviera al exterior de la vivienda y la segunda prueba se realizó con la cara porosa al interior de la cámara de igual forma. Esto con la intención de corroborar con la prueba que textura es la que trabaja mejor térmicamente y funciona de manera óptima como aislante.

La muestra en ambos casos se conectó a los sensores y se cerró herméticamente la cámara para evitar fugas de calor, cabe mencionar que se tenía una cámara termográfica para comprobar que esto no sucediera.

Al interior de la cámara se encuentra un foco que será el encargado de transmitir el flujo de calor hacia la muestra, además hay sensores en cada una de las paredes de la cámara para tener un mayor control de las temperaturas.

Posteriormente se comienza a registrar las temperaturas en lapsos de 10 minutos durante tres horas y media aproximadamente o en su caso hasta que se estabilice el material.

### Prueba 1. Con la cara lisa al interior de la cámara

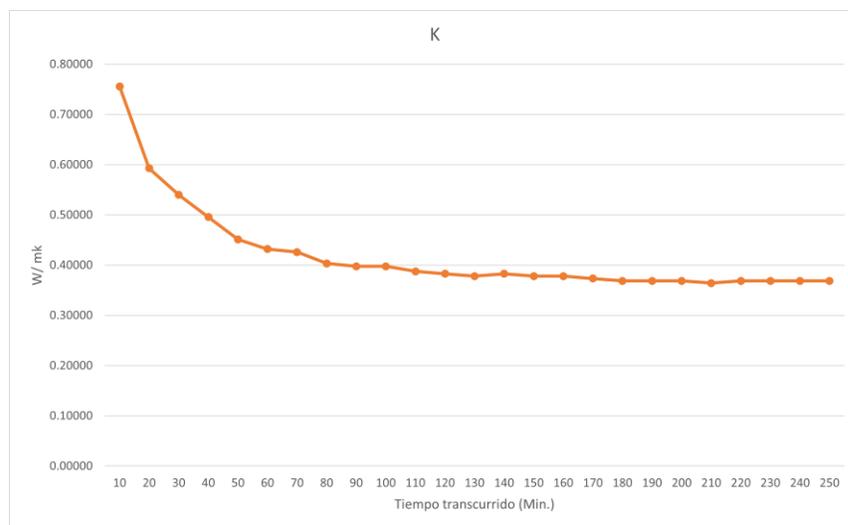
En esta prueba se obtuvo un coeficiente de conductividad térmica ( $k$ ) de 0.3687 W/mk, como se muestra en la figura 3.40.

El material se comportó favorablemente y con buena capacidad térmica, manteniendo una diferencia de 8.2 °C entre el interior y el exterior del material, como se muestra en la figura 3.41.

Cabe destacar que el material se alcanzó su estabilidad térmica a los 250 minutos y se estuvo tomando muestras con la cámara termográfica para corroborar que no hubiera pérdidas significativas de calor.

### Figura 3.40.

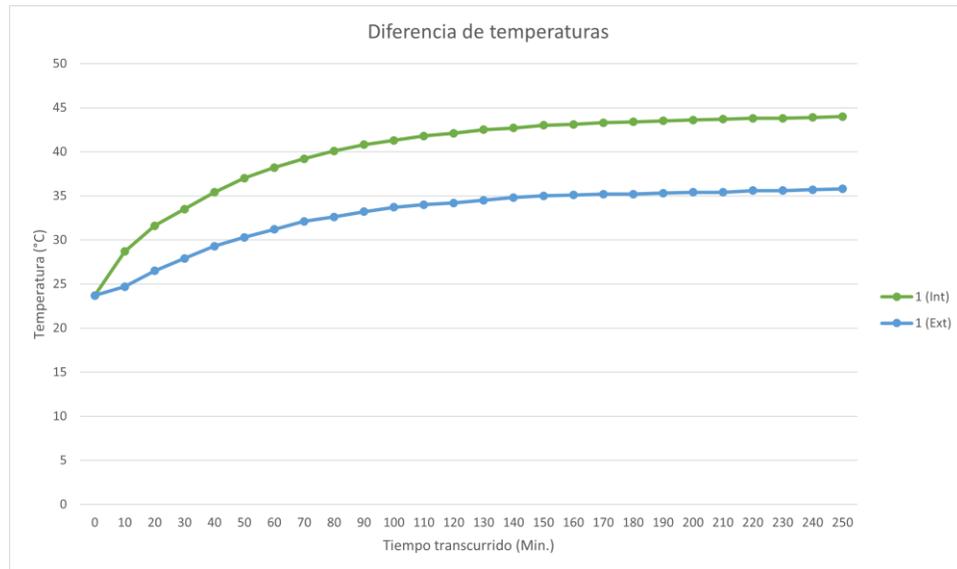
*Gráfica de rangos obtenidos de  $k$*



Nota: Se muestra con línea naranja como se fue estabilizando el material hasta llegar a una conductividad promedio. Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz

**Figura 3.41.**

*Gráfica de temperatura interior y exterior de la cámara.*



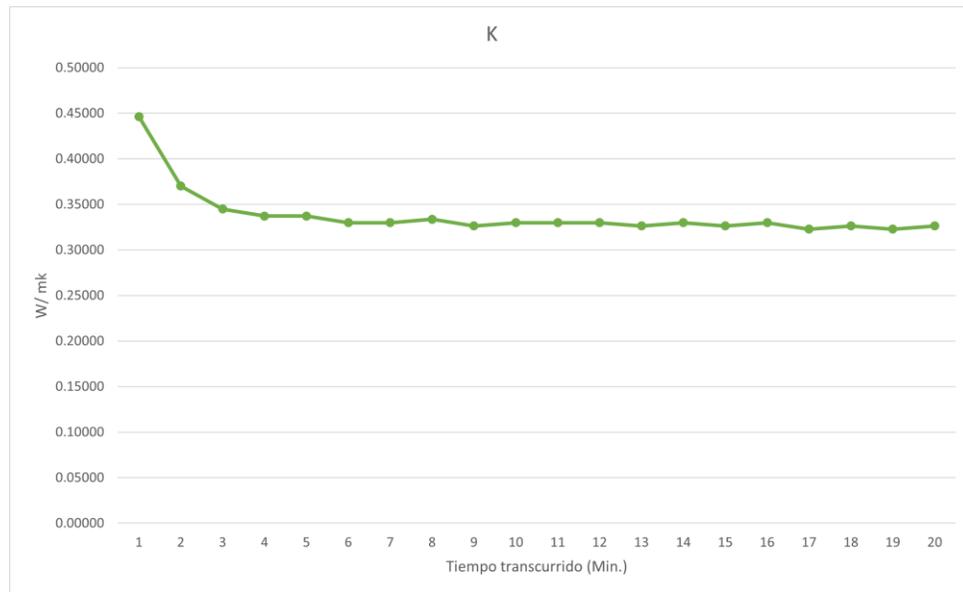
Nota: Se muestra con línea azul la temperatura exterior y con línea verde la temperatura interior del material. Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz

### **Prueba 2. Con la cara rugosa al interior de la cámara**

En esta prueba se obtuvo un coeficiente de conductividad térmica ( $k$ ) de 0.327 W/mk, como se muestra en la figura 3.42.

**Figura 3.42.**

*Gráfica de rangos obtenidos de k.*



Nota: Se muestra con línea verde como se fue estabilizando el material hasta llegar a una conductividad promedio. Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2023).

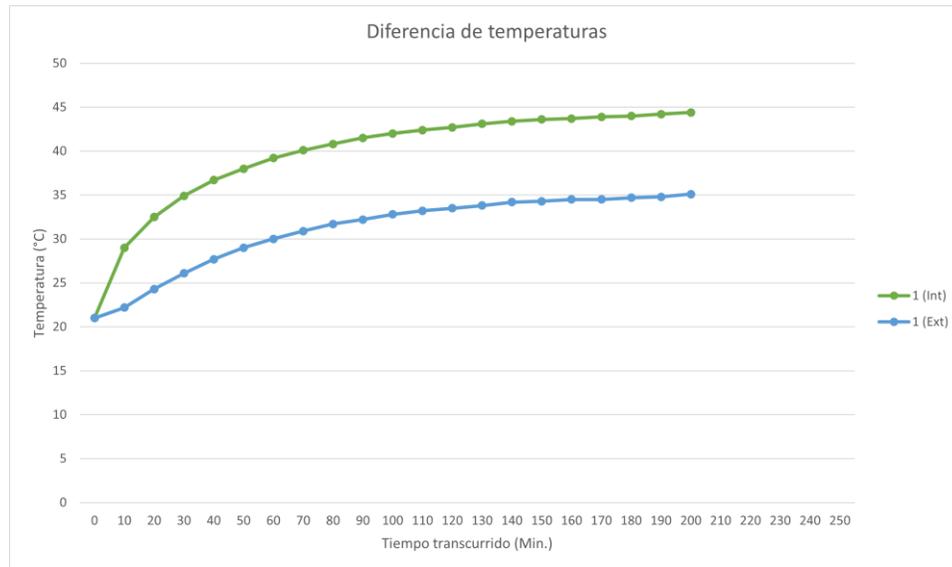
En esta segunda prueba se comportó mejor el material ya que se obtuvo un coeficiente de conductividad térmica menor, esto dice que el material es más resistente al paso del calor, es decir con mayor capacidad de aislamiento.

Se obtuvo una diferencia de 9.5 °C entre la temperatura interior de la exterior del material, en esta prueba el concreto polimérico reciclado alcanza su estabilidad térmica a los 200 minutos, como se muestra en la figura 3.43.

De acuerdo con estas pruebas se obtuvo que el material se comporta mejor cuando la pared rugosa da al ambiente exterior o hacia la luz solar en este caso como se muestra en la figura 3.44. Por lo que en el caso de estudio se colocará esta cara hacia el ambiente exterior.

**Figura 3.43.**

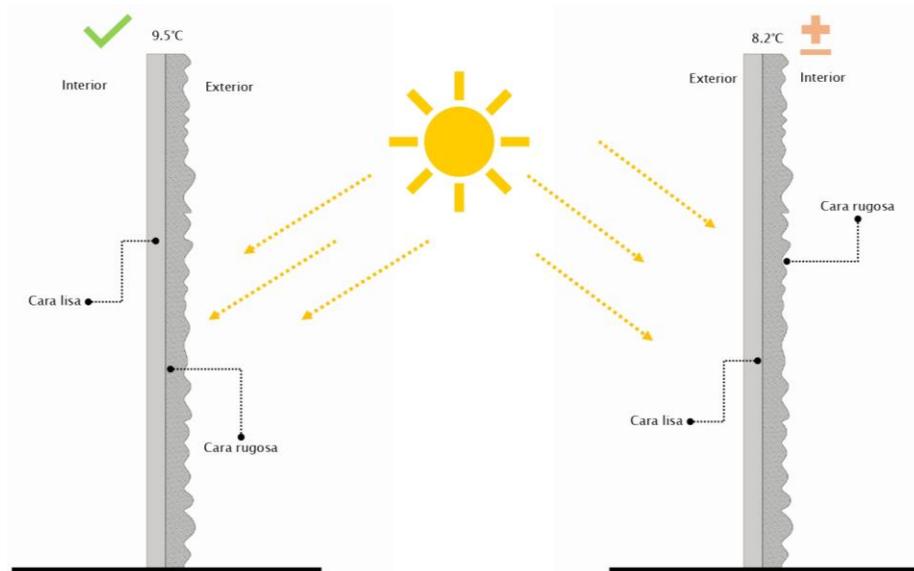
*Gráfica de temperatura interior y exterior de la cámara.*



Nota: Se muestra con línea azul la temperatura exterior y con línea verde la temperatura interior del material. Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2023).

**Figura 3.44.**

*Comportamiento de acuerdo a las texturas*



Nota: Se ejemplifica como el lado rugoso del material aísla mejor el calor cuando se encuentra al ambiente exterior. Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2023)

En la parte lisa del material se concentra mayor cantidad de resina, por lo que al iniciar la prueba se esperaba que aislará mejor al estar expuesta al flujo de calor, sin embargo, se comportó mejor la parte rugosa que, aunque también tiene resina, los agregados granulares hacen que el calor se disperse de manera menos uniforme y se contenga el calor ahí.

Una vez que se realizaron las pruebas mecánicas, de humedad y térmicas se procede a realizar simulaciones digitales que permitan evaluar aún más la propuesta.

En este caso se hará una simulación de fluidos, donde se utilizará un túnel de viento y una simulación térmica que permita comparar el concreto polimérico reciclado con otro material del mercado de las celosías.

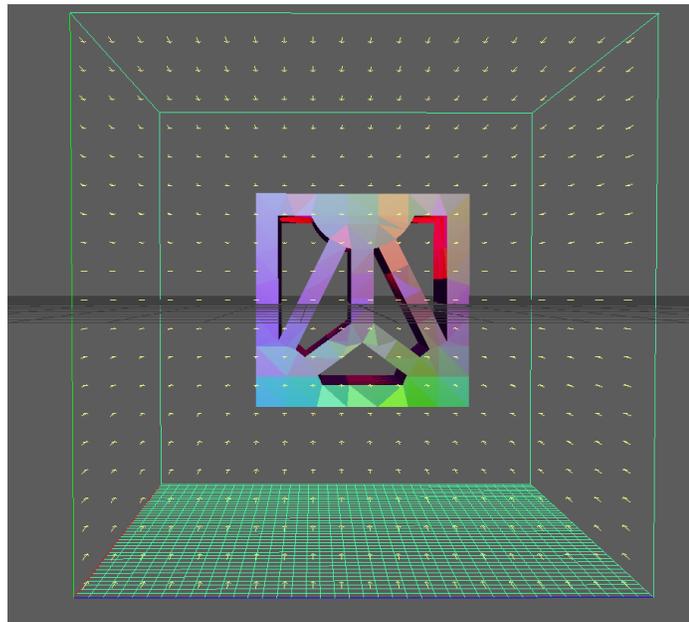
### *3.4.2 Simulación de fluidos*

Durante el diseño de la geometría propuesta para la celosía se pensó en una idea original de trabajar con formas triangulares que permitieran dar una mayor estabilidad al muro donde se colocará, como si fueran armaduras, sin embargo, al consultar las normas técnicas complementarias esta geometría se modificó hasta llegar a una forma cuadrada, como respuesta a modulaciones que facilitarán el montaje y traslado de la pieza, esto derivado de la experiencia de trabajadores en la obra.

Cabe resaltar que no se diseñó la celosía con una simulación digital previa de fluidos que hubieran permitido evaluar el comportamiento del viento al atravesar la pieza en un muro exterior antes de elaborarla, esto con la finalidad de aprovechar de manera óptima la trayectoria del viento a la hora de ingresar a la celosía y que está funcione correctamente.

Sin embargo, se realizó la simulación de túnel de viento en el programa Maya con la geometría propuesta para ver cómo funciona.

Primero se exporto en un formato STL la celosía que se modelo en Revit previamente, posteriormente se introdujo al programa Maya en una herramienta llamada túnel de viento, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 3.45.***Celosía propuesta colocada en un túnel de viento*

Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

El primer ejercicio es colocar la celosía con la cara totalmente perpendicular a la dirección del viento, como se muestra en el video que se puede ver con el siguiente código QR. Aquí la celosía trabaja como debería de trabajar, permitiendo el paso del viento en sus aberturas sin mayor problema como se muestra en el siguiente vídeo.

**Figura 3.46.***Vídeo con la dirección del viento perpendicular a la celosía*

Fuente: Elaborado por Dalia Cruz en Qr Tiger (2023).

Si la celosía forma parte de un muro exterior donde el viento pega de manera perpendicular a la dirección del viento se logra una ventilación adecuada del espacio

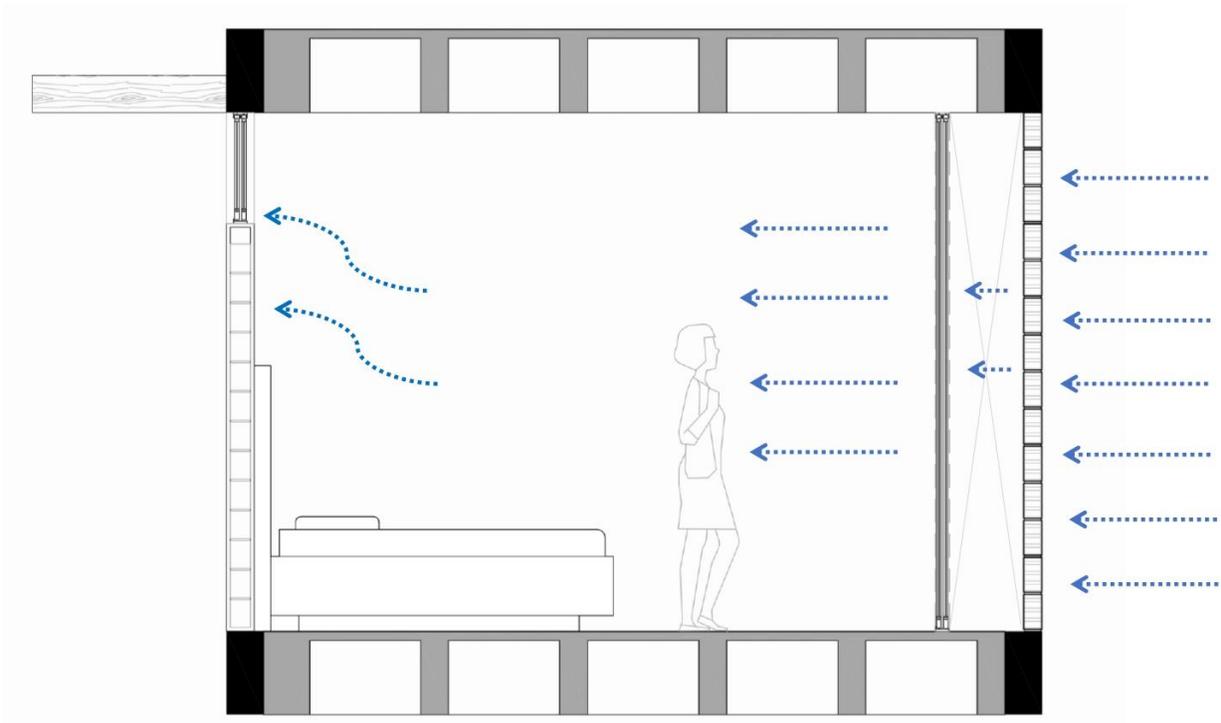
arquitectónico al interior de la vivienda, además de ser un filtro de sol, por lo que al realizar estas simulaciones en túneles de viento se representa que flujo de aire que permite pasar y el movimiento que genera al interior.

En este caso se recomienda colocar una ventana al extremo opuesto del espacio para lograr una ventilación cruzada, sin embargo, la posición correcta de esta ventana se obtendrá a partir de la simulación de acuerdo al caso de estudio específico en el que se encuentre, ya que se debe considerar la dirección del viento, velocidad, ángulo de posición de la celosía respecto al viento, etc.

En la siguiente figura se dibujó el comportamiento del flujo de aire en corte arquitectónico de un espacio cuando se coloca la celosía de manera perpendicular a la dirección del viento.

**Figura 3.47.**

*Diagrama de comportamiento de viento*



Nota: Se observa que el viento pasa de manera óptima al colocar la celosía totalmente perpendicular a la dirección del viento. Fuente: Elaboración propia, Dalia Cruz Martínez en AutoCAD y Photoshop (2023).

La celosía al ser parte de un muro no estructural, quiere decir que no forma parte de los elementos portantes de la estructura de una edificación, por lo que sus aplicaciones son muros divisorios, pretilas, parapetos, fachadas, etc. Sin embargo, estas piezas requieren ser capaces de resistir acciones externas a la estructura, por ejemplo, su propio peso, movimientos del suelo, como un sismo y empujes de viento si se encuentran al exterior.

Derivado a esto, se tienen que analizar las piezas de manera individual y por muérete colocadas en la posición final en la que va a trabajar.

Por el momento se lograron resultados positivos en las pruebas de resistencia a compresión de manera individual, al cumplir con la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 de especificaciones de piezas de mampostería no estructural.

Estas pruebas sirvieron para verificar su resistencia individual y la posición correcta en la que se colocarán en el muro, ya que se descubrió que, al posicionar la celosía con las paredes interiores de manera vertical, aguantan el doble de peso si se colocarán de manera horizontal.

Por otro lado, en la prueba de resistencia diagonal se tuvo falla por cortante, es decir que falló la adherencia entre la resina o la parte lisa de la celosía con el mortero, puesto que la parte rugosa tuvo una mejor adherencia a este. Sin embargo, los parámetros que se obtuvieron están por dentro de lo permitido en la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010, por lo que se mantiene el sistema constructivo con mortero tipo uno.

No obstante, se pueden hacer mejoras al diseño de la pieza para que pueda tener una mejor adherencia la parte lisa al mortero, como lo es añadir dientes o canaletas en los extremos de la celosía para que pueda recibir el mortero y el refuerzo diagonal como lo es una varilla, para finalmente tener un mejor agarre y evitar un desplazamiento.

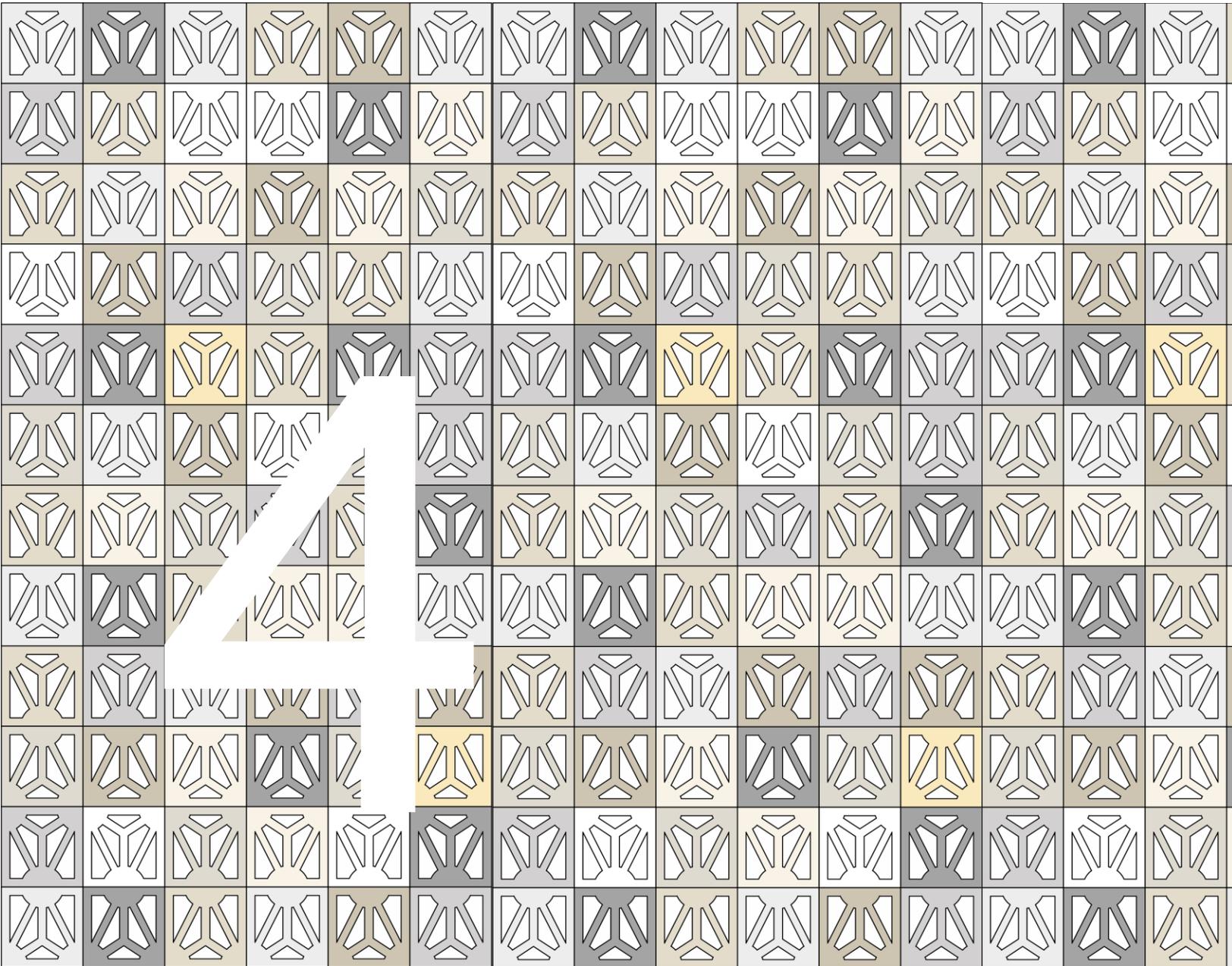
Por otro lado, la celosía tiene baja capacidad de absorción de agua con un porcentaje promedio del 6.3 % y cumple con la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013 donde el valor máximo estipulado en ella es del 12 %.

Esta prueba es muy importante porque mide la capacidad de absorción de agua por parte del elemento de mampostería, puesto que es un factor de debilitamiento en la pieza con el paso del tiempo y con ello un riesgo para la estructura o elemento donde fue colocado y finalmente para el usuario.

También se obtuvo que la celosía debe colocarse con la textura rugosa hacia el exterior de la vivienda, ya que, de acuerdo con las pruebas térmicas mantiene un rango mayor de temperatura, con 9.5 °C de diferencia entre la temperatura interior y exterior de la celosía.

Finalmente, la simulación del viento en la pieza de mampostería representa un constante flujo de aire si éste choca de manera perpendicular a la cara principal de la celosía, atravesándola correctamente y de manera cruzada.

Una vez que se tienen los primeros resultados de las pruebas que se realizaron a la celosía diseñada, se colocó de manera virtual en el caso de estudio donde se representó su sistema constructivo, la diferencia de temperatura con y sin la celosía en el espacio arquitectónico propuesto con el fin de calcular el ahorro energético al tener este tipo de elementos de mampostería y material empleado en zonas geográficas cálidas donde se requiere bajar entre 2 a 3 grados la temperatura interior sin recurrir a sistemas de ventilación activa como lo son aire acondicionado y ventiladores de techo o pedestal.



#### 4. CAPÍTULO 4. APLICACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO

---

Dentro del proceso de diseño arquitectónico de una vivienda hay que considerar múltiples factores, entre ellos las características y propiedades de los materiales con los que se van a construir, ya que está directamente relacionado con la localización geográfica en la que se está diseñando, esto con el fin de proponer materiales adecuados de acuerdo al contexto y medio físico.

Derivado a esto se pueden generar ahorros energéticos, económicos y ambientales, por ejemplo, al utilizar materiales aislantes en zonas calurosas puede impactar en el ahorro del consumo de sistemas activos de ventilación como lo es el aire acondicionado, para alcanzar una zona de confort dentro de un espacio arquitectónico. Además, se tienen que hacer estudios solares previos que permitan proponer técnicas arquitectónicas respecto al clima en donde se encuentre, para hacer más eficiente la vivienda.

Una vez que se obtuvo físicamente la celosía se colocó de manera virtual en una casa habitación unifamiliar en el municipio de Cuautla Morelos, porque es el lugar donde se ha desempeñado trabajos arquitectónicos profesionales propios y se detectó que al menos el 98 % de las viviendas del estado de Morelos no tienen criterios de diseño para mejorar el desempeño térmico de éstas, esto de acuerdo con un estudio realizado por CONACYT y la secretaria de Energía y Sustentabilidad Energética (2009).

Además, se tiene acceso al lugar de manera inmediata, y dicho municipio presenta condiciones climáticas óptimas para evaluar el desempeño térmico y mecánico de la celosía.

La pieza se colocó en un muro exterior que formará parte de la fachada principal de la vivienda, esto como una adaptación posterior al diseño original, ya que se detectó que la casa cuenta con una fachada desfavorable con ventanales amplios, por lo que se propuso disminuir la ganancia térmica que tiene este ventanal producirá.

Se hicieron simulaciones digitales tomando datos climatológicos de Cuautla Morelos con el fin de evaluar el concreto polimérico reciclado y asimismo la geometría propuesta en el caso de estudio.

Entre éstas se hizo una simulación de fluidos, que es un túnel de viento que atraviesa la celosía de manera individual y colocada en muro, a fin de analizar el comportamiento del viento con las características del sitio a la hora de atravesar la pieza geométrica.

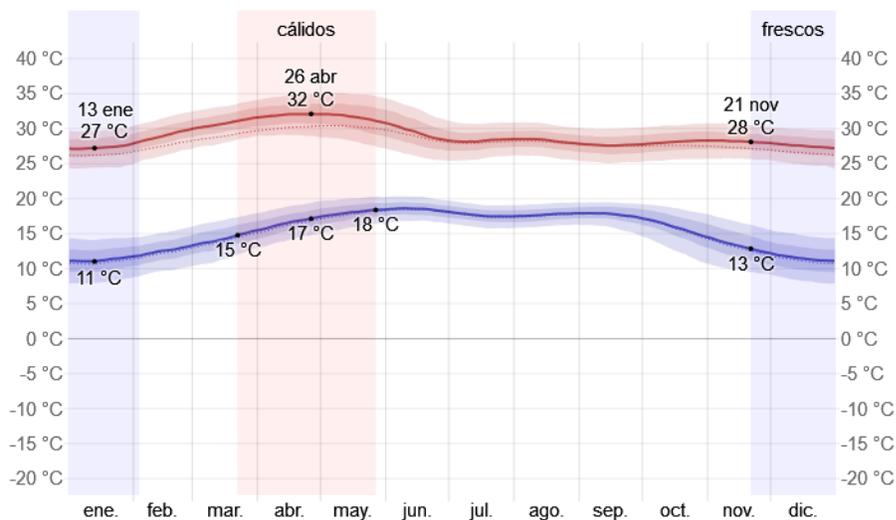
Finalmente se calculó la ganancia térmica del espacio arquitectónico donde se colocó la celosía con el fin de mejorar las condiciones ambientales al interior de la vivienda partiendo del día más caluroso, en la hora más crítica y la fachada más desfavorable para colocar la propuesta. Además del impacto energético, económico y ambiental que se deriva con un uso correcto de un material o elemento de mampostería.

#### 4.1.1.1 Datos climatológicos del sitio

En Cuautla se puede encontrar temperaturas elevadas la mayor parte del año, se caracteriza por ser un municipio caliente, con rangos desde los 11 °C hasta los 32 °C, la temporada que tiene los días más calurosos es desde el 22 de marzo hasta el 27 de mayo, como se muestra en la siguiente figura (Spark, 2022).

**Figura 4.1.**

*El tiempo por mes en Cuautla Morelos*



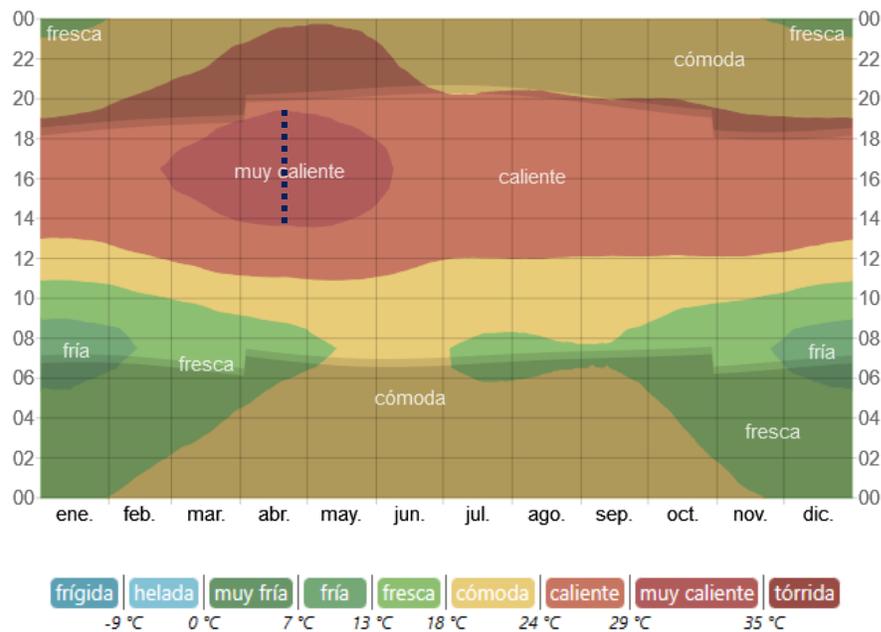
Nota. La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes. Fuente: Weather Spark (2022). <https://acortar.link/NeDMYY>

De acuerdo con esta gráfica se tomará el día más caluroso registrado en la plataforma digital Weather Spark, que fue el día 26 de abril del 2022 con 32 °C.

En la figura 4.2. se muestra una simulación de las diferentes temperaturas que se pueden encontrar durante el día, entre ellas se encuentran las categorías como; fresca, cómoda, caliente y muy caliente. En este caso se trazó una línea el día 26 de abril, por lo que las horas más críticas en esta temporada del año es de las 1:00 p.m. a las 7:00 p.m. con una sensación de muy caliente.

**Figura 4.2.**

*Temperatura promedio por hora en Cuautla*



Fuente: Weather Spark (2022).

Además, la elevación solar representa el ángulo en el que se encuentra el sol en una hora predeterminada, en la figura 4.3 se muestra un vídeo donde se ve el asoleamiento del caso de estudio en el programa 3D Sun-Path en el día 26 de abril del 2022, el sol sale en el este se va inclinando al sur y su acimut es en el oriente, sin embargo, el ángulo de inclinación es del 80 % por lo que la fachada más desfavorable es la sur-oriente, ya que a partir de la 1:00 p.m. le pegará el sol directamente.

### Figura 4.3.

*Vídeo del asoleamiento durante el día 26 de abril de 2022.*



Nota: Se muestra la inclinación solar en la zona de estudio desde la 1:00p.m. hasta las 6:00 p.m. Fuente: Simulación realizada en programa 3D Sun-Path por Dalia Cruz (2022).

Además, los vientos dominantes vienen del sur hacia el este con una inclinación de  $193^\circ$  con una velocidad de 3 Km/h.

Una vez determinado el día más caluroso, las horas más críticas y la fachada más desfavorable se identificó la carga térmica por conducción<sup>9</sup>, convección<sup>10</sup> y misceláneos<sup>11</sup> de la envolvente del espacio arquitectónico con los materiales con los que está construido actualmente y después se calculó con el muro de celosía como método de protección solar.

#### *4.1.2 Datos generales del proyecto arquitectónico*

Se trabajó en una casa habitación unifamiliar de dos niveles ubicada en el municipio de Cuautla, con simulaciones el día 26 de abril a  $32^\circ\text{C}$  entre la 1:00 p.m. y 4:00 p.m. donde se colocó un muro exterior de mampostería hecho a partir de la celosía diseñada, en un espacio ubicado en la fachada sur-oriente que, de acuerdo con el asoleamiento presentado en el sitio es la fachada más desfavorable y no se consideró en el diseño de la casa, por lo que hay una ganancia térmica alta por este espacio arquitectónico.

<sup>9</sup> Se refiere a la ganancia térmica por la transmisión de los materiales con los que están hechos los muros, ventanas y techos.

<sup>10</sup> Es la ganancia de calor que se da por infiltración del aire exterior.

<sup>11</sup> El calor que generan los equipos electrónicos y las personas que se encuentran en el espacio a calcular.

#### 4.1.2.1 Localización

La casa-habitación se encuentra en calle los pinos S/N Santa Inés Col. Eusebio Jauregui, C.P. 62744 Cuautla Morelos.

**Figura 4.4.**

*Croquis de localización*



Fuente: Imagen tomada de Google Earth y editada por Dalia Cruz (2023)

Se marca el norte respecto al terreno, la fachada principal de la casa da hacia el sur-oriente, con ventanales amplios, tiene dos fachadas ciegas que son las colindantes y la fachada este-norte con ventanales grandes de igual forma.

Al inicio del proyecto se propuso colocar celosías de barro rojo que son las más empleadas en la zona, sin embargo, se determinó que no se podían cubrir claros mayores a dos metros sin ningún tipo de refuerzo como una cadena o castillo que permitieran brindar una estabilidad al muro exterior, por lo que se propuso diseñar una celosía que cumpliera con características físicas y mecánicas que permitieran claros mayores y alturas también.

En la siguiente figura se muestra un render de la fachada principal con la propuesta de la celosía que se obtuvo en la presente investigación, a fin de ver el cambio en la fachada principal y si cumple con algún valor estético que al usuario le convenciera la idea.

**Figura 4.5.**

*Render con la celosía a partir de concreto polimérico reciclado propuesta*



Nota: Render elaborado en Sketchup y V-ray Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz Martínez (2023).

**Figura. 4.6.**

*Render 2 con la celosía a partir de concreto polimérico reciclado propuesta*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz en programa Sketchup y V-ray (2023)

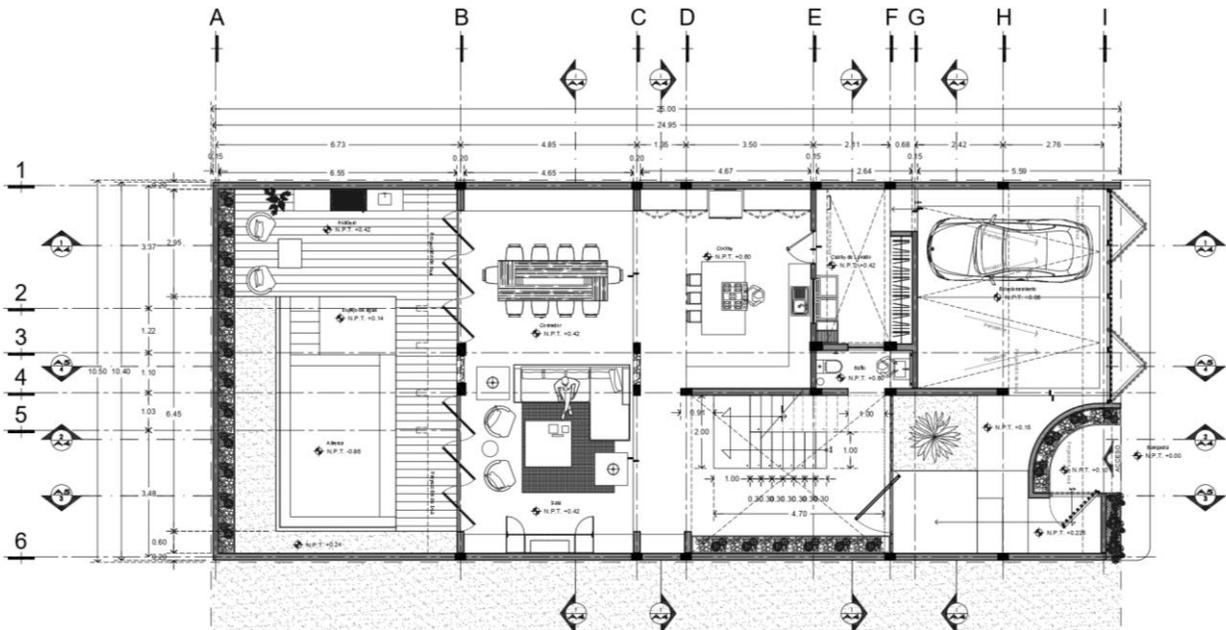
El espacio que se analizó está ubicado hacia el suroriente, de acuerdo con los estudios de asoleamiento tendrá una ganancia térmica alta. Por lo que, se propuso colocar una celosía hecha a partir de materiales reciclados que permitieran detener esta ganancia térmica y al mismo tiempo brindar una ventilación e iluminación parcial.

A continuación, se muestran los planos arquitectónicos del caso de estudio y se hizo el cálculo térmico de un espacio ubicado en el segundo piso hacia el suroriente, como se señala en la figura 4.9.

#### 4.1.2.2 Planos arquitectónicos

**Figura 4.7.**

#### *Planta Baja Arquitectónica*

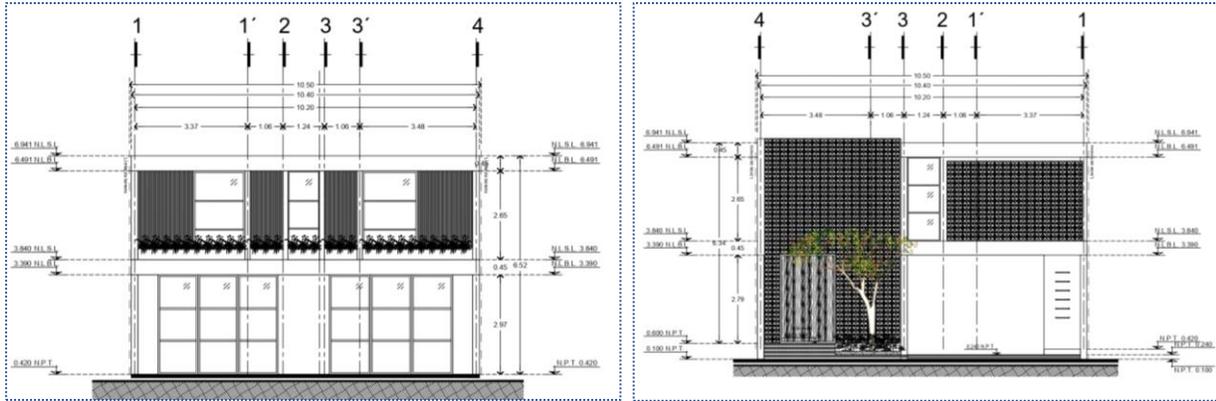


Fuente: Planos elaborados en programa AutoCad por Dalia Cruz Martínez (2019)

Figura 4.8.

*Fachada norte-este*

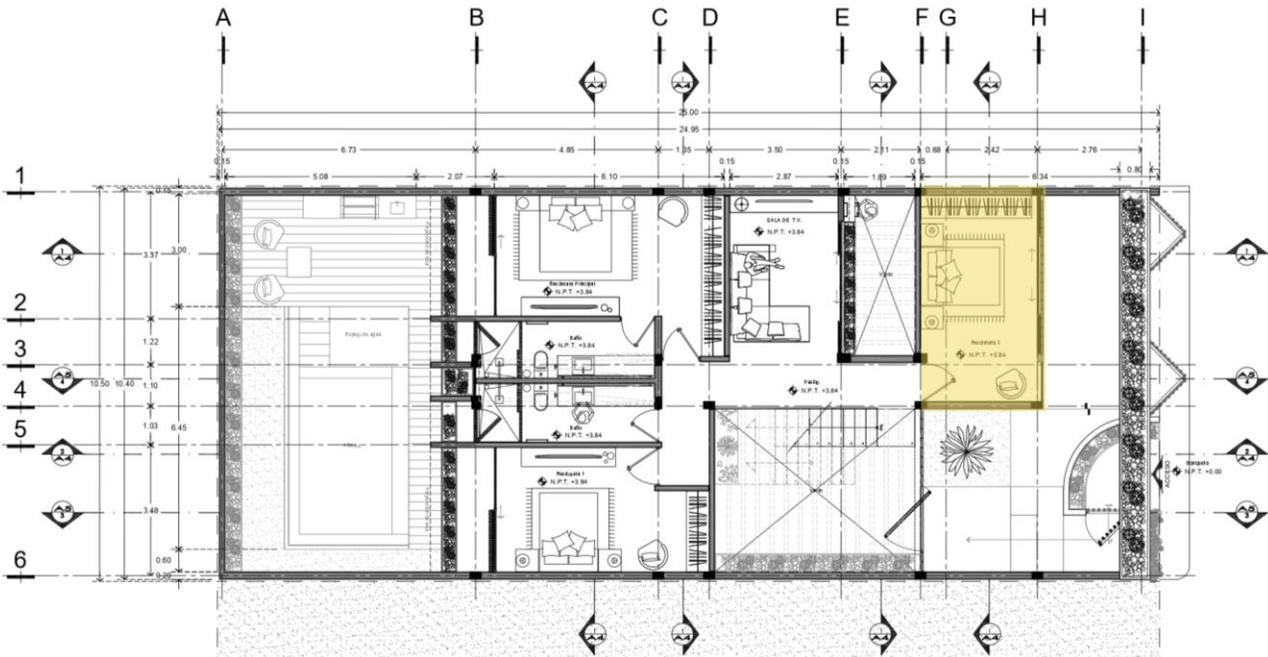
*Fachada sur-oriente*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz Martínez (2019)

Figura 4.9.

*Planta Alta Arquitectónica*



Nota: Se muestra con color amarillo la recámara donde se colocará la celosía. Fuente: Planos elaborados en programa AutoCad por Dalia Cruz Martínez (2019)

### *4.1.3 Sistema constructivo propuesto*

Para comenzar a construir un muro de celosía se preparan las piezas que se van a colocar y se distribuyen de manera uniforme en la distancia que van a cubrir.

Se seleccionó mortero tipo I como aglutinante para pegar las celosías en el muro, al tratarse de piezas de poca superficie, debe procurarse que la cantidad de mortero sea adecuada, por lo que se recomienda tener al menos 2 cm de espesor de junta de mortero para mejorar la estabilidad del muro, pero mínimo de acuerdo a las normas son 1 cm.

Para favorecer su colocación, el mortero no debe ser muy líquido, esto con el fin de brindar firmeza a la celosía cada que se pegue una hilada de éstas en la parte superior, además de no desbordar y manchar demasiado las piezas. También se recomienda humedecer las celosías antes de colocarlas evitando la saturación de agua en éstas.

Además, se debe empezar sobre una superficie plana y verificar la nivelación antes de empezar a colocar las piezas de mampostería.

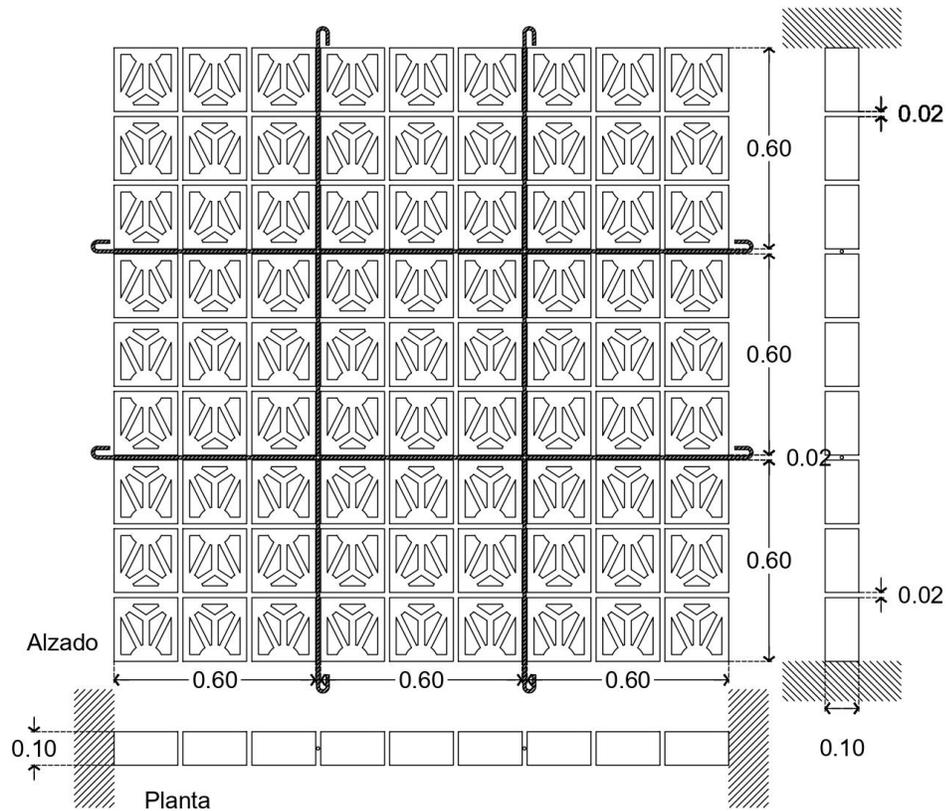
La celosía que se diseño tiene 10 cm de ancho por lo que brindará mayor estabilidad al muro, a comparación de las tradicionales de 6 cm de ancho donde cubrirán claros menores y alcanzarán menos altura. Sin embargo, también va a requerir de refuerzos horizontales y verticales, se recomiendan varillas de 3/8" que serán colocadas a cada 3 hiladas o máximo 60 cm como se muestra en la figura 4.10, es importante que dicha varilla quede perfectamente centrada y embebida en el mortero.

Se deben dejar preparaciones tanto horizontales como verticales para recibir dichos refuerzos, o si aún no se cuela el elemento estructural que rematará dicho muro, éstas quedarán ahogadas una vez que se cuele y de esta forma quedará empotrado el muro de la celosía en los elementos estructurales.

La distancia máxima de dicho muro se estima en 5 m de ancho por 3.5 m de alto, por tanto, se debe cuidar que las juntas del mortero tengan una separación uniforme entre las celosías para brindar la estabilidad requerida por dicho muro.

**Figura 4.10.**

*Refuerzos horizontales y verticales*



Nota: Se pueden manejar refuerzos a cada 4 piezas de acuerdo con la resistencia a compresión que se obtuvo en las pruebas mecánicas, sin embargo, se recomendó por parte de los maestros de la FES manejarlos a cada 3 piezas. Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz Martínez (2023)

Finalmente se recomienda que se realice un esquema o boceto para ver cómo se van a repartir las celosías en el claro a cubrir para que queden uniformemente repartidas.

#### 4.1.4 Análisis térmico en el caso de estudio

Se realizaron renders para visualizar la entrada de sol actualmente en el espacio que se encuentra en la fachada suroriente, se puede observar en la figura 4.11. que existe una ganancia térmica considerable por el ventanal, donde no se estudió previamente.

Esta entrada de sol inicia desde la 1:00 p.m. hasta las 6:30 p.m. aproximadamente durante las estaciones de primavera y verano que son las más calurosas del año, aún si se propusiera un alero o remetimiento del ventanal actual como posibles soluciones, entraría el sol de manera franca.

Se muestra en el siguiente recorrido virtual la trayectoria aproximada del sol en el caso de estudio con el siguiente código Qr.

#### Figura 4.11.

*Recorrido virtual del sol en el caso de estudio*

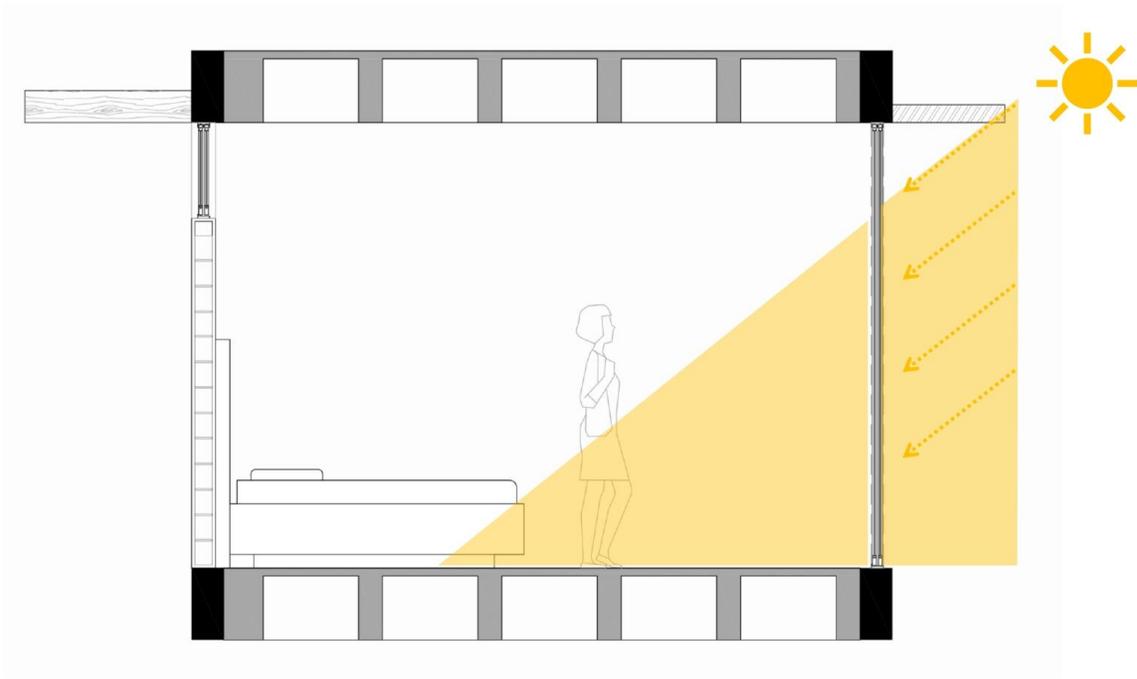


Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

Posteriormente, se observa que al colocar un muro exterior como fachada o envolvente en este caso de estudio ayuda a controlar la ganancia térmica por radiación solar y con la celosía permitirá también una iluminación y ventilación natural del espacio de manera parcial, además de ser una solución más estética a diferencia de un alero.

**Figura 4.12.**

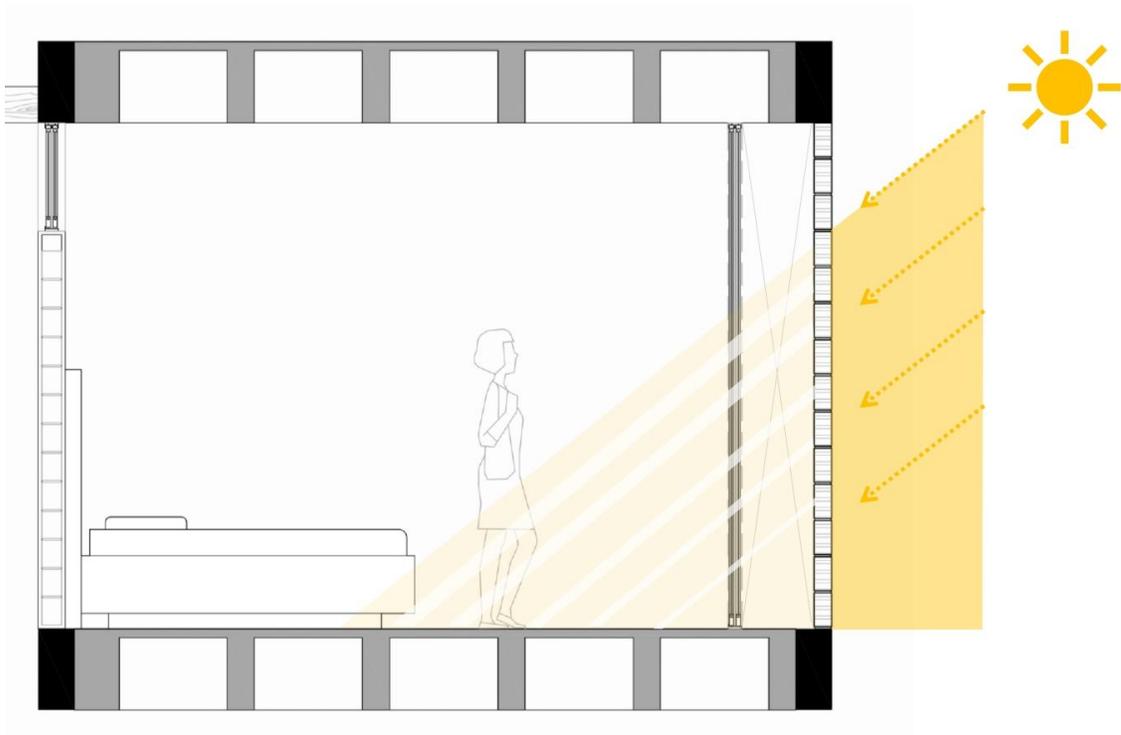
*Entrada de sol en el espacio con alero*



Fuente: Elaboración propia, Dalia Cruz Martínez en AutoCAD, Photoshop, Sketchup y V-ray  
(2023).

**Figura 4.13.**

*Entrada de sol en la recámara con celosía*



Fuente: Elaboración propia, Dalia Cruz Martínez en AutoCAD, Photoshop, Sketchup y V-ray (2023).

En estos renders se muestra como a partir de la colocación de la celosía, la cantidad de luz solar es menor, esto es importante para la zona climática en la que se encuentra.

Por otro lado, el material con la que está hecha la celosía debe ser muy resistente ya que, al estar expuesta al sol y lluvia, debe soportar diferentes condiciones climáticas. El concreto polimérico reciclado es un material que se compone de una resina poliéster y está brinda propiedades con buen comportamiento térmico, además como resultado de las pruebas térmicas, el material reciclado con el que se está trabajando, permite una diferencia de temperatura de 9.5 °C entre el exterior y el interior, pero la eficiencia del material se debe evaluar a partir de un cálculo térmico del espacio como se verá a continuación.

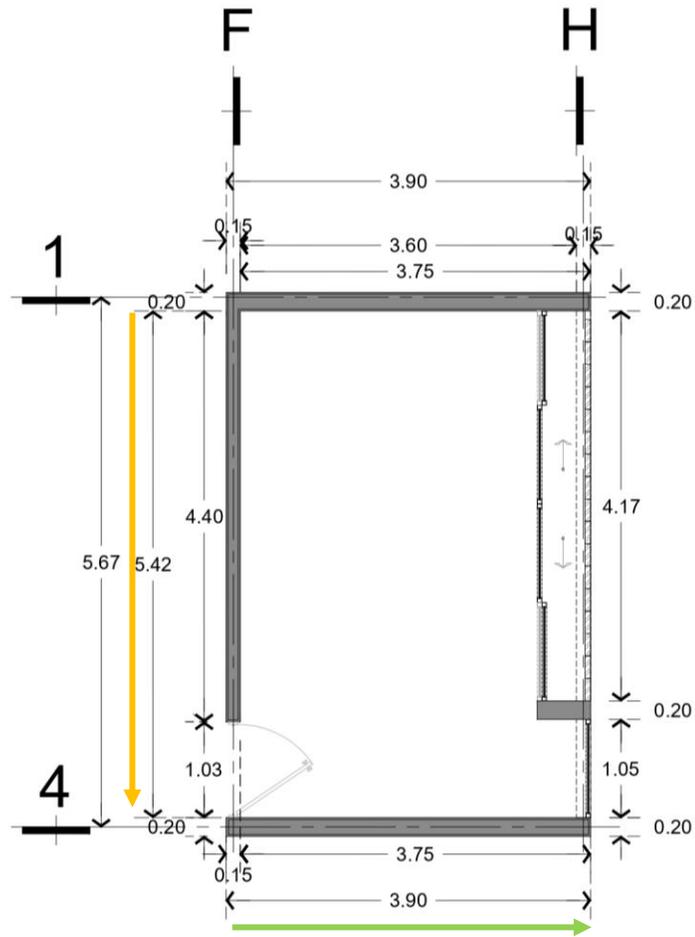
#### *4.1.4.1 Cálculo térmico del espacio sin celosía*

Se realizó un cálculo térmico del espacio más desfavorable dentro de la casa, primero se analizó sin el muro exterior de la celosía, con el objetivo de conocer las condiciones actuales en las que se encuentra el espacio sin este tipo de protecciones solares o aislamientos, a fin de demostrar el beneficio que se adquiere cuando se diseña una casa con materiales adecuados al contexto físico.

Para comenzar se definen las características físicas del espacio arquitectónico, como se muestra en la figura 4.14. donde se definen medidas del espacio y materiales actuales con los que está construido.

**Figura 4.14.**

*Dimensiones del espacio a calcular*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz Martínez

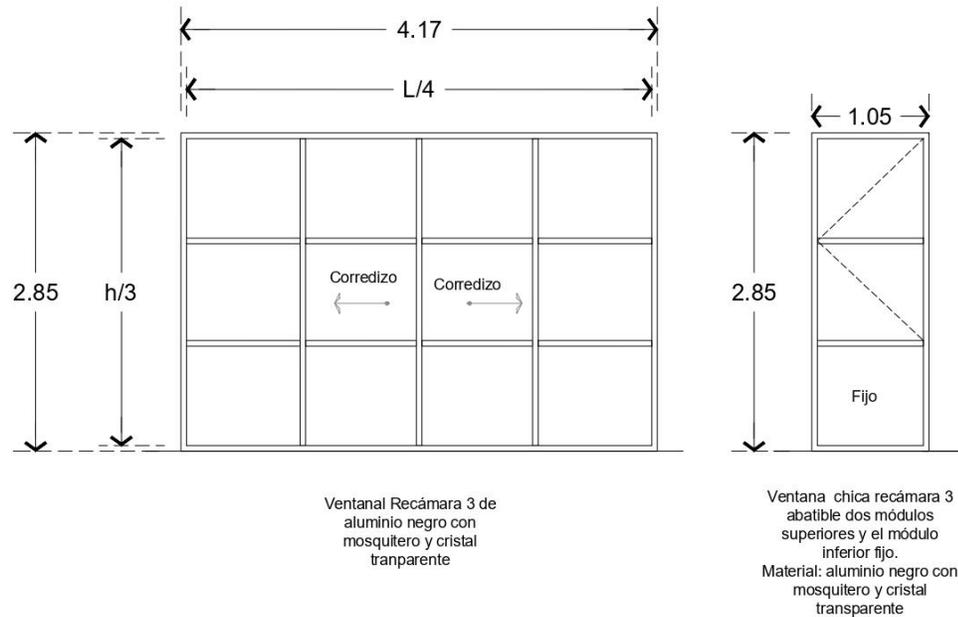
Material de aplanado exterior: Repellado de mortero de 1 cm y una capa fina de multiplás Cemex de 0.5 cm

Espesor total del muro: 18 cm

Espesor de la losa: 12 cm

Número de ventanas frontales: 2 con las siguientes dimensiones: En todas las ventanas se utiliza vidrio transparente sin película de protección.

Figura 4.15.

*Dimensión de ventanas recámara 3*

Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz Martínez

*4.1.4.1.1 Carga térmica por transmisión*

Se tomará en cuenta que la temperatura exterior es de 89.6°F (32°C) y una temperatura interior de 78.8°F (26°C) donde el espesor de los muros es de 7.08 in (18 cm).

**Por muros:**

$$U_m = \frac{1}{R_m}$$

$$R_m = \frac{1}{h_o} + \frac{X_m}{K_m} + \frac{X_a}{K_a} + \frac{1}{h_i}$$

$$h_o = 4.00$$

$$h_i = 1.46$$

$X_m$  = Espesor del material 7.08 in

$K_m$  = Coeficiente de transmisión térmica del muro

Nota;  $h_o$  y  $h_i$  son tomados del Anexo 1 tabla 2

$$R_m = \frac{1}{4} + \frac{7.08}{12} + 0 + \frac{1}{1.46} = R_m = 0.25 + 0.59 + 0.69 = 1.53$$

$$U_m = \frac{1}{1.53} = 0.65$$

Nota: Los valores DTE son tomados del Anexo 2, tabla 3, tomando como construcción medio liviana a las 3:00 p.m. y siendo el valor DTE para muros interiores la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, en este caso son 32 °C menos 26 °C, dando como resultado 6 °C (42 °F).

La fórmula a calcular es la siguiente:  $Q = AU_m DTE = \text{ft}^2 (\text{BTU}/\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F}) (\text{F})$

Donde:

A = área del muro

$U_m$  = se obtuvo con la expresión anterior

DTE = diferencia de temperaturas

$$A_{\text{muro / sureste}} = (3.90\text{m} \times 2.85\text{m}) = 11.11\text{m}^2 = 120 \text{ ft}^2$$

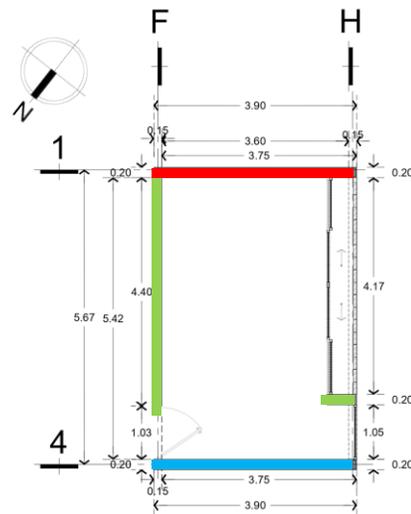
$$Q_{\text{muro / sureste}} = (120) (0.65) (22) = \underline{1,716 \text{ BTU} / \text{h}}$$

$$A_{\text{muro / norte-oriente}} = (3.90\text{m} \times 2.85\text{m}) = 11.11\text{m}^2 = 120 \text{ ft}^2$$

$$Q_{\text{muro / norte-oriente}} = (120) (0.65) (11) = \underline{858 \text{ BTU} / \text{h}}$$

$$A_{\text{muro interior}} = ((4.40 + 0.57)) \times 2.85\text{m} = 14.16 \text{ m}^2 = 152 \text{ ft}^2$$

$$Q_{\text{muro interior}} = (152) (0.65) (6) = \underline{593 \text{ BTU} / \text{h}}$$



$$Q_{\text{muros}} = 1,716 + 858 + 593 = \underline{3,167 \text{ BTU} / \text{h}}$$

**Por techos:**

$$U_t = \frac{1}{R_t} \quad R_t = \frac{1}{h_o} + \frac{X_c}{K_c} + \frac{X_a}{K_a} + \frac{1}{h_i}$$

$$h_o = 4.00$$

$$h_i = 1.08$$

$X_c$  = Espesor de losa en pulgadas 4.72 in

$K_c$  = Coeficiente de transmisión térmica de la losa

Nota;  $h_o$  y  $h_i$  son tomados del Anexo 1 tabla 2 y  $K_c$  de la tabla 3

$$R_t = \frac{1}{4} + \frac{4.72}{12} + 0 + \frac{1}{1.08} = R_m = 0.25 + 0.39 + 0.92 = 1.56$$

$$U_t = \frac{1}{1.56} = 0.64$$

Nota: los valores DTE son tomados del Anexo 1 tabla 4 sumando 1 al valor seleccionado en construcción mediana, como concreto liviano de 6" a 8" (sin aislamiento) y de color claro a las 3:00 p.m.

$$Q = AU_t \text{ DTE} = \text{ft}^2 (\text{BTU}/\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F}) (\text{F})$$

$$A_{\text{techo}} = 22.70\text{m}^2 = 245 \text{ ft}^2$$

$$Q_{\text{techos}} = (245) (0.64) (17) = \underline{2,666 \text{ BTU} / \text{h}}$$

**Por cristales:**

$$Q_c = qfA = \text{ft}^2 (\text{BTU}/\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F})$$

Nota;  $f = 0.56$  parámetro que se toma por ser vidrio común con persiana abierta a 45° con interior color claro, tomado del Anexo 1 tabla 6.

$q = 129$  es tomado del Anexo 1 tabla 5 (latitud norte 30° noroeste para 20 de abril a las 3 pm)

$$Q_c = qfA = \text{ft}^2 (\text{BTU}/\text{h} * \text{ft}^2 * \text{F})$$

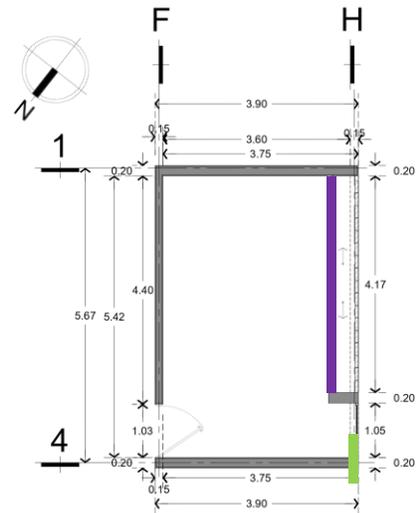
$$A_{\text{ventana 1}} = (4.17 * 2.85\text{m}) = 11.88\text{m}^2 = 128 \text{ ft}^2$$

$$Q_{\text{nororient}} = (129) (.56) (128) = \underline{9,247 \text{ BTU} / \text{h}}$$

$$A_{\text{ventana 2}} = (1.05 * 2.85\text{m}) = 3 \text{ m}^2 = 32 \text{ ft}^2$$

$$Q_{\text{orient/sur}} = (129) (.56) (32) = \underline{2,312 \text{ BTU} / \text{h}}$$

$$Q_{\text{cristales}} = 9,247 + 2,312 = \underline{11,559 \text{ BTU} / \text{h}}$$



$$Q_{\text{transmisión}} = Q_{\text{muros}} + Q_{\text{techos}} + Q_{\text{cristales}} = \underline{3,167} + \underline{2,666} + \underline{11,559} = \underline{17,392 \text{ BTU} / \text{h}}$$

$$Q_{\text{transmisión}} = \underline{17,392 \text{ BTU} / \text{h}}$$

#### 4.1.4.1.2 Carga térmica por infiltración

Volumen total del recinto (VT) = área total\*altura total = ((3.90 x 5.82m) \* (2.85m)) = 64.70 m<sup>3</sup>  
este resultado lo convertiremos a pies cúbicos.

$$\text{Volumen total del recinto (VT)} = 2,285 \text{ ft}^3$$

Nota; valores W obtenidos de la carta psicométrica, así como el valor C.A/h del Anexo 1 tabla 7 así como el valor CFM/persona de la tabla 8.

$$\text{Volumen de infiltración} = (\text{VT})(\text{C.A}/\text{h}) / 60$$

$$\text{Volumen de infiltración} = (2,285) (10) / 60 = \underline{381 \text{ ft}^3}$$

$$\text{Volumen de ventilación} = (\# \text{ personas}) (\text{CFM}/\text{persona})$$

$$\text{Volumen de ventilación} = (2) (30) = \underline{60 \text{ ft}^3}$$

De estos valores obtenidos se escoge el de mayor valor siendo el de infiltración

Nota: los valores para temperatura de bulbo húmedo (Tbh) y temperatura de bulbo seco (Tbs) se toman del Anexo 1 tabla 1.

Para Cuautla Morelos Tbh= 72 °F interior Tbs= 108 °F exterior

$\Phi$ = humedad relativa en Cuautla Morelos 18 %

$\Phi$ =18 %

W=60 g/lb W= 74 g/lb

$$Q_s = 1.8 (V) (T_e - T_i) = 1.8 (381) (89.6 - 78.8) = \underline{7,407 \text{ BTU /h}}$$

$$Q_l = 0.68 (V) (W_e - W_i) = 0.68 (381) (74 - 60) = \underline{3,628 \text{ BTU /h}}$$

$$Q_{\text{infiltración}} = Q_s + Q_l = 7,407 + 3,628 = \underline{11,035 \text{ BTU/h}}$$

#### 4.1.4.1.3 Carga térmica por misceláneos

##### Por iluminación:

$Q_{\text{iluminación}} = \text{watts} (3.4) = \text{BTU / h}$  Si se considera 1 watt/ft<sup>2</sup>

Área total = 3.90 x 5.82m = 22.70 m<sup>2</sup> = (244 ft<sup>2</sup>)

Siendo un área total de 244 ft<sup>2</sup> entonces serán 244 watts con lo cual tenemos

$$Q_{\text{iluminación}} = 244 (3.4) = \underline{830 \text{ BTU / h}}$$

##### Por personas:

$Q_s = (\# \text{ de personas}) (\text{calor sensible producido}) = \text{BTU / h}$

$Q_l = (\# \text{ de personas}) (\text{calor latente producido}) = \text{BTU / h}$

$$Q_s = (2) (215) = 430 \text{ BTU / h}$$

$$Q_l = (2) (235) = 470 \text{ BTU / h}$$

$$Q_{\text{personas}} = Q_s + Q_l = 430 + 470 = \underline{900 \text{ BTU / h}}$$

Nota; calor latente y sensible tomados del Anexo 1 tabla 9.

**Por equipos:**

BTU/h= watts (3.4)

Se considera una televisión TV 500 BTU/h

Se considera una computadora 1020 BTU/h

$$Q_{\text{equipos}} = 500 + 1020 = \underline{1520 \text{ BTU / h}}$$

$$Q_{\text{misceláneos}} = Q_{\text{iluminación}} + Q_{\text{personas}} + Q_{\text{equipos}} = 830 + 900 + 1520 = 3,250 \text{ BTU / h}$$

Finalmente se suman los tres tipos de transmisión

$$Q_{\text{transmisión}} + Q_{\text{infiltración}} + Q_{\text{misceláneos}} = Q_{\text{total}} = 17,392 + 11,035 + 3,250 = 31,677 \text{ BTU / h}$$

$$\text{Capacidad } \frac{31677}{12000} = 2.63 \text{ Toneladas de refrigeración}$$

#### 4.1.4.2 Cálculo térmico del espacio con el muro de celosía

Se tomarán en cuenta las mismas condiciones de temperatura; exterior de 89.6°F (32°C) y una temperatura interior de 78.8°F (26°C) donde el espesor de los muros es de 7.08 in (18 cm), en este segundo cálculo se colocará la celosía como muro exterior en donde están las ventanas, como técnica de protección solar, la celosía tiene un espesor de 3.94 pulgadas (10 cm) y de acuerdo con las pruebas térmicas que se realizaron, tiene una conductividad térmica de  $K=0.327 \text{ W/mk}$ .

Se recalculará la carga térmica por transmisión en muros y cristales porque es donde impacta el elemento propuesto.

#### 4.1.4.2.1 Carga térmica por transmisión con celosía

Por muros:

$$U_m = \frac{1}{R_m} \quad R_m = \frac{1}{h_o} + \frac{X_m}{K_m} + \frac{X_a}{K_a} + \frac{1}{h_i}$$

$$h_o = 4.00$$

$$h_i = 1.46$$

$$X_m = \text{Espesor del material } 7.08 \text{ in}$$

$$X_a = \text{Espesor de la celosía } = 3.94 \text{ in}$$

$$X_b = \text{Separación entre la celosía y vidrio } = 19.69 \text{ in}$$

$$X_c = \text{Espesor del vidrio } = 0.23 \text{ in}$$

$$K_a = \text{conductividad de la celosía } = 0.327 \text{ W/mk (se convierte a } 2.26 \text{ BTU} \cdot \text{in/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F)}$$

Nota;  $h_o$  y  $h_i$  son tomados del Anexo 1 tabla 2

$$R_{\text{muro de celosía}} = \frac{1}{4} + \frac{3.94}{2.26} + \frac{19.69}{1.46} + \frac{0.23}{1.46} + \frac{1}{1.46} = R_m = 0.25 + 1.74 + 13.49 + 0.16 + 0.69 = 16.33$$

$$U_{\text{muro celosía}} = \frac{1}{16.33} = 0.061$$

$$R_m = \frac{1}{4} + \frac{7.08}{12} + 0 + \frac{1}{1.46} = R_m = 0.25 + 0.59 + 0.69 = 1.53$$

$$U_m = \frac{1}{1.53} = 0.653$$

La fórmula a calcular es la siguiente:  $Q = AU_m \text{ DTE} = \text{ft}^2 (\text{BTU/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F}) (\text{F})$

Nota: Se repiten los datos en todos los muros, solo se agrega un muro nuevo, el de la celosía, se marca con color morado, en la siguiente imagen.

$$A_{\text{muro/sureste}} = (3.90\text{m} \cdot 2.85\text{m}) = 11.11\text{m}^2 = 120 \text{ ft}^2$$

$$Q_{\text{muro/sureste}} = (120) (0.653) (22) = \underline{1,724 \text{ BTU/h}}$$

$A_{\text{muro / noroeste}} = (3.90\text{m} * 2.85\text{m}) = 11.11\text{m}^2 = 120\text{ ft}^2$

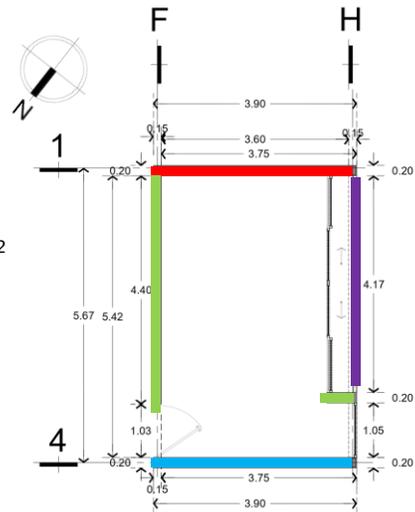
$Q_{\text{muro / noroeste}} = (120) (0.653) (11) = \underline{862\text{ BTU / h}}$

$A_{\text{muro interior}} = ((4.40 + .57)) * 2.85\text{m} = 14.16\text{ m}^2 = 152\text{ ft}^2$

$Q_{\text{muro interior}} = (152) (0.653) (6) = \underline{595\text{ BTU / h}}$

$A_{\text{muro celosía}} = (4.17 * 2.85\text{ m}) = 11.88\text{ m}^2 = 127.87\text{ ft}^2$

$Q_{\text{muro celosía}} = (127.87) (0.061) (16) = \underline{125\text{ BTU / h}}$



$Q_{\text{muros}} = 1,724 + 862 + 595 + 125 = \underline{3,306\text{ BTU/h}}$

Por cristales:

$Q_c = qfA = \text{ft}^2 (\text{BTU/h} * \text{ft}^2 * F)$

Nota;  $f = 0.56$  parámetro que se toma por ser vidrio común con persiana abierta a 45° con interior color claro, tomado del Anexo 1 tabla 6.

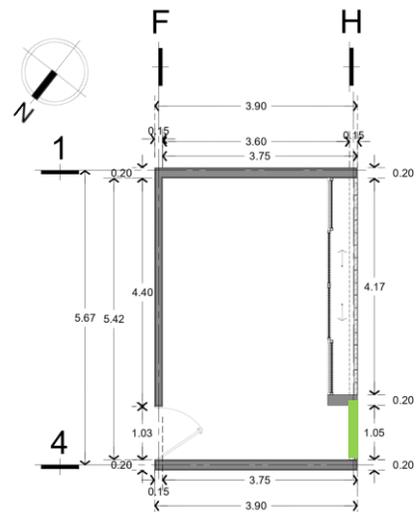
$q = 129$  es tomado del Anexo 1 tabla 5 (latitud norte 30° noroeste para 20 de abril a las 3 pm)

$Q_c = qfA = \text{ft}^2 (\text{BTU/h} * \text{ft}^2 * F)$

$A_{\text{ventana 2}} = (1.05 * 2.85\text{m}) = 3\text{ m}^2 = 32\text{ ft}^2$

$Q_{\text{oriente/sur}} = (129) (.56) (32) = \underline{2,312\text{ BTU / h}}$

$Q_{\text{cristales}} = \underline{2,312\text{ BTU / h}}$



$$Q_{\text{transmisión}} = Q_{\text{muros}} + Q_{\text{techos}} + Q_{\text{cristales}} = 3,303 + 2,666 + 2,312 = 8,281 \text{ BTU} / h$$

$$Q_{\text{transmisión}} = 8,281 \text{ BTU} / h$$

Se toman los mismos datos de transmisión por infiltración y por misceláneos ya que la propuesta, no afecta estos parámetros.

$$Q_{\text{transmisión}} + Q_{\text{infiltración}} + Q_{\text{misceláneos}} = Q_{\text{total}} = 8,281 + 11,035 + 3,250 = 22,566 \text{ BTU} / h$$

$$\text{Capacidad} \frac{22566}{12000} = 1.88 \text{ Toneladas de refrigeración}$$

Conforme a los resultados anteriores se muestra que, al colocar el muro exterior hecho con la celosía de concreto polimérico reciclado del espacio arquitectónico ubicado en una fachada desfavorable, tiene beneficios de ahorro energético a que, si no se contará con este elemento de mampostería como forma de protección solar, ya que con su colocación se ahorran 0.75 toneladas de refrigeración y convirtiéndolos a kw/h hay un ahorro de 3,848 kw/h al año considerando un consumo de 4 horas al día. En costo se traduce a un ahorro de \$11,381.00 pesos al año, como se muestra en la siguiente tabla, donde se desglosa el cálculo.

**Figura 4.16.**

*Tabla comparativa de comportamiento energético con y sin celosía*

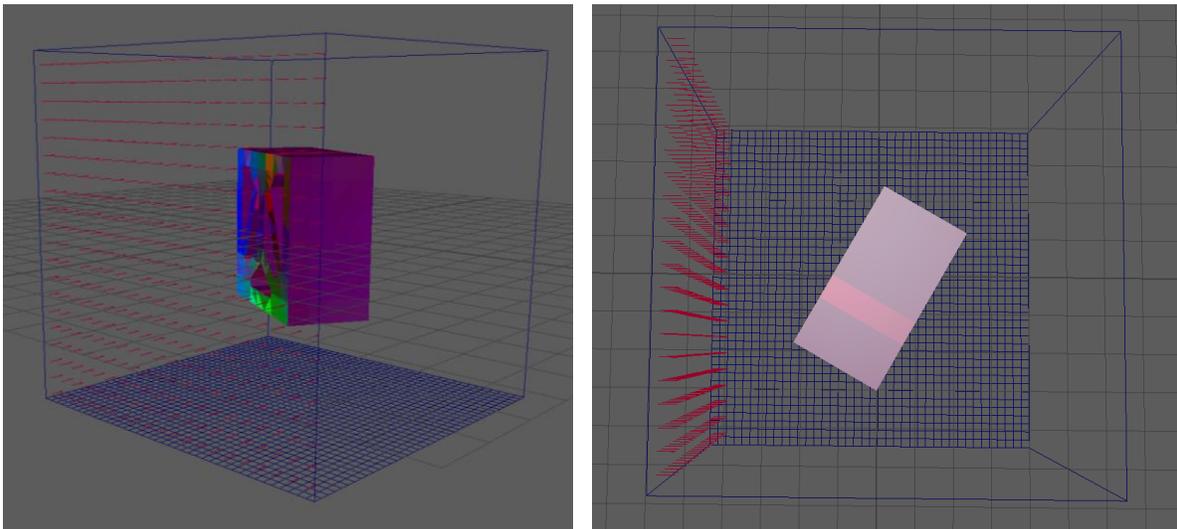
Espacio	Espacio sin celosía	Espacio con celosía
Consumo de BTUS/ h	31,677	22,566
Capacidad de toneladas de refrigeración	2.64	1.88
Conversión a Kw	9.28	6.61
Si se usará 4 horas al día (kw/h)	37.13	26.45
Consumo durante un mes (kw/h)	1114.02	793.60
Consumo durante un año (kw/h)	13,368.20	9523.21
Costo por kw/h por CFE	\$2.96	
Costo final por consumo al año	\$39,569.87	\$28,188.71
Ahorros al año por usar una celosía	\$11,381.16	

Fuente: Elaboración de tabla en Excel por Dalia Cruz Martínez (2023)

Se muestra que hay un ahorro del 30% del consumo energético total del espacio arquitectónico al colocar esta celosía con concreto polimérico reciclado, asimismo hay un ahorro económico derivado de la reducción del consumo de energía que hay por tener este tipo de elementos de mampostería que permiten controlar la entrada de sol al espacio.

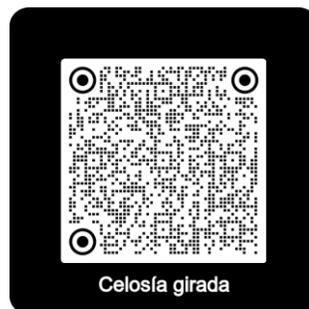
#### *4.1.5 Simulaciones en túnel de viento*

Se colocó la celosía en la herramienta túnel de viento del programa Maya, pero ahora con un ángulo de 45° correspondiente a la dirección del viento en el caso de estudio, como se muestra en la figura 4.17.

**Figura 4.17.***Celosía girada al ángulo del viento del caso de estudio*

Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

En el siguiente video se muestra la celosía colocada en la posición correcta de acuerdo como va a recibir el viento en el espacio arquitectónico de Cautla Morelos.

**Figura 4.18.***Dirección del viento en el caso de estudio*

Fuente: Elaborado por Dalia Cruz en Qr Tiger (2023).

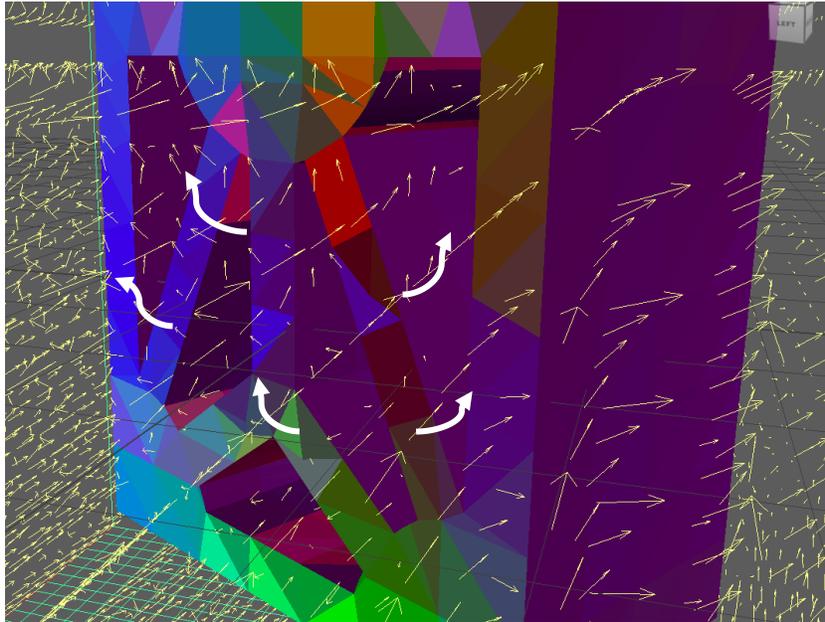
Se observa que el viento en el caso de estudio viene del sur, esté al encontrar la geometría de la celosía se desvía hacia las celdas interiores, girando e ingresando al interior del espacio, como se muestra en la figura 4.19.

Posteriormente al interior de la pieza, como se muestra en la figura 4.20 el viento toma una curva generada por el giro y sale de forma ascendente, es decir sube. Este efecto solo se hace

si la celosía esta girada, porque de frente solo atraviesa la pieza, lo que hace pensar que una cara girada o en ángulo invita al viento a tomar otra dirección y ascender por el mismo movimiento.

**Figura 4.19.**

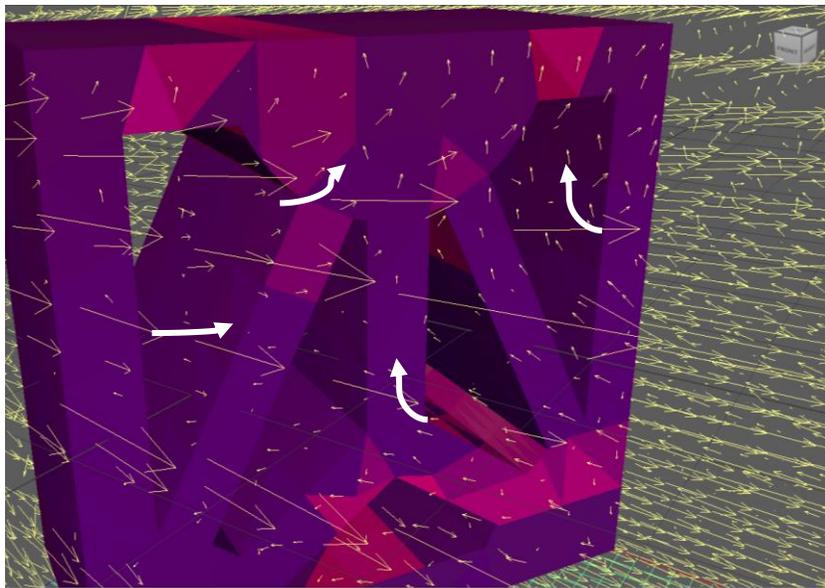
*Recorrido del viento en la cara exterior*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

**Figura 4.20.**

*Recorrido del viento en la parte interior*

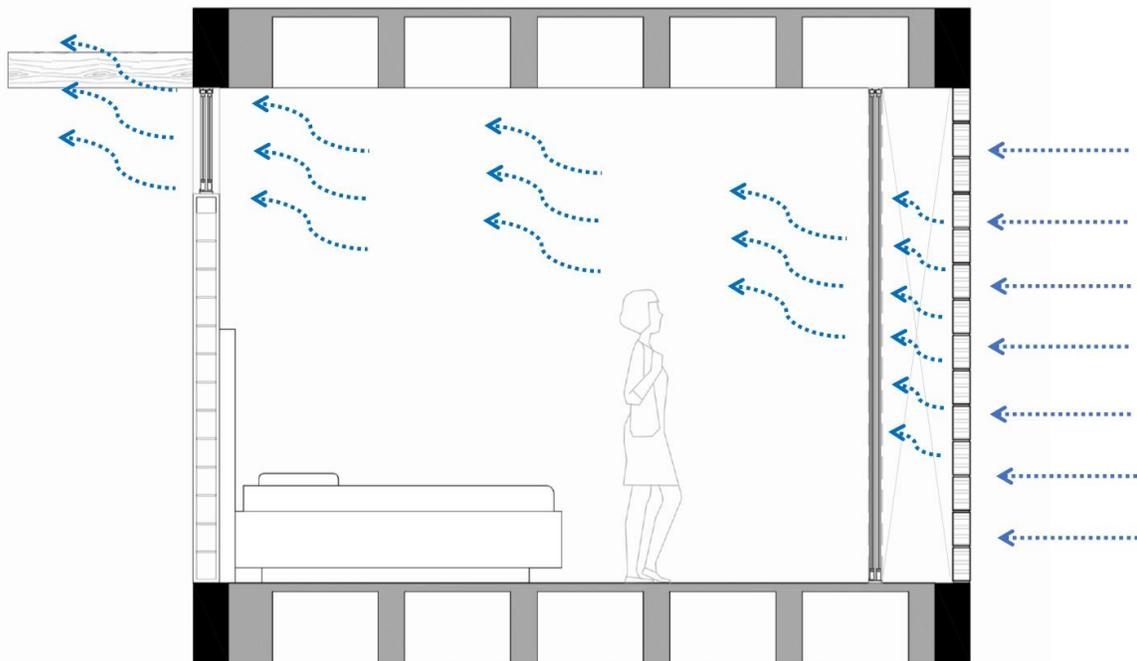


Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)

Al analizar el comportamiento del viento en dicho espacio se tiene como resultado que el aire al ingresar por la celosía es ascendente, esto derivado de la geometría que se diseñó, por lo que se recomienda colocar una ventana superior al extremo opuesto del espacio como se muestra en la figura 4.21. para lograr una ventilación cruzada eficiente.

**Figura 4.21.**

*Recorrido del viento en la parte interior*



Fuente: Elaboración propia, Dalia Cruz Martínez en AutoCAD y Photoshop (2023).

En el caso de estudio el muro de la celosía se puso a 40 cm de separación del ventanal corredizo, esta fue la medida máxima que se pudo colocar, sin embargo, se recomienda dejar unos 80 cm de separación entre el ventanal y el muro de celosía, con el fin de tener un espacio más cómodo para el mantenimiento del ventanal.

Por otra parte, se puede observar que la celosía tiene diferentes colores, lo que hace el programa Maya es asignar un color de acuerdo a la velocidad del fluido en la posición de la cara, es decir, se asigna un color cálido o frío a la cara dependiendo de la velocidad del fluido en esas coordenadas dentro del contenedor.

Entre más cálida sea la cara, los componentes de la velocidad son máximas en el eje x, mientras que los colores fríos representan altas velocidades.

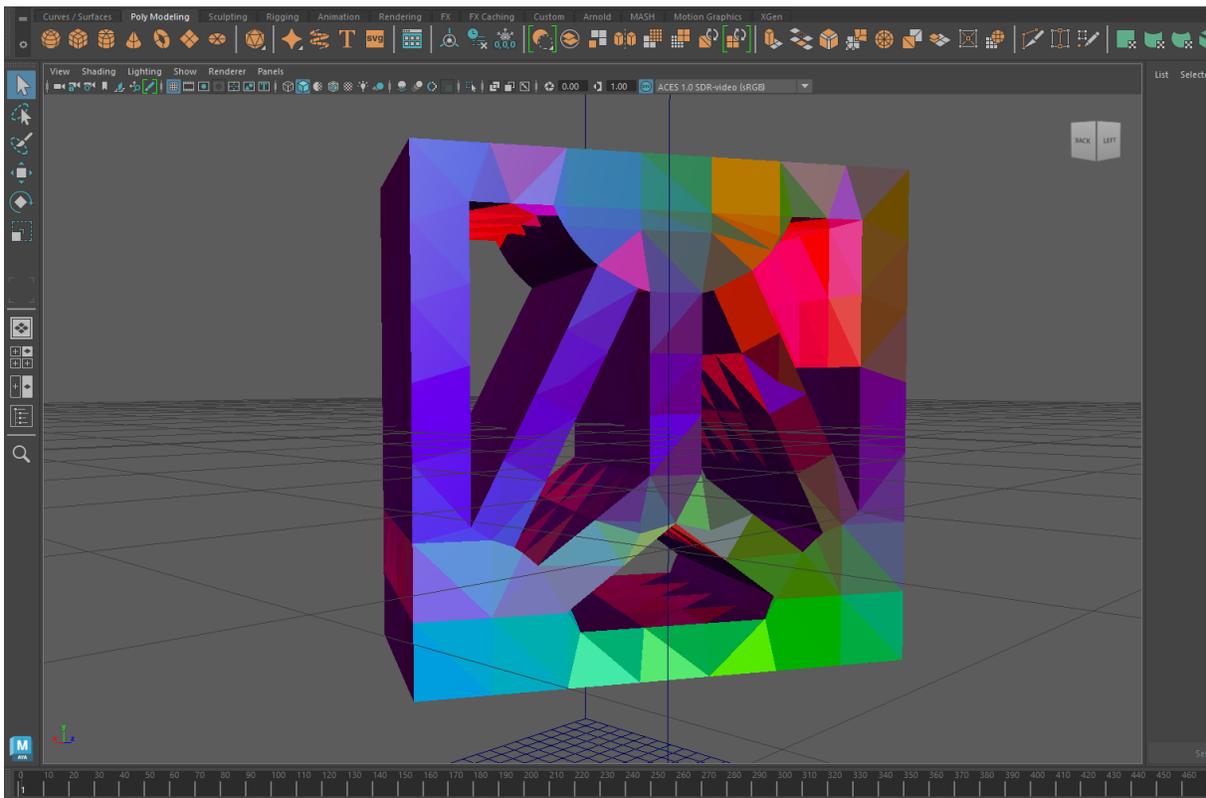
Colores con mucha intensidad de rojo, velocidades cuya componente en x es máxima o cercana al máximo; colores verdes, velocidades altas en y; azules, velocidades altas en z; amarillos, velocidades altas tanto en x como en y, etc. (*Manual Maya*, 2022)

De acuerdo a la paleta de colores que da el programa, se manejan tonos rojos y morados en las paredes interiores, la velocidad del viento está en la dirección X, pero con baja velocidad.

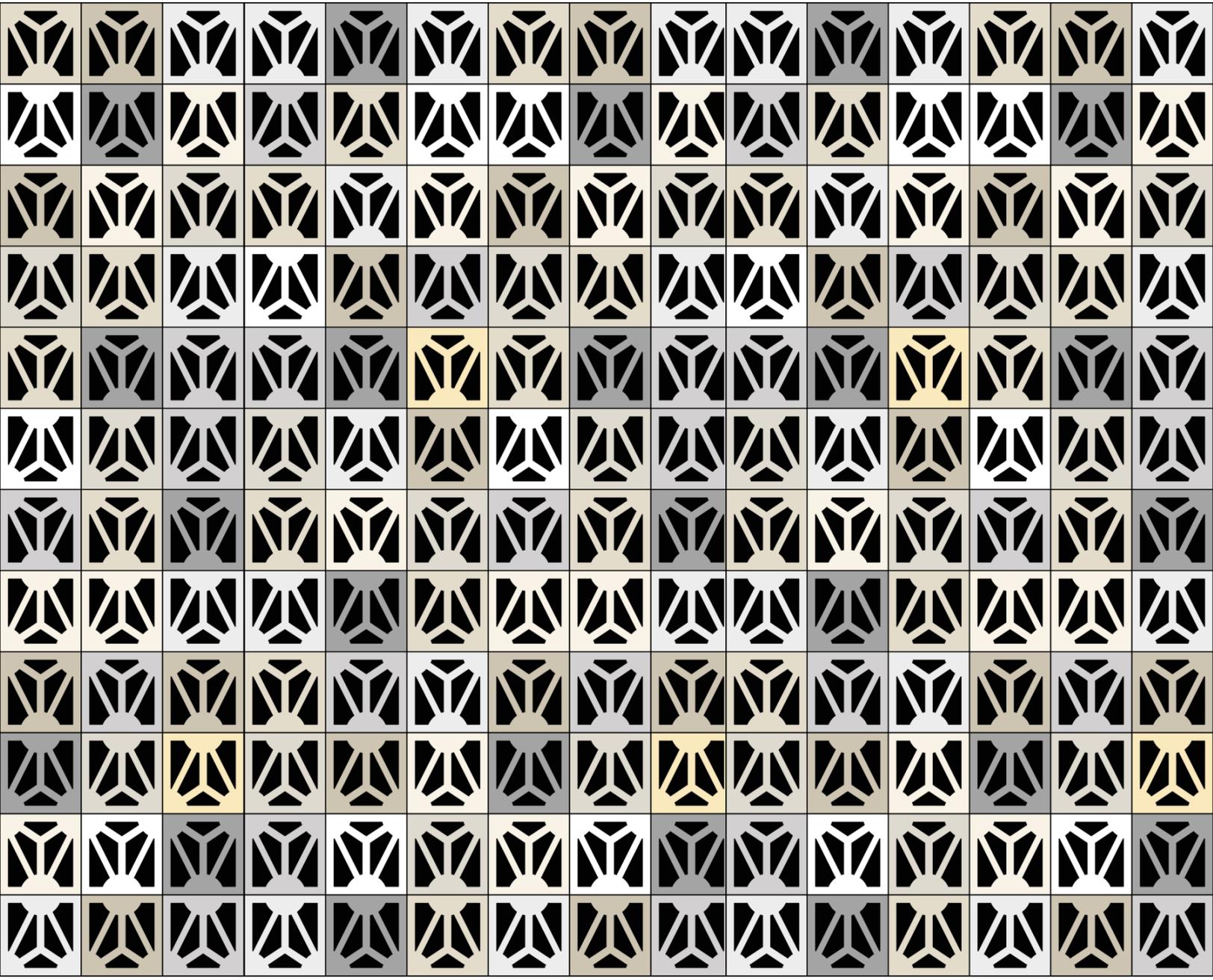
Mientras que en la parte inferior se ven colores verdes y azules, que es donde pega el viento directamente a esa cara y se tienen velocidades en el eje Y con velocidades más altas.

**Figura 4.22.**

*Paleta de colores de la celosía*



Fuente: Elaboración propia Dalia Cruz (2022)



## 5. CONCLUSIONES

---

Al iniciar la investigación se tenía como objetivo crear un elemento de mampostería hecha a partir de materiales reciclados, con el fin de aprovechar residuos contaminantes para el medio ambiente y poder contribuir desde el campo de la arquitectura con la reutilización de estos y aplicarlos como materiales o elementos de construcción. Esto se logró gracias a la investigación que se realizó sobre los residuos plásticos y de manejo especial, como los desechos de las obras, dos materiales que son potencialmente reciclables por las características y propiedades que presentan.

Por otro lado, se propuso que fuera una celosía el elemento de mampostería, porque son elementos no estructurales y actualmente los residuos de construcción solo se pueden reutilizar en elementos no portantes de una edificación. Además, se detectó que muchas viviendas con climas cálidos como Cuautla Morelos requieren estrategias de diseño como las celosías para ventilar e iluminar espacios de manera natural, sin embargo, el proponer una celosía con materiales reciclados cuyas propiedades sean óptimas para mejorar el desempeño térmico del espacio donde se desee colocar era una de las interrogantes de la investigación.

Por lo que la respuesta fue positiva, ya que al colocar la celosía hecha de un concreto polimérico reciclado redujo hasta un 30% de ganancia térmica en el espacio donde se colocó esta pieza.

Para poder llegar a este resultado se tuvo que aprobar diferentes normas a través de múltiples pruebas.

Previamente se realizaron pruebas mecánicas, térmicas, de absorción de agua y simulación de fluidos, donde se pudieron obtener resultados favorables, ya que el concreto polimérico reciclado al ser un material compuesto de dos componentes procedentes de residuos, aprueba las normas a las que se sometieron las piezas de celosías hechas con este material, por lo que la geometría propuesta y el material son aptos para su uso en elementos de mampostería no estructural.

Una de las normas que aprobó es la NMX-C-441-ONNCCE-2013 que especifica las características que deben cumplir los elementos de mampostería, como tabiques, bloques, ladrillos y tabicones de uso no estructural. La resistencia mínima que deben cumplir de acuerdo

con esta norma es de  $f_p=2,0$  Mpa ( $20 \text{ kg/cm}^2$ ). La celosía diseñada en la investigación obtuvo una resistencia individual de  $61 \text{ kg/cm}^2$  colocando la pieza de manera vertical y  $24 \text{ kg/cm}^2$  colocando la pieza de forma horizontal. De tal manera que la resistencia va a depender en gran medida de la posición en la que se coloque la celosía en el muro, por lo que se recomienda que siempre sea de manera vertical para brindar una mayor estabilidad al muro que la emplee.

Cabe mencionar que se recomienda integrar refuerzos horizontales y verticales con una varilla corrugada de  $3/8''$  al menos cada 4 piezas cuando el claro a cubrir sea mayor a 3 m, ya que no se probó en la investigación un muro de mayor longitud.

Por otro lado, de acuerdo con los resultados alcanzados de la prueba de resistencia a compresión diagonal, se obtuvo una falla por cortante, es decir que no hay una buena adherencia entre la resina utilizada en el concreto y el mortero tipo I empleado, sin embargo, los parámetros obtenidos aprueban la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010 que especifica el ensaye de muretes y pilas. En esta prueba la norma pide una resistencia mínima de  $3.5 \text{ kg/cm}^2$  y con la celosía diseñada se logra una resistencia de  $3.79 \text{ kg/cm}^2$  cabe mencionar que, aunque se mostró una falla por cortante la parte rugosa de la celosía tuvo una muy buena adherencia al mortero y la parte lisa es la que no trabajó de manera adecuada.

No obstante, se pueden hacer mejoras al diseño de la pieza para que pueda tener una mejor adherencia la parte lisa al mortero, como lo es añadir dientes o canaletas en los extremos de la celosía para que pueda recibir el mortero y el refuerzo diagonal como lo es una varilla, para finalmente tener un mejor agarre y evitar un desplazamiento anticipado.

En cuanto a la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013 especifica los valores máximos de absorción total e inicial de las piezas de mampostería, el material mostro un porcentaje favorecedor del porcentaje de absorción total en 24 horas, ya que la norma establece un 12 % como valor máximo para un material tipo concreto y los resultados alcanzados están por debajo, con un 6.37 %. Cabe mencionar que no hay un porcentaje exacto para un concreto polimérico dentro de la norma por lo que se tomó en cuenta el parámetro del material que más se le parece, en este caso un concreto normal.

Derivado a esta prueba se tiene un material para mampostería de baja absorción a la humedad, lo que permite tener una mayor estabilidad mecánica a largo plazo y de bajo mantenimiento, que son factores importantes para la durabilidad de la celosía. Además de poder enfrentarse a climas extremos donde la humedad sea un factor importante de desgaste en este tipo de elementos de mampostería.

Además, una de las ventajas de dicho material es que al tener dos texturas se tiene una alta resistencia a la impermeabilidad, derivado también de la resina poliéster que se concentra en la parte más lisa de la celosía y evita el paso del agua o incluso la absorción de esta, retrasando la aparición de humedad en el muro, al contrario de un barro rojo que absorbe muy fácil el agua y en todo caso requiere sellarse con un barniz que lo proteja de éste.

Asimismo, repercute en el costo de mantenimiento de dicho muro, ya que la celosía hecha a partir de concreto polimérico no requiere sellador o tratamiento posterior a su colocación, lo que permite un bajo costo de mantenimiento.

Por otra parte, el concreto polimérico reciclado cuenta con propiedades térmicas adecuadas para controlar el paso de calor al interior de un espacio, lo que funciona muy bien para este tipo de elementos de mampostería. Con las proporciones que se trabajaron para realizar el material se logró una conductividad térmica ( $k$ ) de 0.327 W/mk comparándolo con un barro rojo recocido, material con el que se hacen las celosías más comunes del mercado en Cuautla, se trabajaría con una conductividad térmica de 1,31 W/mK. Derivado a esto, si se requiere un material mucho más resistente al paso del calor, el concreto polimérico reciclado es una excelente opción.

También se obtuvo que la celosía debe colocarse con la textura rugosa hacia el exterior de la vivienda, ya que, de acuerdo con las pruebas térmicas mantiene un rango mayor de temperatura, con 9.5 °C de diferencia entre la temperatura interior y exterior de la celosía.

En cuanto a las simulaciones que se realizaron en el túnel de viento, la celosía en el caso de estudio está colocada a 45° con respecto a la dirección del viento e invita este a ingresar al espacio tomando un giro que finalmente hace un movimiento ascendente. Se aprovecha este giro

del viento al colocar una ventana en la parte superior al extremo opuesto del muro de celosía, con el fin de tener una ventilación cruzada y complementar la propuesta, esto como resultado de la geometría que se diseñó.

Evidentemente el diseño puede mejorar con la simulación del túnel de viento, puesto que ayuda a visualizar el comportamiento del paso de este fluido por una geometría determinada.

Las mejoras pueden ser, inclinar las paredes interiores o incluso quitar las dos internas con el fin de que éstas no rompan la velocidad del viento y este ingrese con mayor rapidez.

Finalmente se realizó el cálculo térmico del espacio donde se colocó la celosía como parte de un muro exterior en la fachada de la vivienda unifamiliar de Cuautla Morelos y se obtuvo que hay una horro del 30% del consumo energético de la vivienda al utilizar la propuesta y el material reciclado ante las condiciones actuales.

Con estos resultados se comprueba que al utilizar este tipo de elementos de mampostería en muros exteriores y fachadas se ahorra en el consumo energético de la vivienda al requerir menos capacidad de tonelaje de refrigeración y con ello menos consumo de aire acondicionado o incluso el nulo requerimiento de este si se utilizan los materiales adecuados con respecto a la zona geográfica a la hora de construir.

Al utilizar un concreto polimérico reciclado en la elaboración de celosías para exteriores, se utiliza materia prima reutilizada evitando la presión que se ejerce sobre los recursos naturales y coadyuva a reducir el número de residuos plásticos y aprovechamiento de residuos de manejo especial como lo es el concreto o cascajo proveniente de una obra, para aplicarlo en un elemento noble de la arquitectura, como lo son las celosías.

## 6. RECOMENDACIONES

---

Durante el proceso de diseño de la celosía se dejó una ligera inclinación en el molde con el fin de facilitar su desmolde de ésta, sin embargo, la celosía resultante no tuvo una superficie plana y nivelada, lo que provocó que el maestro tuviera dificultad a la hora de pegarla en el murete para la prueba de compresión diagonal.

Derivado a esto, se sugiere no dejar ninguna inclinación en el molde con el fin de obtener una pieza totalmente ortogonal y nivelada para facilitar su colocación en el muro.

Posteriormente durante la fase experimental se observó que el color de la resina poliéster empleada tiene un color oscuro, el cual es resultado del proceso de reciclaje químico al que fue sometida la botella de PET recuperada de la basura, por lo que la celosía final con la que se trabajó durante la investigación fue de color gris, por ello, se sugiere buscar un pigmento adecuado que permita brindar una variedad de colores y diferentes acabados en dicho material.

Por otro lado, si se quiere lograr una sola textura en toda la celosía, se recomienda agregar un tercer agregado granular de menor tamaño, como puede ser una arena reciclada para homogenizar la mezcla y lograr un acabado menos poroso, pero eso dependerá en gran medida de las propiedades que se deseé obtener.

Asimismo, durante el proceso de colocación de la celosía en el murete, se observó que el mortero empleado se resbalaba en la parte lisa de la pieza y ensuciaba de más el acabado, obstaculizando el proceso de pegado de ésta. Por lo que, se recomienda probar otro tipo de conexión o ensamble entre las piezas, como un sistema de macho hembra, para evitar el uso de mortero como aglutinante y facilitar su colocación en muros de mampostería.

## 7. REFERENCIAS

---

Avilés, C. (2019). *Origen del plástico: ¿Cuál es su historia?*.

<https://www.comercialaviles.com/blog/origen-del-plastico-cual-es-la-historia-de-este-material/>

Besednjak Dietrich, A. (2005). *Materiales Compuestos, procesos de fabricación de embarcaciones*. Universidad Politécnica de Cataluña, SL.

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gMSg5rURr6sC&oi=fnd&pg=PA7&dq=materiales+compuestos+&ots=B2p4\\_aKVdt&sig=ytuumk99ufsFbJ6dBSQdPPoWxFk#v=onepage&q=materiales+compuestos&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gMSg5rURr6sC&oi=fnd&pg=PA7&dq=materiales+compuestos+&ots=B2p4_aKVdt&sig=ytuumk99ufsFbJ6dBSQdPPoWxFk#v=onepage&q=materiales+compuestos&f=false)

Billmeyer, W. F. J. (1975). *Ciencia de los polímeros*. Editorial Reverté.

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Fe0FEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=QUE+SON+LOS+polimeros&ots=e3u5qZmdkP&sig=W8Cb20THLyhZfR\\_yUxmuNDNztTA#v=onepage&q=QUE+SON+LOS+polimeros&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Fe0FEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=QUE+SON+LOS+polimeros&ots=e3u5qZmdkP&sig=W8Cb20THLyhZfR_yUxmuNDNztTA#v=onepage&q=QUE+SON+LOS+polimeros&f=false)

Brindis, E. A. (2002). *Propiedades básicas de los polímeros*.

[https://www.academia.edu/34650509/PROPIEDADES\\_B%C3%81SICAS\\_DE\\_LOS\\_POL%C3%8DMEROS](https://www.academia.edu/34650509/PROPIEDADES_B%C3%81SICAS_DE_LOS_POL%C3%8DMEROS)

Botet, L. A. (2019). *Estudio de los plásticos como material reciclado para la obtención de material de construcción*. Universidad Politécnica de Valencia.

<https://acortar.link/tYas0p>

Cairplas. (2020). *Qué son los plásticos*. <https://cairplas.org.ar/plasticos/>

Callister, D. W., & Rethwisch, G. D. (2018). *Ciencia e ingeniería de materiales*

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=WYfyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=ciencia+de+los+materiales&ots=fMrcnglTvD&sig=sKAAs9ZCnurT5sB2tQQx\\_4deopQ#v=onepage&q=ciencia+de+los+materiales&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=WYfyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=ciencia+de+los+materiales&ots=fMrcnglTvD&sig=sKAAs9ZCnurT5sB2tQQx_4deopQ#v=onepage&q=ciencia+de+los+materiales&f=false)

Franco Martínez, D., Espinosa Hernández, J. y Mecalco Martínez, E. I. (2022). Construcción de cámara adiabática para determinar resistencia térmica de cubiertas arquitectónicas. In

- Revista de Aplicaciones de la Ingeniería Mes* (Vol. 1, Issue 15). [www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org).
- Freites Arévalo, A. E. y Sánchez, G. K. L. J. (2016). *Desarrollar un concreto de origen polimérico adaptado a la industria de la construcción nacional*. Universidad Católica Andrés Bello.  
<https://acortar.link/vUpVqP>
- Gaceta Oficial de la Ciudad. (2020). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería de la Ciudad de México. *Gaceta Oficial de La Ciudad de México*. <http://cgsservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/745.pdf>
- García, D., Morales, K., Peña, H., & Villagómez, E. (2021). *Polietileno Tereftalato PET*.  
<https://ingenieriaindustrialitt.org/publicacion/semana-academica/article/view/42/25>
- Garrido Roca, F. (2017). *La luz filtrada. En las sombras de las celosías*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura Universidad de Sevilla.
- González Viñas, W., & Mancini, L. H. (2016). *Ciencia de los Materiales*. Universidad de Navarra  
<https://acortar.link/PFa0xs>
- Goodship, V. (2007). *Introduction to Plastics Recycling. Second Edition*. Smithers Rapra Technology Limited. <https://acortar.link/F1Hphf>
- Gutiérrez Lorandi, L., López Rodríguez, A., Rodríguez González, Z., Ramos Morga, M. A., Ortiz Hernández, C. O., Villarreal Medina, A., Delit López, I. y Castillo Velasco, N. (2019). *Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, 2019*. <https://acortar.link/XMekJH>
- Instituto de Tecnología de la Construcción, ( ITeC ). (2022). *Why to be sustainable?*  
<https://acortar.link/8tXK6w>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C. y Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. 1 er Edición. Portland Cement Association.
- Miravete, A., Larrodé, E., Castejón, L., Clemente, R., Jiménez, M. A., Lizaranzu, M., Cuartero, J., Revuelta, D., Millán, C., Gómez, V., Calvo, J., Tolosana, N. y Peralta, J. L. (2020). *Materiales Compuestos II. Volumen 2*. Reverté S.A. <https://acortar.link/iO6Lp8>
- Naturales, S. del M. A. y R. (2017). *Residuos Sólidos Urbanos (RSU)*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | [gob.mx](http://gob.mx).  
<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>

- ONU, O. de las N. U. (2021). *Solid waste management / UNEP – UN Environment Programme*. 2021. <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/solid-waste-management>
- ONU, O. de las N. U. (2022). *Visual Feature / Beat Plastic Pollution*. <https://www.unep.org/interactives/beat-plastic-pollution/>
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (2013). *Norma Mexicana NMX-C-441-ONNCCE-2013 "Industria de la construcción – Mampostería – Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural – método de ensayo"*.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (2012). *Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012 piezas para uso estructural*.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (2013). *Norma Mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2013 'Industria de la construcción – Mampostería – Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines – método de ensayo'*.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (2010). *Norma Mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010 ensaye de muretes y pilas*.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (2013). *Norma Mexicana NMX-C-037-ONNCCE-2013 Industria de la construcción – Mampostería – Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – método de ensayo"*.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (2013). *Norma Mexicana NMX-C-038-ONNCCE-2013 Industria de la construcción – Mampostería – Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – método de ensayo"*.
- Patiño, L. (2022). Desborda la basura en Latinoamérica; muchos residuos, poco reciclaje. *Publimetro*. <https://www.publimetro.com.mx/nacional/2022/04/28/basura-desbordada-en-latinoamerica-muchos-residuos-poco-reciclaje/>
- Rodgers, L. (2018). La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías. *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>
- Santillán, M. L. (2018). Una vida de plástico. *Ciencia UNAM, DGDC*.

<http://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico>

Santillán, M. L. (2019). Nuevos concretos a partir de residuos de la construcción. *Ciencia UNAM*, DGDC. <http://ciencia.unam.mx/leer/841/nuevos-concretos-a-partir-de-residuos-de-la-construccion->

Secretaria del Medio Ambiente, S. (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Capítulo 7 Residuos.*

<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap7.html>

SEDEMA, S. del M. A. (2021). *Programa de gestión integral de residuos para la Ciudad de México PGIR 2021–2025.* Secretaria del Medio Ambiente.

[https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/PGIR/PGIR%202021-2025\\_N\\_ago21.pdf](https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/PGIR/PGIR%202021-2025_N_ago21.pdf)

SEMANART. (2020). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos.* Lucart Estudio S.A. de C.V. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>

SEMANART, & INECC, I. N. de E. y C. C. (2020). *Panorama General de las Tecnologías de el Reciclaje de Plásticos en México y el Mundo.*

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/608513/89\\_2020\\_Documento\\_Plastico.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/608513/89_2020_Documento_Plastico.pdf)

SEMANART, S. del M. A. (2017). *Informe del Medio Ambiente.*

<https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap7.html>

Smith, F. W. (2022). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.*

[http://www1.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.Inves.\(alum\)/materiales\\_ceramicos.htm](http://www1.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.Inves.(alum)/materiales_ceramicos.htm)

Souza, E. (2020). ¿Es posible reciclar el concreto?. *ArchDaily*

<https://www.archdaily.mx/mx/933910/es-posible-reciclar-el-concreto>

Spark, W. (2022). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Cuautla México.* 2022.

<https://es.weatherspark.com/y/6484/Clima-promedio-en-Cuautla-México-durante-todo-el-año>

Tecnología de los Plásticos. (2012). *Vulcanización*

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/01/vulcanizacion.html>

Tecnología de los Plásticos. (2011). PET

PET | Tecnología de los Plásticos (tecnologiadelosplasticos.blogspot.com)

*Tereftálato de Polietileno PET*. (2022). <https://sites.google.com/site/petunivalle/propiedades-del-tereftalato-de-polietileno-pet>

UN-HABITAT (2010). *Solid Waste Management in the World's Cities, water and sanitation in the world's cities 2010*. <https://acortar.link/hmm1qj>

Vidaud, Q. J. E. y Vidaud, Q. I. N. (2015). Propiedades físico-mecánicas de los concretos reciclados.

X, M. (2011). *PET | Tecnología de los Plásticos*. 2011.

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>

## 8. ANEXO 1

Tabla 1

*Temperaturas de diseño en verano*

LUGAR	B.S.		B.H.		ALTITUD Mts.	LUGAR	B.S.		B.H.		ALTITUD Mts.
	°C	°F	°C	°F			°C	°F	°C	°F	
AGUASCALIENTES	34	93	19	66	1,879	Zacapú	32	90	19	66	2,000
Aguascalientes						MORELOS					
BAJA CALIFORNIA						Cuautla	42	108	22	72	1,291
Ensenada	34	93	26	79	13	Cuernavaca	31	88	20	68	1,538
Mexicali	43	109	28	82	1	NAYARIT					
La Paz	36	97	27	81	18	Acaponeta	37	99	27	81	25
Tijuana	35	95	26	79	29	San Blas	33	91	26	79	7
CAMPECHE						Tepic	36	97	26	79	918
Campeche	36	97	26	79	25	NUEVO LEON					
Ciudad del Carmen	37	99	26	79	3	Linares	38	100	25	77	684
COAHUILA						Montemorelos	39	102	25	77	432
Matamoros	34	93	21	70	1,120	Monterrey	38	100	26	79	534
Monclova	38	100	24	75	586	OAXACA					
Nueva Rosita	41	106	25	77	430	Oaxaca	35	95	22	72	1,563
Piedras Negras	40	104	26	79	220	Salina Cruz	34	93	26	79	56
Saltillo	35	95	22	72	1,609	PUEBLA					
COLIMA						Huachinango	37	99	21	70	1,600
Colima	36	97	24	75	494	Puebla	29	84	17	63	2,150
Manzanillo	35	95	27	81	3	Tehuacán	34	93	20	68	1,676
CHIAPAS						Teziutlán	36	97	22	72	1,990
Tapachula	34	93	25	77	168	QUERETARO					
Tuxtla Gutiérrez	35	95	25	77	536	Querétaro	33	91	21	70	1,842
CHIHUAHUA						QUINTANA ROO					
Camargo	43	109	23	73	1,653	Cozumel	33	91	27	81	3
Casas Grandes	43	109	25	77	1,478	Payo Obispo	34	93	27	81	4
Chihuahua	35	95	23	73	1,423	SAN LUIS POTOSÍ					
Ciudad Juárez	37	99	24	75	1,137	Matehuala	36	97	22	72	1,597
Parral	32	90	20	68	1,652	San Luis Potosí	34	93	18	64	1,877
DISTRITO FEDERAL						SINALOA					
México Tacubaya	32	90	17	63	2,309	Culiacán	37	99	27	81	53

Nota: Se muestra la temperatura de Bulbo seco (B.S.) y Bulbo húmedo (B.H.) de algunas regiones de México, así como su altitud. Fuente: Tabla obtenida del análisis comparativo de carga térmica del Sr. Cota (2004) <https://acortar.link/BY3wFf>

Tabla 2

Valores de  $h_o$  y  $h_i$ 

Position of Surface	Direction of Gear flow	Surface Emittance					
		Non-Reflective e=0.90		Reflective			
		hi	R	e=0.20		e=0.05	
		hi	R	hi	R	hi	R
STILL AIR							
Horizontal	Upward	1.63	0.61	0.91	1.10	0.76	1.32
Sloping -45	Upward	1.60	0.62	0.88	1.14	0.73	1.37
Vertical	Horizontal	1.46	0.68	0.74	1.35	0.59	1.70
Sloping -45	Downward	1 - 32	0.76	0.60	1.67	0.45	2.22
Horizontal	Downward	1.08	0.92	0.37	2.7	0.22	4.55
MOVING AIR (Any position)							
15 mph Wind	Any	6.0	0.17	-	-	-	-
(for winter)							
7.5 mph Wind	Any	4.0	0.25	-	-	-	-
(for summer)							

Nota: Se muestra la emitancia de la superficie a calcular, en este caso se toman para muros no reflectivos durante el verano. Fuente: Tabla obtenida del análisis comparativo de carga térmica del Sr. Cota (2004) <https://acortar.link/BY3wFf>

Tabla 3

Valores de diferencial de temperatura equivalente (DTE) para muros

Construcción de la pared*	Hora estándar	NE		E		SE		S		SO		O		NO		N (con sombra)	
		osc.	claro	osc.	claro												
CONSTRUCCIÓN LIVIANA	9 A.M.	28	17	35	20	29	17	16	10	18	12	18	12	15	10	14	9
	Mediodía	27	17	38	22	38	23	27	17	24	15	24	15	20	14	17	12
	3 p.m.	24	17	29	20	31	21	32	21	37	24	34	22	26	18	20	15
	6 p.m.	23	17	26	19	26	18	26	18	41	25	47	30	37	24	21	16
CONSTRUCCION MEDIO-LIVIANA	9 A.M.	12	8	14	9	11	7	6	4	8	5	9	6	7	5	7	5
	Mediodía	25	14	34	18	27	15	11	7	9	7	9	6	9	4	10	6
	3 p.m.	29	18	35	23	39	22	26	16	21	16	18	12	15	11	16	11
	6 p.m.	30	20	37	24	39	25	36	24	41	24	38	25	29	20	22	17
CONSTRUCCION MEDIO-PESADA	9 A.M.	14	11	17	13	16	12	14	11	18	12	20	16	17	11	12	10
	Mediodía	17	11	21	14	19	12	13	9	15	10	16	11	14	10	11	8
	3 p.m.	21	14	28	19	25	15	16	11	14	11	17	11	14	10	12	9
	6 p.m.	25	16	32	19	30	18	23	15	23	15	22	15	18	12	15	11
CONSTRUCCION PESADA	9 A.M.	20	14	26	16	23	15	20	14	24	16	26	17	21	15	15	11
	Mediodía	19	13	24	15	22	14	19	13	24	15	24	16	20	14	14	11
	3 p.m.	20	13	24	16	22	15	18	13	22	14	23	15	19	13	14	10
	6 p.m.	20	14	26	16	25	16	19	13	22	14	23	15	18	13	14	11

Nota: Se muestra las temperaturas para muros de acuerdo a su orientación y hora del día. Fuente: Tabla obtenida del análisis comparativo de carga térmica del Sr. Cota (2004) <https://acortar.link/BY3wFf>

Tabla 4

Valores de diferencial de temperatura equivalente (DTE) para techos

CONSTRUCCIÓN DEL TECHO 2	HORA ESTANDAR							
	a.m				p.m.			
	9		12		3		6	
	osc.	claro	osc.	claro	osc.	claro	osc.	claro
CONSTRUCCIÓN LIVIANA								
Cubierta de acero con aislamiento de 1 a 2"	34	14	81	42	90	50	56	34
Estructura de madera de 1" con aislamiento de 1 a 2 "	19	6	65	32	88	48	70	40
Estructura de madera de 2.5" con aislamiento de 1 a 2 "	7	-1	38	17	68	35	73	40
CONSTRUCCION MEDIANA								
Estructura de madera de 4" con aislamiento de 1 a 2"	8	1	21	8	44	19	60	32
Concreto liviano de 4" (sin aislamiento)	8	1	40	17	70	36	75	41
Concreto pesado de 2" con 1 a 2 " de aislamiento	32	62	19	41	6	16	-1	4
CONSTRUCCION PESADA								
Concreto pesado de 4" con aislamiento de 1 a 2"	11	3	21	8	39	19	53	28
Concreto pesado de 6" con aislamiento de 1 a 2"	18	9	21	9	33	15	44	22
TECHOS BAJO LA SOMBRA								
Livianos	3		11		18		17	
Medianos	2		7		15		17	
Pesados	3		5		11		15	

1 Los valores de esta tabla están basados en una diferencia de temperatura de 20° F entre el interior y exterior.  
 Cuando la diferencia sea mayor (o menor) de 20 grados, sume el exceso (o reste la diferencia) a los valores de la tabla.

2 Incluye escoria de 1/2" , una membrana y una felpa, una encima de 3/8

Nota: Se muestra las temperaturas para techos de acuerdo a su espesor y tipo de aislamiento, además de hora del día. Fuente: Tabla obtenida del análisis comparativo de carga térmica del Sr. Cota (2004) <https://acortar.link/BY3wFf>

**Tabla 5**

*Ganancias de calor solar a través de cristales*

30° Latitud Norte		BTU por hora por pie cuadrado												30° Latitud Sur		
Tiempo solar →		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	← Tiempo solar	
Tiempo local →		A.M.												P.M.	← Tiempo local	
Epoca del año	Fachada del edificio														Fachada del edificio	Epoca del año
Jun. 21	Norte	33	29	18	14	14	14	14	14	14	14	18	29	33	Sur	Dic. 22
	Noreste	105	139	130	97	55	19	14	14	14	14	12	10	5	Sureste	
	Este	108	156	161	143	98	44	14	14	14	14	12	10	5	Este	
	Sureste	42	75	90	90	73	44	17	14	14	14	12	10	5	Noreste	
	Sur	5	10	12	14	15	19	21	19	15	14	12	10	5	Norte	
	Suroeste	5	10	12	14	14	14	17	44	73	90	90	75	42	Noroeste	
	Oeste	5	10	12	14	14	14	14	44	98	143	161	156	108	Oeste	
	Noroeste	5	10	12	14	14	14	14	19	55	97	130	139	105	Suroeste	
	Tragaluz plano	19	61	131	180	217	240	250	240	217	180	131	61	19	Tragaluz plano	
Jul. 23 & May. 21	Norte	22	20	14	13	14	14	14	14	13	14	20	22	Sur	Ene 21 & Nov. 21	
	Noreste	93	131	123	89	46	16	14	14	14	13	12	9	4		Sureste
	Este	100	155	164	145	99	44	14	14	14	13	12	9	4		Este
	Sureste	42	82	100	100	83	53	22	14	14	13	12	9	4		Noreste
	Sur	4	9	12	14	20	27	30	27	20	14	12	9	4		Norte
	Suroeste	4	9	12	13	14	14	14	53	83	100	100	83	42		Noroeste
	Oeste	4	9	12	13	14	14	14	44	99	145	164	155	100		Oeste
	Noroeste	4	9	12	13	14	14	14	16	46	89	123	131	93		Suroeste
	Tragaluz plano	15	63	123	176	214	236	246	236	214	176	123	66	15		Tragaluz plano
AGO 24 & ABR 20	Norte	6	8	11	13	13	14	14	14	13	13	11	8	6	Sur	Ene 21 & Nov. 21
	Noreste	55	108	100	66	27	14	14	14	13	13	11	8	2	Sureste	
	Este	66	147	165	148	102	46	14	14	13	13	11	8	2	Este	
	Sureste	37	98	127	123	112	82	39	15	13	13	11	8	2	Noreste	
	Sur	2	8	13	27	47	58	63	58	47	27	13	8	2	Norte	
	Suroeste	2	8	11	13	13	15	39	82	112	129	127	98	37	Noroeste	
	Oeste	2	8	11	13	13	14	14	46	102	148	165	147	66	Oeste	
	Noroeste	2	8	11	13	13	14	14	14	27	66	100	108	55	Suroeste	
	Tragaluz plano	6	47	107	161	200	225	235	225	200	161	107	47	6	Tragaluz plano	

Nota: Se muestran las ganancias de calor a través de cristales, de acuerdo a la orientación y ubicación de la ventana. Fuente: Tabla obtenida del análisis comparativo de carga térmica del Sr. Cota (2004) <https://acortar.link/BY3wFf>

Tabla 6

*Factores de corrección para distintos tipos de dispositivos protectores contra la luz solar*

Clases de vidrio	Factor para cristal sin sombra f1	Persianas abiertas a 45° (interior) f2			Persianas abiertas a 45° (exterior) f2	
		Color claro	Color medio	Color oscuro	Color claro	Claro afuera-adentro
Vidrio común	1.0	0.56	0.65	0.75	0.15	0.13
Placa regular de vidrio (1/4 de pulgada)	0.94	0.56	0.65	0.74	0.14	0.12
Vidrio que absorbe calor:						
40% a 48% de absorción	0.8	0.56	0.62	0.72	0.16	0.11
48% a 56% de absorción	0.78	0.53	0.59	0.63	0.11	0.10
56% a 70% de absorción	0.62	0.51	0.54	0.56	0.10	0.10
Vidrio doble:						
Vidrio común	0.90	0.51	0.61	0.67	0.14	0.12
Placa regular de vidrio	0.80	0.53	0.59	0.65	0.12	0.11
Vidrio común adentro, 48% a 56% absorción exterior	0.52	0.36	0.39	0.43	0.10	0.10
Vidrio triple:						
Vidrio común	0.83	0.48	0.56	0.64	0.12	0.11
Placa regular de vidrio	0.69	0.47	0.52	0.57	0.10	0.10
Vidrio pintado:						
Color claro	0.28					
Color medio	0.39					
Color oscuro	0.50					
Vidrio polarizado:						
Color ambar	0.70					
Rojo oscuro	0.56					
Azul oscuro	0.60					
Verde oscuro	0.32					
Verde grisáceo	0.46					
Opalescente claro	0.43					
Opalescente oscuro	0.37					

Nota: Se muestra el factor correctivo de acuerdo al vidrio empleado en el espacio arquitectónico. Fuente: Tabla obtenida del análisis comparativo de carga térmica del Sr. Cota (2004) <https://acortar.link/BY3wFf>

Tabla 7

*Infiltración en verano*

Aplicaciones	Infiltración por personas en un cuarto (CFM)	
	Puerta giratoria (72 plg)	Puerta Oscilatoria (36plg)
Banco	7.5	10
Peluquería	3.5	4.5
Oficina del cajero	5.0	6.5
Fuente de sodas	5.0	30
Tabaquería	15.0	10
Tienda de ropa (chica)	5.0	30
Tienda de vestidos	10.0	75
Farmacia	2.0	15
Papelería	10.0	30
Comedor		
Tienda de ropa para hombre	5.0	30
	3.5	45
Despacho	2.5	60
Restaurante	2.0	75
Zapatería	3.5	45

Nota: Se muestra el parámetro de infiltración por tipo de puerta que hay en el espacio. Fuente: Tabla obtenida del análisis comparativo de carga térmica del Sr. Cota (2004) <https://acortar.link/BY3wFf>

**Tabla 8**

*CFM por persona*

Aplicación	Humo de cigarro	ft2 /min. por persona		ft2 /min. mínimos de aire por ft2 de techo
		recomendado	mínimo	
Departamentos normales de lujo	Poco	20	15	-
	Poco	30	25	0.33
Bancos	Ocasional	10	7.5	-
Peluquerías	Considerable	15	10	-
Salones de belleza	Ocasional	10	7.5	-
Bares	Mucho	30	25	-
Corredores	-	-	-	0.25
Sala de Juntas	Excesivo	50	30	-
Departamentos de tiendas	Nada	7.5	5	0.05
Garajes	-	-	-	1.0
Fábricas	Nada	10	7.5	0.10
Funerarias (salones)	Nada	10	7.5	-
Cafeterías	Considerable	10	7.5	-
Hospitales	Quirófanos	Nada	-	2.0
	Cuartos Privados	Nada	30	25
	Salas de espera	Nada	20	15
Habitaciones de hotel	Mucho	30	25	0.33
Cocinas	Restaurantes	-	-	4.0
	Residencias	-	-	2.0
Laboratorios	Poco	20	15	-
Salones de reunión	Mucho	50	30	1.25
Oficinas	Generales	Poco	15	10
	Privadas	Nada	25	15
	Privadas	Considerable	30	25
Restaurante	Cafetería	Considerable	12	10
	Comedor	Considerable	15	12
Salones de clase	-	-	-	-
Teatros	Nada	7.5	5	-
Teatros	Poco	15	10	-
Tocadores	-	-	-	2.0

Nota: Se muestra el parámetro CFM. Fuente: Tabla obtenida del análisis comparativo de carga térmica del Sr. Cota (2004) <https://acortar.link/BY3wFf>

**Tabla 9**

*Calor producido por las personas*

Grado de Actividad	Aplicación típica	Temperaturas del cuarto (°F, B5)									
		82°F		80°F		78°F		75°F		70°F	
		Sens.	Lat.	Sens.	Lat.	Sens.	Lat.	Sens.	Lat.	Sens.	Lat.
Sentado	Teatro	175	175	195	155	210	140	230	120	260	90
Sentado, trabajo ligero	Escuela	180	220	195	205	215	185	240	160	275	125
Trabajo de oficina	Oficinas, hoteles, departamentos	200	270	200	250	215	235	245	205	285	165
Actividad moderada											
Parados caminando despacio	Tienda de ropa, almacén	200	270	200	250	215	280	245	205	285	165
Caminando, sentado, de pie	Banco	180	320	200	300	220	280	255	245	290	210
	Cafetería										
Trabajo sedentario	Restaurantes	190	360	220	330	240	310	280	270	320	230
Trabajo ligero	Fábrica (ligero)	190	560	220	530	245	505	295	455	365	285
Baile moderado	Salas de baile	220	630	245	605	275	575	325	525	400	450
Caminando 3mph	Fábricas (pesado)	270	730	300	700	330	670	380	620	460	540
Jugando	Boliche	450	1000	465	985	485	965	525	925	605	845

Nota: Se muestra el calor producido por persona. Fuente: Tabla obtenida del análisis comparativo de carga térmica del Sr. Cota (2004) <https://acortar.link/BY3wFf>