

O A X A C A

Universidad Tecnológica de la Mixteca
Instituto de Diseño

“Evaluación de las Mezclas cemento-vidrio, yeso-vidrio, cemento-ABS y yeso-ABS para el diseño de un elemento modular como aislante pasivo para edificaciones.”

Tesis
para obtener el título de:
Ingeniero en Diseño

Presenta
Hernández Pérez Neri Geovanni

Director de tesis
Dra. Patricia Magaly Gallegos Acevedo

H. Cd. de Huajuapan de León, Oax. Septiembre 2025

Dedicatoria

Primeramente, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza y la sabiduría necesarias para superar cada obstáculo. Su gracia y sus bendiciones han sido constantes en mi vida y han iluminado mi camino en los momentos más oscuros.

A mi madre, cuyo amor y sacrificio han sido el pilar fundamental de mi vida, desde mi infancia me ha mostrado con su ejemplo el significado de la resiliencia, la valentía y el amor incondicional. Cada uno de mis logros es un reflejo de su inquebrantable apoyo y dedicación. Gracias por enseñarme a enfrentar los desafíos con coraje y determinación.

A mis hermanos, amigos y mentores por ser mi refugio y mi fuente de inspiración. Sus palabras de aliento y su compañía han sido vitales en mi desarrollo personal y académico. Agradezco cada risa compartida y cada momento de apoyo mutuo que hemos vivido juntos.

Agradecimiento

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi mamá, Iraís Socorro Hernández Pérez, por su incansable esfuerzo y sabiduría. Cada día ha sido un ejemplo de superación personal y apoyo incondicional hacia sus hijos. Su sacrificio y amor han sido la base que me ha enseñado el verdadero significado de la resiliencia, la valentía y el amor incondicional desde mi infancia.

Agradezco a la Dra. Patricia Magaly Gallegos Acevedo por su invaluable apoyo, esfuerzo y perseverancia, que fueron fundamentales para culminar mi tesis. Su paciencia y dedicación han sido pilares importantes en este proceso.

Expreso mi gratitud al M.A.C. Itzcóatl Bolaños Gómez por sus asesorías y observaciones, las cuales han sido cruciales para realizar mejoras significativas en mi trabajo académico.

Reconozco al Ingeniero Jesús Márquez Martínez por su constante apoyo y sustento. Su generosidad al recibirmel como parte de su familia, junto con sus consejos y sabiduría, me han brindado un impulso constante en mi vida diaria.

Finalmente, extiendo mi agradecimiento a mis hermanos, amigos y mentores. Ellos han sido mi refugio y fuente de inspiración. Sus palabras de aliento, su compañía y los momentos compartidos han sido esenciales en mi crecimiento personal y académico. Cada risa, consejo y gesto de apoyo mutuo quedará siempre en mi memoria.

Resumen

Este trabajo evalúa el uso de mezclas de cemento y de yeso con partículas de vidrio y ABS reciclado para diseñar un elemento modular aislante térmico pasivo en edificaciones. Se adaptó la norma ASTM-C177-19 para obtener la conductividad térmica de las mezclas.

Los resultados muestran que las mezclas con vidrio presentan mejor trabajabilidad y acabado que aquellas con ABS. La adición de un 20 % de vidrio en mezclas de cemento no modifica sustancialmente la conductividad térmica a comparación de los elementos que se realizaron sin vidrio siendo la conductividad térmica de entre 0.15 y 0.1 W/mK. Así mismo, las mezclas realizadas con yeso mantienen valores similares a las del material sin adición (≈ 0.178 W/m*K). Además, el uso de vidrio disminuye costos y favorece la sostenibilidad al reutilizar materiales de desecho.

Las superficies resultantes permiten la aplicación de pintura vinílica y ofrecen versatilidad estética. Se recomienda investigar la aplicación de estas mezclas en revocos convencionales y realizar pruebas mecánicas para optimizar su caracterización.

Índice

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VII
ÍNDICE	IX
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO 1 ASPECTOS PRELIMINARES.....	17
1.1 ESTADO DEL ARTE	19
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
1.3 JUSTIFICACIÓN	26
1.4 OBJETIVOS Y METAS	28
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	29
1.6 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	30
CAPÍTULO 2 MARCO DE REFERENCIA.....	33
2.1 MARCO TEÓRICO	37
2.2 MARCO LEGAL	47
2.3 MARCO SOCIAL	49
CAPÍTULO 3 DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	53
3.1 FASE I: SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES.....	55
3.2 FASE II: ADECUACIÓN DE LA NORMA ASTM C177-19.....	70
3.3 FASE III: EVALUACIÓN DE LAS MEZCLAS.	71
3.4 CONCLUSIONES DE LA ETAPA DE EXPERIMENTACIÓN	77

CAPÍTULO 4 ELEMENTO MODULAR.....	79
4.1 IDEACIÓN	81
4.1 CONCEPTUALIZACIÓN DEL DISEÑO	83
4.2 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	84
4.3 MOLDES.....	91
4.4 IMPRESIÓN 3D.....	97
4.5 ELABORACIÓN DE LAS PIEZAS.....	99
4.6 PROPUESTA DE APLICACIÓN	100
CONCLUSIONES	105
REFERENCIAS	107

Índice de Figuras

Figura 1.1 Muestras de block con recubrimiento aplicado.	20
Figura 1.2 Probetas compuestas de bajereque.....	22
Figura 2.1 Representación gráfica del concepto de conductividad.	39
Figura 2.2 Conductividad térmica de algunos materiales.	40
Figura 2.3 Elementos fabricados con el polímero ABS.	42
Figura 2.4 Mineral de yeso: a)Cristalino, b)fibroso y c)Compacto.....	43
Figura 2.5 Desecho de vidrio para trituración y triturado.....	46
Figura 2.6 Esquema transversal de un APCG.	48
Figura 3.1 RAEE que contiene ABS.....	56
Figura 3.2 Triturador de polímeros rígidos del Laboratorio Minero-Metalúrgico.....	57
Figura 3.3 Partículas de ABS obtenidas de la trituración.	58
Figura 3.4 Tamizadora Ro-Tap.....	59
Figura 3.5 Malla número 60.....	59
Figura 3.6 Botellas de vidrio recolectadas y preparadas para el proceso de limpieza.....	60
Figura 3.7 Trituradora de vidrio.	61
Figura 3.8 Partículas de vidrio obtenidas de la trituración.	61
Figura 3.9 Materiales comerciales; yeso y cemento, respectivamente.	62
Figura 3.10 Diagrama de medidas para probetas.	65
Figura 3.11 Molde de metal empleado para la fabricación de las probetas.	66
Figura 3.12 Preparación de materiales para la mezcla.	67
Figura 3.13 Contenedor con yeso y vidrio.....	67
Figura 3.14 Molde de metal con mezcla.....	68
Figura 3.15 Molde para elaboración de probetas, donde las probetas son sacadas del recipiente.....	68
Figura 3.16 Cubeta con agua y probetas de cemento.....	69
Figura 3.17 Diagrama de implementación de la norma ASTM C-177.	70

Figura 3.18 Sistema para determinar la conductividad de las probetas.	71
Figura 3.19 Gráficas de resultado de conductividad térmica en las mezclas implementadas.....	74
Figura 3.20 Fotografía macroscópica de las mezclas con y sin relleno de material.	75
Figura 3.21 Fotografía microscópica a 40x, a 1mm de escala.....	76
Figura 3.22 Fotografía macroscópica con acabado de pintura blanca.	77
Figura 4.1 Bocetos de los elementos modulares.	82
Figura 4.2 Cinco propuestas de diseño para el elemento modular pasivo.	85
Figura 4.3 Resultados de la encuesta en redes sociales sobre la preferencia de los 5 diseños propuestos en este trabajo de tesis.	86
Figura 4.4 imágenes del archivo generado en software Ultimaker CURA.	98
Figura 4.5 Impresión 3D del molde superior.	98
Figura 4.6 Moldes impresos terminados, recubiertos de cinta de propileno y listos para el vaciado.	99
Figura 4.7 Piezas terminadas con un recubrimiento de pintura vinílica.	100
Figura 4.8 Render de una sala de estar decorada con los elementos generados en esta tesis.	101
Figura 4.9 Transición entre dos espacios de la casa decorado con elemento modular pasivo de formas geométricas.	102
Figura 4.10 Render del exterior de una casa habitación expuesta a la luz solar.....	103

Índice de tablas

Tabla 3.1 Materiales para los experimentos con yeso y ABS.	64
Tabla 3.2 Cálculo de materiales para los experimentos yeso-vidrio.	64
Tabla 3.3 Materiales para la elaboración de las probetas cemento-ABS.	64
Tabla 3.4 Materiales para los experimentos cemento-vidrio.	65
Tabla 3.5 Datos empleados para el cálculo de la conductividad térmica de las probetas analizadas.	72
Tabla 3.6 Concentrado de datos obtenidos del programa NULL-600® y los resultados del cálculo de la conductividad térmica de las probetas.	72
Tabla 4.1 Costo de los materiales que se requieren para elaborar 1 m ² de elementos modulares de 20 cm x 20 cm y de 2 cm de espesor empleando cemento-20% vidrio y yeso-10% de vidrio.	83

Introducción

El incremento de gases sobre la capa atmosférica genera cambios de temperatura sobre la superficie de la tierra. Este cambio afecta la comodidad y confort de los habitantes de la Heroica Ciudad de Huajuapan de León, Oaxaca México. Quienes realizan actividades al interior de las edificaciones. En la industria de la construcción, la integración de aparatos eléctricos y electrónicos es fundamental para mejorar el confort térmico en los edificios. Por ejemplo, sistemas de climatización automatizados, sensores de temperatura y humedad, así como termostatos inteligentes, permiten regular y mantener condiciones óptimas en el interior de las edificaciones. Asimismo, la implementación de tecnologías como la domótica, facilita el control eficiente del consumo energético y la adaptación a las condiciones ambientales cambiantes.

En lo que respecta a los métodos constructivos, se destacan técnicas como el uso de aislamiento térmico avanzado con paneles de poliestireno expandido o lana mineral; además, la construcción con muros dobles contribuye a mejorar la barrera térmica. De igual manera, la incorporación de fachadas ventiladas permite una mejor circulación del aire y reducción del calor acumulado. En consecuencia, estas innovaciones contribuyen a satisfacer las demandas crecientes de los habitantes en cuanto a confort y eficiencia energética.

Con la finalidad de proporcionar una solución a la problemática planteada, en este proyecto de investigación se plantea la posibilidad de utilizar un elemento modular elaborado a partir de elementos convencionales, tales como el cemento y el yeso y elementos no convencionales como relleno, tal es el caso de vidrio y ABS (por sus siglas

en inglés acrilonitrilo, butadieno y estireno), el cual es utilizado la industria de manufactura.

Para el desarrollo de este proyecto, se empleó en la fase de investigación la metodología planteada por Hernández Sampieri, & Mendoza Torres, (2018) y para el diseño del elemento modular la metodología propuesta por Munari, (2016). De igual manera se empleó una adaptación de la norma ASTM-C177-19 (método de prueba estándar para mediciones de flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica mediante el aparato de placa caliente) para medir el tiempo que tarda material en transferir la energía térmica aplicada (ASTM, 2023).

CAPÍTULO 1 ASPECTOS PRELIMINARES

1.1 Estado del arte

El impacto del calor en las edificaciones es un problema creciente en todo el mundo debido al cambio climático y al aumento de las temperaturas. El calor puede tener varios efectos negativos en las edificaciones y se han implementado diversas soluciones naturales y estrategias de diseño sostenible en la construcción de edificaciones.

El diseño pasivo de edificaciones implica aprovechar al máximo las condiciones naturales, como la orientación solar, la ventilación cruzada y el uso de materiales de construcción que impidan el paso del calor. Esto puede reducir la necesidad de sistemas de refrigeración artificiales. Los techos verdes, consisten en plantar vegetación en la parte superior de los edificios para reducir la absorción de calor. También contribuyen a mejorar la calidad del aire y a reducir la escorrentía del agua de lluvia.

Las paredes verdes consisten en la plantación de vegetación en las fachadas de los edificios. Estas pueden proporcionar sombra y enfriar el aire circundante. La instalación de elementos como pérgolas, toldos y árboles alrededor de las edificaciones puede proporcionar sombra y reducir la radiación solar directa, lo que ayuda a mantener una temperatura más fresca en el interior. La elección de materiales de construcción que reflejan la radiación solar puede ayudar a reducir la ganancia de calor en las edificaciones.

La incorporación de sistemas de ventilación natural, como ventanas operables estratégicamente ubicadas, puede mejorar la circulación de aire fresco y reducir la necesidad de sistemas de aire acondicionado. Utilizar aislamiento térmico de alta calidad en las edificaciones ayuda a mantener temperaturas más estables y a reducir la pérdida de calor en invierno y la ganancia de calor en verano.

Bermejo Urzúa, (2021) presenta una investigación basada en la problemática de viviendas del estado de Aguascalientes, que genera inconformidad en los usuarios debido a la poca resistencia térmica de los materiales. Para esto se integra una variedad de experimentos que consiste en utilizar piezas compatibles con el concreto, considerando a su vez las dimensiones comerciales de 40 cm x 40 cm con grosor de 10, 12 y 15 cm.

Estos bloques de concreto están compuestos por poliestireno expandido y extruido agregados a la mezcla comercial, además de presentar un acabado de 2 cm de espesor de repellado. Como resultado se obtuvo una transferencia térmica mínima en los muros donde se realizaron las pruebas. Finalmente se obtuvo el block mostrado en la Figura 1.1 y concluyeron que los muros de 10, 12, 15, 20 cm mejoran el espacio interior llegando a aislar la temperatura de 2 hasta 3°C.

Figura 1.1 Muestras de block con recubrimiento aplicado.



Nota: Probeta con *guadua angustifolia kunth*/cemento y con tierra/paja y otate Fuente: (Bermejo Urzúa, 2021).

Elizondo et.al. (2000) presentan la evaluación y mejoramiento de propiedades del compuesto orgánico conocido como bajareque, el cual es utilizado en la región de Colima para la elaboración de muros en espacios habitacionales. Este compuesto está constituido por cal, arena, olate, tierra y paja que son elementos utilizados en el área de la construcción. Este compuesto hace el uso del *angustifolia kunth* y *otate acuminata ssp aztecorum* que son dos especies de bambú cosechados en la región y que son utilizados para desarrollar el sistema constructivo antes mencionado. El análisis térmico de esta investigación se realizó comparando mediciones en el bajareque tradicional con las mezclas donde incluyen al bambú. Elaboraron probetas de 25 cm x 25 cm x 11 cm en donde colocaron una capa de mortero (cemento-arena) seguido de una pieza de bambú embebida por bajareque (tierra, paja y cal) y cubierto nuevamente de mortero, como se muestra en la Figura 1.2.

Las pruebas se realizaron con los dos tipos de bambúes y determinaron que el bajareque tradicional con *guadua angustifolia kunth* tiene mejor comportamiento a diferencia del que está compuesto con *Otate acuminata ssp aztecorum*. Los autores concluyen que el material tradicional se puede adaptar a los materiales actuales y combinado con una ventilación natural en la construcción pueda generar mayor confort térmico en viviendas con clima subhúmedo.

Figura 1.2 Probetas compuestas de bajereque.

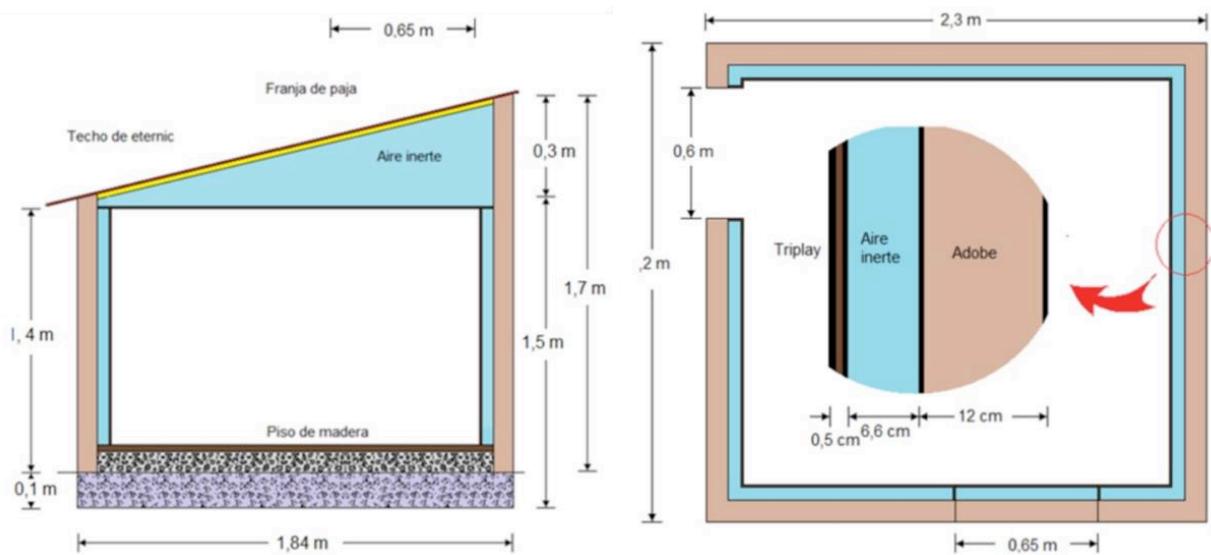


Nota: Probeta con *guadua angustifolia kunth*/cemento y con tierra/paja y olate Fuente: (Elizondo et al., 2000).

Por otra parte, en la zona altoandina del Perú, se realizó una evaluación del confort térmico de una zona habitacional de prueba (HP) (Holguino Huarza, Olivera Marocho, & Escobar Copa, 2018). La HP se elaboró con materiales tales como el adobe, yeso, aire, vidrio, madera y Eternic y se compararon con una edificación realizada con piedra, guano y madera. Se realizaron probetas de 12 cm x 12 cm x 1.8 cm y se utilizó una técnica basada en el instrumento TCA (Thermal Conductivity Apparatus) para determinar el calor específico del HP. Es importante mencionar que, dadas las condiciones de la región anteriormente mencionada, los investigadores buscaban la forma de que los materiales de construcción sirvieran como acumuladores de energía: absorbiendo el calor durante el día y liberándolo por la noche para disminuir el uso de calefactores.

En la Figura 1.3 se presentan los planos de la estructura evaluada. La conclusión más importante de este estudio es que la construcción sostenible de una casa se puede lograr utilizando recursos naturales como el barro, madera y yeso, para conservar la energía y lograr el confort térmico al interior de la habitación.

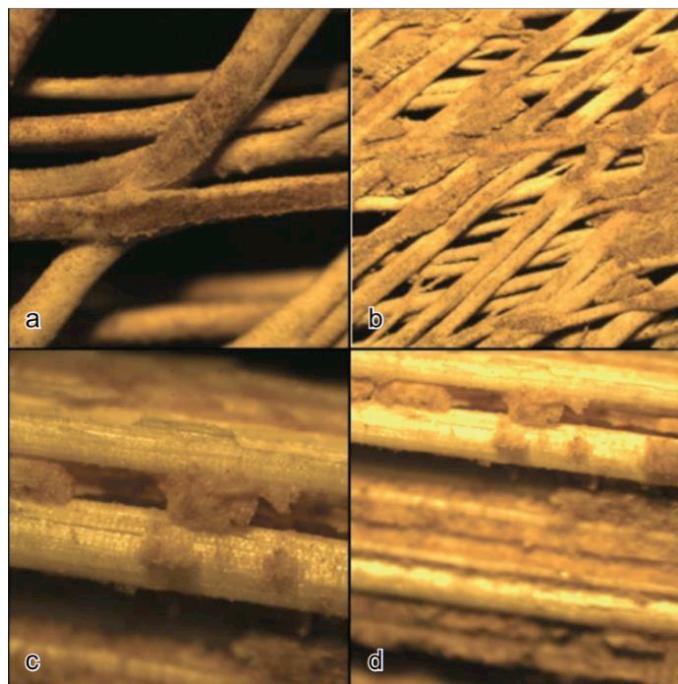
Figura 1.3 Estructura de HP elaborada en Perú.



Nota: Diseño de la HP; a) Dimensiones de cimentación y pared. b) Corte de perfil. Fuente: (Holguino Huarza et al., 2018.)

Gallala et al. (2020) analizaron el comportamiento de las fibras naturales empleadas de manera creciente en materiales de construcción, creando un material bio-compuesto formado por fibras naturales y yeso. Las fibras que se emplearon en este trabajo son fibras de desecho de palmas de dátiles del oasis de Gabes y Túnez. Los investigadores realizaron diferentes tipos de aglomerados, experimentando con el tamaño de las fibras para encontrar la mejor combinación entre resistencia y costo. Las fibras empleadas tuvieron un tratamiento químico con hipoclorito de sodio y resina para que tuvieran mejor adhesión al yeso. En la Figura 1.4 se presenta las fibras antes y después del tratamiento mencionado. Los autores concluyen que este tipo de material puede ser empleado en la construcción como un material aislante térmico.

Figura 1.4 Figura de palmera con vista microscópica.



Nota: a y b fibras de palmas. c y d reacción después del proceso. Fuente: (Gallala et al., 2020).

La investigación del estado del arte se llevó a cabo con el propósito de profundizar en el conocimiento existente sobre materiales aislantes y su aplicación en la creación de ambientes interiores con condiciones climáticas óptimas. Este análisis exhaustivo permite comprender las tendencias actuales, identificar avances tecnológicos y evaluar las soluciones más efectivas que se han desarrollado hasta la fecha.

Los trabajos mencionados en este estudio no representan la totalidad de las investigaciones realizadas en este campo, pero sí constituyen los ejemplos más representativos y novedosos. Al enfocarse en estas contribuciones destacadas, se facilita una mejor comprensión del panorama general y se establecen bases sólidas para el desarrollo de nuevas propuestas que respondan a las necesidades del usuario en cuanto a confort térmico y eficiencia energética.

En definitiva, el estado del arte no solo enriquece el marco teórico, sino que también orienta la investigación práctica, permitiendo diseñar y aplicar materiales aislantes que optimicen las condiciones climáticas interiores de manera innovadora y sustentable.

1.2 Planteamiento del problema

Hughes, (2000) demuestra que el incremento de los gases de efecto invernadero (GEI), afecta la variación climática mundial, esto mediante un monitoreo realizado en el último siglo. Los resultados muestran un incremento de temperatura media anual del hemisferio norte a partir de 1990; año en el que se vuelve un factor principal en el cambio climático debido a la pérdida de superficie terrestre cubierta por nieve o hielo y la reducción volumétrica de ríos y lagos que permanecen congelados. Los principales GEI en la atmósfera terrestre son: el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el ozono (O_3). Estos gases, en proporción adecuada, reducen el impacto de los rayos solares, y permite la vida sobre la superficie terrestre.

El calentamiento global y el cambio climático ha intensificado las temperaturas en muchas regiones, exacerbando la necesidad de edificaciones eficientes en términos energéticos y térmicos. Las edificaciones ineficientes, en términos de calor, no están diseñadas para optimizar el confort térmico y reducir el consumo energético. Esto puede incluir la falta de aislamiento adecuado, ventanas ineficientes, materiales de construcción que absorben y retienen el calor, así como un diseño arquitectónico inadecuado que permite la acumulación de calor. Estos problemas resultan incomodo para los usuarios, lo que requiere un mayor uso de sistemas de aire acondicionado y ventilación.

El uso excesivo de estos sistemas aumenta el consumo de energía y eleva el costo de las facturas, además de contribuir al calentamiento global al liberar gases de efecto invernadero. Esta insatisfacción de los usuarios se manifiesta a través del malestar y la incomodidad experimentados en espacios interiores mal climatizados. En el siglo XXI, la conciencia sobre la importancia de la eficiencia energética y el diseño sostenible ha crecido, aumentando la demanda de edificaciones que minimicen la ineficiencia térmica y brinden un entorno habitable y sostenible.

La Heroica Ciudad de Huajuapan de León está ubicada en la zona Mixteca del estado de Oaxaca. En esta región la variación de temperatura va desde los 30°C y hasta los 0°C; siendo el mes más cálido mayo. Claramente se ha experimentado un incremento en las temperaturas registradas en esta localidad, teniendo registros de 32° C y 3. 8° C como máxima y mínima, respectivamente para el año 2021; para el año 2022 incrementó a 34. 4° C y 4. 2° C. El año pasado estos valores cambiaron nuevamente teniendo 36. 2° C como temperatura máxima y -0.6°C como mínima (Meteostat, 2024).

En este trabajo de tesis se plantea la posibilidad de elaborar un elemento modular con diferentes materiales para mitigar el calor dentro de las edificaciones. A continuación, se hace una breve descripción de los materiales que se emplearon en este trabajo.

1.3 Justificación

El aumento de temperaturas y el cambio climático han tenido un impacto significativo en las edificaciones, tanto en su diseño como en su funcionamiento. Debido a esto se han implementado una variedad de soluciones naturales para disminuir el calor en el interior de las construcciones. Dichas soluciones naturales aprovechan recursos y procesos

naturales para mejorar la eficiencia energética y la resiliencia de las edificaciones; dentro de las que se encuentran los diseños bioclimáticos, los cuales se diseña teniendo en cuenta las condiciones climáticas locales, aprovechando la orientación solar, la ventilación natural y la sombra adecuada para reducir la demanda de energía para la climatización. Además del uso de techos y fachadas verdes, de materiales naturales y sostenibles y de sistemas de enfriamiento pasivos. Estas soluciones naturales no solo ayudan a mitigar el impacto del calor en las edificaciones, sino que también contribuyen a la sostenibilidad ambiental y al bienestar de las comunidades al promover un uso más eficiente de los recursos y reducir la huella ecológica.

Huajuapan de León genera residuos como los RAEE (residuos de aparatos eléctricos/electrónicos), que en su mayoría terminan en el centro integral de tratamiento de residuos sólidos en la ciudad. Estos materiales pueden no ser tratados adecuadamente, debido a la poca información y capacitación que se le brinda al personal y a la población en general para procesar estos desechos y en ocasiones pueden ser un foco de generación de fauna nociva, la cual puede dañar la salud de los habitantes.

El incremento del desarrollo tecnológico genera equipos elaborados a base de polímeros y materiales desechables. El Instituto de Minería en la UTM, busca alternativas para que estos residuos puedan ser procesados, almacenados y aprovechados para el desarrollo de nuevas investigaciones que impulsen el conocimiento científico y mejoren el aprovechamiento de estos materiales, dando así una nueva utilidad a los RAEE como son: metales, cerámicos, polímeros y compuestos (Gallegos Acevedo & Espinoza Cuadra, 2019).

Con la finalidad de darle una nueva función a estos materiales almacenados en el Instituto, se propone en este proyecto implementar el proceso de reciclaje y reutilizar el vidrio y ABS para mezclarlos con yeso y cemento. Las mezclas que se proponen son: cemento-yeso, yeso-vidrio, cemento-ABS y yeso-ABS que servirán como base para el diseño, elaboración y evaluación de un elemento modular aplicado al área de la construcción. Para poder desarrollar esta investigación se adaptó la norma ASTM-C177-19 que sirvió para determinar el paso del calor a través de las mezclas y seleccionar la que brinde mejores características.

1.4 Objetivos y metas

1.4.1 Objetivo general

Evaluar las mezclas cemento-vidrio, yeso-vidrio, cemento-ABS y yeso-ABS mediante la adaptación de la norma ASTM-C177-19 para diseñar un elemento modular como aislante pasivo en la construcción de edificaciones.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar los porcentajes de agregado de las mezclas, con base en la investigación del estado del arte y de experimentos preliminares.
- Determinar la transferencia de calor de las mezclas cemento-vidrio, yeso-vidrio, cemento-ABS y yeso-ABS, mediante la adaptación de la norma ASTM-C177-19.
- Analizar los acabados superficiales de cada mezcla a nivel macroscópico y microscópico.
- Proponer diferentes diseños de elementos pasivos modulares para aplicaciones en el área de la construcción.

1.4.3 Metas

- Elaborar una hoja de cálculo para determinar las proporciones de las mezclas con base en el volumen deseado.
- Elaborar probetas para pruebas de transferencia de calor.
- Verificar el acabado y porosidad de las mezclas en el microscopio.
- Elaborar mediante técnicas de creatividad bocetos burdos y comprensivos.
- Elaborar un molde para fabricar un elemento modular.
- Realizar el elemento modular con la mezcla que obtuvo el mejor resultado térmico.

1.5 *Alcances y limitaciones*

El presente proyecto muestra la elaboración y evaluación de un elemento modular que funcionará como aislante térmico en el interior de las edificaciones, así como las propuestas de diseño visual que complementará la armonía en el lugar de aplicación.

Para ello se utilizaron cemento y yeso, como material base de las mezclas, los cuales son productos comerciales y en páginas posteriores se darán los detalles técnicos.

Así mismo, se emplearon dos tipos de partículas de relleno: vidrio y ABS. Ambos productos se obtuvieron de desechos, los cuales fueron reprocesados en el Laboratorio Minero-Metalúrgico del Instituto de Minería para tener las condiciones adecuadas para la mezcla, mismas que se describen en el Capítulo 3.

Las proporciones de los materiales de relleno se seleccionaron en función de la cohesión de las probetas fraguadas, que en el caso del vidrio fue de 0 a 50% en masa en incrementos de 10%. En el caso del ABS, se analizarán solamente 3 contenidos, a 0, 10 y

20%, debido a que las probetas con mayor contenido de ABS no tenían la calidad requerida.

1.6 Descripción de la metodología

En la Figura 1.5 se presenta un diagrama de la metodología que se empleó en este trabajo de tesis. Es importante mencionar que dicho diagrama y su descripción están basados en la metodología propuesta por Hernández Sampieri, & Mendoza Torres, 2018, en su libro de Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.

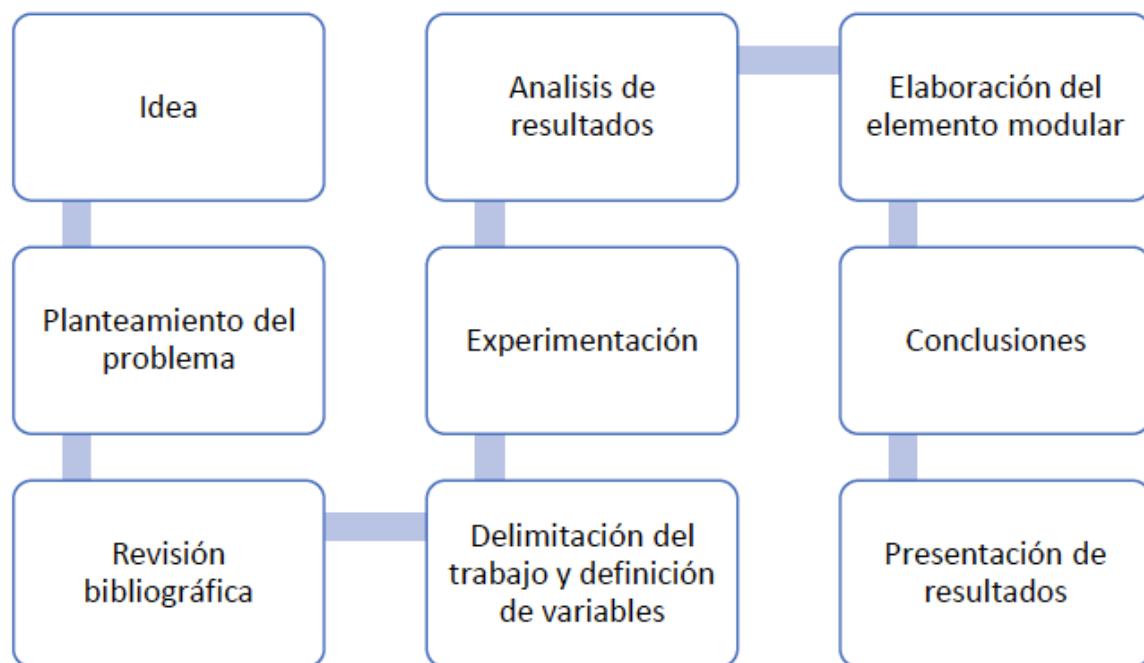
Con el fin de dar paso al planteamiento del problema, es necesario la consulta de fuentes primarias de información, como lo son los libros, artículos científicos, páginas web, documentos académicos (tesis, tesinas, reportes técnicos, etc.), entre otras acreditadas. Posteriormente, es necesario acotar la idea, analizar el fenómeno y sus características, así como definir si se cuenta con todos los recursos para realizar la investigación, de tal manera que se pueda definir qué tipo de investigación se realizará: cualitativa, cuantitativa o mixta.

En el caso particular de este trabajo de tesis, se concentrará en un tipo de investigación cuantitativa, ya que esta tiene como propósito establecer en términos medibles una característica de un material y posteriormente la elaboración de un elemento modular que sirva como elemento aislante en una construcción.

Cabe hacer notar que todos los métodos empleados en el apartado de experimentación se describen ampliamente en el Capítulo 3. Básicamente se refieren cada uno de los materiales empleados en este trabajo y el procesamiento que tuvieron para poder emplearlos en las mezclas y con ellas realizar probetas para la determinación del tiempo

de transferencia de calor. De la misma forma se describe el aparato experimental que se fabricó para la adaptación de la norma ASTM-C177-19. Así mismo, en la elaboración del elemento modular se empleó la metodología planteada en el libro Diseño y Comunicación Visual de Munari, 2016. En éste describe que cuando el diseñador tiene definido lo que va a hacer, debe identificar los aspectos y las funciones que caracterizan al proyecto y debe tomar en consideración las limitaciones y disponibilidad tecnológica para obtener un elemento mejor al menor costo. Posteriormente el autor tiene que hacer uso de su creatividad y utilizar todos los medios a su alcance para lograr proyectar un objeto con formas y figuras auténticas. Finalmente, el proceso creativo puede concluirse con la elaboración de una maqueta o pieza que se somete al análisis del consumidor para que haga las observaciones pertinentes.

Figura 1.5 Esquema de la metodología.



Nota: Metodología realizada con base en el libro de Hernández Samieri y Mendoza Torres (2025). Fuente: (Elaboración propia, 2025).

CAPÍTULO 2 MARCO DE REFERENCIA

El cemento es un material fundamental en la construcción, compuesto principalmente por clinker. Éste es un producto intermedio en la fabricación de cemento que se obtiene al calcinar una mezcla de caliza y arcilla a altas temperaturas. Químicamente, el clinker está compuesto principalmente por silicatos, aluminatos y ferritos de calcio, que son los compuestos clave para proporcionar las propiedades deseadas al cemento. Estos compuestos se forman durante la fusión y la reacción de los componentes de la mezcla cruda el horno rotativo. Los silicatos son responsables de la resistencia inicial y final del cemento, los aluminatos contribuyen a la velocidad de endurecimiento y a la resistencia a los sulfatos, mientras que los ferritos tienen un impacto en la durabilidad del cemento. El proceso de producción de clinker y su composición química son aspectos cruciales para garantizar la calidad y el rendimiento óptimo del cemento en diversas aplicaciones de construcción (Duda, 2021).

El yeso comercial es un producto que se extrae del yeso mineral. Básicamente es un compuesto de sulfato de calcio dihidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) que se somete a temperatura hasta quedar con una cuarta parte del agua que posee molecularmente. Este material se emplea en la industria de la construcción, debido a su inercia térmica y a su bajo coeficiente de conductividad térmica, ya que se considera térmicamente aislante. Los revestimientos internos de edificaciones fabricadas con yeso garantizan una humedad equilibrada, protege la estructura de un incendio, ya que puede absorber suficiente calor ante la presencia del fuego, además tiene una buena absorción acústica y se pueden lograr acabados superficiales inmejorables (Secretaría de Economía, 2022).

El ABS es un copolímero formado por tres monómeros: acrilonitrilo, butadieno y estireno. La combinación de estos monómeros le confiere al ABS propiedades únicas y versatilidad en aplicaciones industriales y de consumo. El acrilonitrilo proporciona resistencia química y térmica, el butadieno contribuye a la tenacidad y el estireno aporta rigidez y facilidad de procesamiento. El ABS es conocido por su excelente resistencia al impacto y a la abrasión, así como por su buena estabilidad dimensional y resistencia al calor. También es fácilmente moldeable, lo que lo convierte en un material popular en la fabricación de piezas plásticas para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo componentes automotrices, electrodomésticos, juguetes y envases (Askeland & Wright, 2016).

El vidrio es un material inorgánico amorfo y transparente compuesto principalmente por sílice (arena), soda y cal. Estos componentes se funden a altas temperaturas para formar vidrio fundido, que luego se enfría rápidamente para solidificar. La composición y el proceso de fabricación pueden variar para obtener diferentes propiedades y tipos de vidrio, como vidrio flotado, vidrio laminado, vidrio templado y vidrio coloreado.

En el ámbito de la edificación, el vidrio se utiliza de manera extensiva debido a sus propiedades únicas, como transparencia, resistencia, durabilidad y capacidad para permitir el paso de luz natural. Se emplea en ventanas, puertas, fachadas, claraboyas y otras aplicaciones arquitectónicas para mejorar la iluminación, la estética y la eficiencia energética de los edificios. Además, el vidrio en la construcción puede ser modificado con revestimientos, laminaciones y otros tratamientos para cumplir con requisitos específicos de seguridad, aislamiento acústico y térmico (Morales Ortega, 2017).

2.1 Marco teorico

2.1.1 *Materiales aislantes*

Los materiales aislantes desempeñan un papel fundamental en la construcción moderna, contribuyendo a mejorar la calidad y eficiencia energética, el confort y la durabilidad de los edificios. La necesidad de colocar aislantes térmicos en las edificaciones se puede justificar por diferentes razones: economizar energía, minimizar la temperatura entre el interior y las superficies como paredes, techos y suelos, eliminar la condensación de humedad en el interior de las edificaciones, entre otras. El aislamiento térmico, es un aspecto del diseño constructivo que se debe perfeccionar y aplicar para mejorar las condiciones térmicas de las edificaciones. La selección de un material aislante debe de cumplir varias características (Fundación Heinrich Boll, 2020):

- La resistencia a la compresión.
- La susceptibilidad a la compresión
- La facilidad de colocación
- Durabilidad
- La conductividad térmica.

Ésta última es importante, ya que un material que impida el paso del calor será el ideal para su uso como material aislante. En este punto es relevante recordar que existen tres mecanismos de transmisión de energía térmica: la conducción, la convección y la radiación (Holman, 1998).

La convección: Es el mecanismo de transferencia de calor producido por el movimiento de masa o circulación de la sustancia. Sólo se produce en líquidos y gases en donde los átomos o moléculas son libres de moverse en el medio.

La radiación: Es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada, se produce desde la fuente y se dispersa en todas direcciones. A diferencia de las anteriores, no necesita un medio material para propagarse, de hecho, es más efectiva en el vacío.

Debido a que el trabajo presentado en este documento se basa en la conducción, es importante ampliar el concepto.

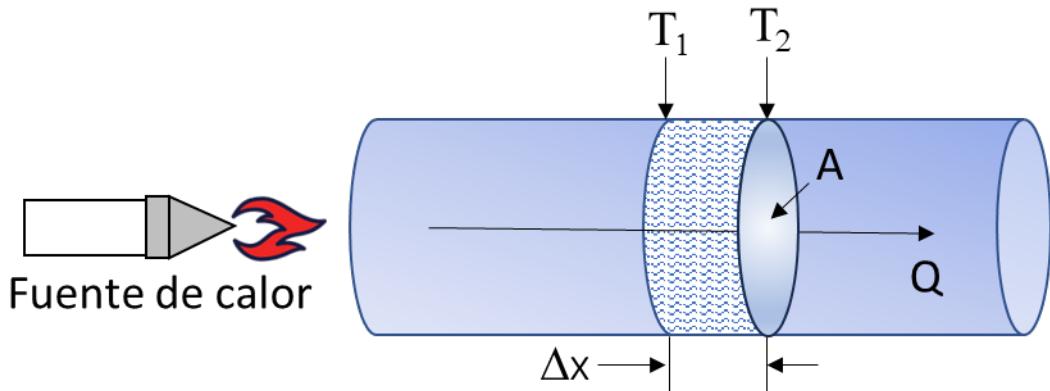
La conducción: Este mecanismo ocurre cuando un flujo de calor pasa a través de un material cuando hay una diferencia de calor entre las superficies. La energía térmica en los sólidos que se transfiere por conducción se realiza mediante dos mecanismos: por vibración atómica y por transporte de electrones libres. La conductividad térmica es una medida de la rapidez a la que se transmite el calor en un material.

En la Figura 2.1 se presenta gráficamente este concepto, el cual se puede explicar con la Ley de Fourier, la cual es una ley empírica que establece que el flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura y se dirige en sentido opuesto a este, es decir, va del lado más caliente al lado más frío. Esto puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$q = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Donde q es el flujo de calor por unidad de área ($q=Q/A$; W/m^2), k es la conductividad térmica del material (W/m^*K), $\Delta T/\Delta x$ es el gradiente de temperatura y el signo negativo indica que el calor fluye de la zona de mayor temperatura a la de menor temperatura.

Figura 2.1 Representación gráfica del concepto de conductividad.



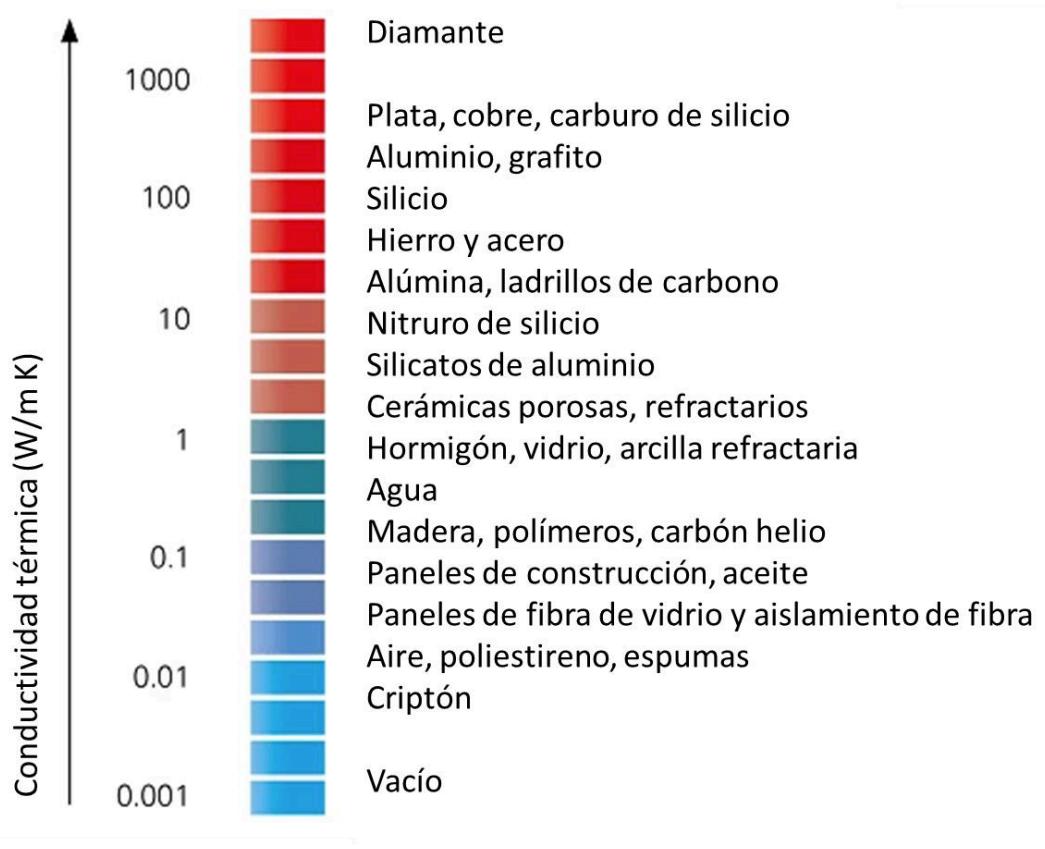
Nota: Se toma a ΔT es igual a la diferencia de tiempo 1 y 2 que tarda Q que es la temperatura en pasar por Δx , que es el grosor del material. Fuente: (Askeland & Wright, 2016).

En el caso particular de este trabajo de investigación se busca que el material empleado en el elemento modular tenga propiedades aislantes, ya que en la Industria de la construcción se emplean varios materiales como aislantes térmicos con el propósito de ayudar a regular la temperatura en interiores. Básicamente se dividen en tres grupos de acuerdo con su origen: plástico: poliestireno, poliuretano, etc., mineral: arcilla, vermiculita, fibra de vidrio, yeso, etc. o vegetal: corcho, fibras vegetales, etc. (Fundación Laboral de la Construcción, 2014).

Generalmente se considera un buen aislante térmico a aquel material que tiene una alta resistencia térmica, es decir, que impide el paso de calor. En la Figura 2.2 se presenta una gráfica que contiene los rangos de conductividad de algunos materiales. Es importante mencionar que los materiales que están en colores rojizos se consideran como

materiales que conducen bien la energía térmica, contrario a los que están en tonalidades azules, los cuales son considerados como resistentes al paso de energía térmica (Netzsch, 2025).

Figura 2.2 Conductividad térmica de algunos materiales.



Nota: Los materiales que están sobre la líneas roja son mejores conductores de energía térmica, en contraste los que están en azul son resistentes al paso de energía térmica. Fuente: (Netzsch, 2025).

2.1.2 ABS

El ABS es un polímero desarrollado en 1946 por la empresa US Rubber Company (Fundación Heinrich Boll, 2020). Estructuralmente es una mezcla de un copolímero vítreo (acrilonitrilo-estireno) y un polímero elástico (butadieno), que le proporciona ciertas propiedades que en lo individual no se pudieran obtener. Las propiedades más

sobresalientes de este material son: alta resistencia a la abrasión, ligeramente permeable al vapor de agua, no se degrada en presencia de aceites, excelentes tolerancias dimensionales, se puede pigmentar de muchos colores, se pueden hacer uniones con otros polímeros y con él mismo de forma fácil, es resistente a la exposición al sol, químicamente estable, excepto en contacto con acetona, ésteres, aldehídos y algunos hidrocarburos.

En términos de manufactura es fácilmente formado, se puede doblar y estampar con ayuda de calor, se puede barrenar, fresar, tornear, aserrar y troquelar. Se pueden obtener buenos acabados superficiales. Una de sus principales propiedades es su resistencia al impacto. Gracias a ello sus usos y aplicaciones están dirigidos a aprovechar esa propiedad junto con la ligereza del material en la fabricación de partes automotrices. Un dato interesante es que los autos modernos pueden llegar a tener 12 kg o más de ABS distribuidos entre las defensas, espejos retrovisores, tablero, cobertores de puertas y otras partes decorativas en el interior. Otros de los usos de este polímero son en los aparatos eléctricos/electrónicos, por ejemplo, en máquinas de oficina, carcasa de ordenadores, teléfonos, USB y en un sinnúmero de juguetes como BANDAI™ y LEGO™, como los que se presentan en la Figura 2.3 (Textos Científicos, s.f., 2025).

Figura 2.3 Elementos fabricados con el polímero ABS.



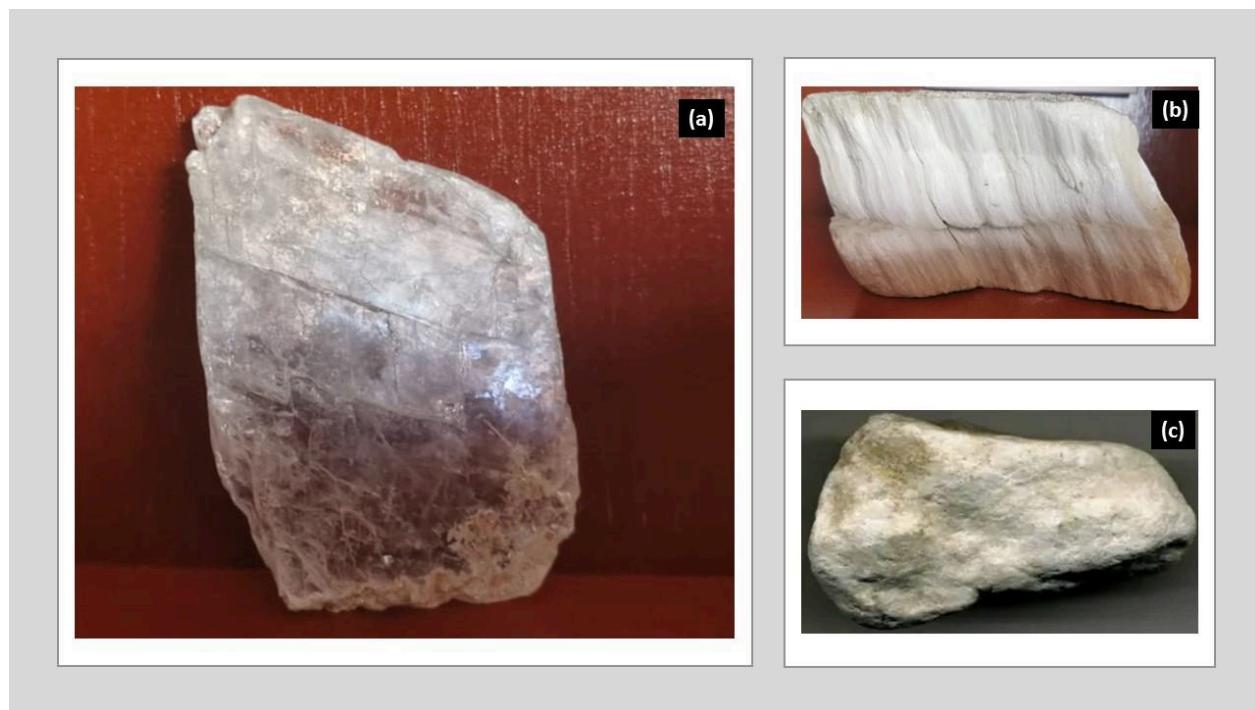
Nota: Ejemplo de aplicación de ABS en la industria. Fuente: (Tomada de Internet, 2025).

2.1.3 Yeso

Como se mencionó anteriormente, el yeso es un sulfato de calcio bihidratado de color blanco a blanco grisáceo, que puede tener tonalidades amarillas, rojizas, castaño, azul o rosa como consecuencia de las impurezas. Éste mineral se presenta en la naturaleza en tres formas básicas (Figura 2.4), las cuales se describen a continuación (Secretaría de Economía., 2022):

- Cristalizado: conocido comúnmente como selenita, el mineral está formado por láminas transparentes y semiflexibles.
- Fibroso: compuesto de fibras o filamentos con un lustre aperlado.
- Compacto: se le conoce como alabastro y mayoritariamente es blanco de grano muy fino.

Figura 2.4 Mineral de yeso: a)Cristalino, b)fibroso y c)Compacto.



Nota: las imágenes a) y b) son muestras que se encuentran exhibidas en el Instituto de Minería de la UTM y la Muestra c) fue tomada de internet. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Químicamente está constituido por 32.6% de CaO , 46.5% de SO_3 y 20.9% de H_2O , tiene una dureza de 2 en la escala de Mohs y un peso específico de 2.32 (Secretaría de Economía, 2022).

En nuestro país existen depósitos de yeso que se encuentran principalmente en Baja California Sur, Nuevo León, San Luis Potosí, Hidalgo y Coahuila, de donde se trajeron 5.7 millones de toneladas para el 2019 (Secretaría de Economía., 2022). Los productos comercializados son: Yeso sin calcinar: Este producto se utiliza tal como está en la naturaleza. Se usa principalmente en la fabricación del cemento y como neutralizador de suelos en la agricultura.

Yeso calcinado: es un material que se somete a deshidratación y se obtienen algunos productos como: a) el yeso ordinario, el cual es fabricado a 130°C y no lleva ningún

proceso de clasificación o selección, es decir, contiene toda clase de impurezas, b) el yeso de marca es un material que se obtiene calcinando el mineral de 200 a 220°C y cuenta con todos los controles de calidad, lo que garantiza un producto con mayor resistencia y con un tiempo de fraguado superior al yeso ordinario y c) el yeso de plafón, el cual es procesado a temperaturas entre 300 y 400°C de 8 a 14 h, lo que produce un material con mejor calidad y con aplicaciones como adornos, plafones, láminas, placas, cornisas, etc.

2.1.4 Vidrio

El vidrio es un material inorgánico producto de la fusión, el cual tiene la particularidad de ser amorfo, es decir, los elementos en su estructura están dispuestos de forma desordenada. El vidrio es una combinación de óxidos de silicio, sodio, calcio, aluminio y otros componentes secundarios (Castillo Pazmiño, 2010) (Castillo Pazmiño, 2010).

Las proporciones de cada uno de los óxidos antes mencionados están en función del tipo de vidrio que se desea fabricar. Por ejemplo, el vidrio de ventana está formado en con 72% de SiO_2 , 14% de Na_2O , 10% de CaO , 2% de MgO y 1% de Al_2O_3 (Askeland & Wright, 2016). Es importante señalar que, debido a la diferencia entre las composiciones químicas de los vidrios, la falta de interés de la población y el bajo costo del producto en el mercado del reciclado hace difícil el proceso de reciclado.

INEGI, 2017 reporta que aproximadamente 2.7 millones de toneladas de vidrio son enviados a los basureros de todo el país. Esto abre una ventana de oportunidad para buscar nuevas aplicaciones en donde se pueda emplear como una materia prima. En la

Figura 2.5 se muestra el vidrio triturado que se procesa en el Laboratorio Minero Metalúrgico de la UTM.

El vidrio, es un material que puede ser 100% reciclado. Esto ayuda a reducir el consumo de energía al producir menos cantidad de materia prima. Actualmente el vidrio reciclado se emplea en algunas áreas de la vida productiva, como por ejemplo (Castillo Pazmiño, 2010):

- Como reemplazo de arena en el proceso de abrasión de pintura automotriz (sandblasting).
- Como base o subbase en carreteras.
- En asfalto para pavimentos.
- Como agregado fino en hormigón.

Actualmente varios autores estudian las concentraciones ideales para trabajarla, no solo como un agregado en el hormigón o el mortero, sino como sustituto del cemento (Nassar y Soroushian, 2011, Nassar y Soroushian, 2012, Peyvandi y Col., 2013 y Ibrahim, 2023).

Figura 2.5 Desecho de vidrio para trituración y triturado.



Nota: Vidrio antes y después de la trituración. Imagen tomada en las instalaciones del Laboratorio Minero-Metalúrgico de la UTM. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

2.1.5 Cemento

El cemento es un material inorgánico particulado que tiene la característica de que, al mezclarse con agua, forman una pasta que se puede aplicar y endurecer, por lo que se le conoce como cemento hidráulico. El cemento más utilizado en la industria de la construcción es el cemento Portland, el cual fue patentado en 1824 por Joseph Aspdin y el nombre viene de la similitud que tiene el material con los acantilados de piedra caliza de la isla de Portland, Inglaterra. Lo constituyen los silicatos y los aluminatos de calcio, estos compuestos se forman por la asociación química de diferentes óxidos, los compuestos principales resultado del proceso de fusión química en el horno son cuatro (Askeland & Wright, 2016):

- Silicato tricálcico ($3CaO \cdot SiO_2$)
- Silicato dicálcico ($2CaO \cdot SiO_2$)

- Aluminato tricálcico ($3CaO \cdot Al_2O_3$)
- Aluminoferrito tetracálcico ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$)

Los compuestos anteriores son conocidos como: C_3S , C_2S , C_3A y C_4AF , respectivamente.

Cuando se agrega agua al cemento, ocurre una reacción de hidratación que produce un gel que une a las partículas (agregados), generando un material con propiedades y características físicas de acuerdo con la cantidad de cemento y agua que se utilicen.

2.2 Marco legal

2.2.1 Norma ASTM-C177-19

La capacidad de transferir energía térmica (calor) de un material es conocido como conductividad térmica. Para calcular esta variable la Norma ASTM 1 presenta el "Método de prueba estándar para mediciones de flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica por medio de un aparato de placa caliente con guarda (APCG)". Al exponer la muestra de material a temperatura constante en un APCG se pueden obtener valores de conductividad térmica (λ , W/m K) que puede ser de dos tipos: a) la conductividad térmica real y b) la conductividad térmica aparente. Ésta última se considera aparente en caso de que el material sea laminar o contiene porosidades o celdas vacías en las que el calor se puede transmitir por convección o radiación (Lira-Cotrés et al., 2008).

El principio de operación de un APCG se basa en la técnica de transferencia de calor por conducción en estado permanente entre dos placas frías y una caliente central que tiene una guarda (ASTM, 2023). En la Figura 2.6 se muestra una representación esquemática

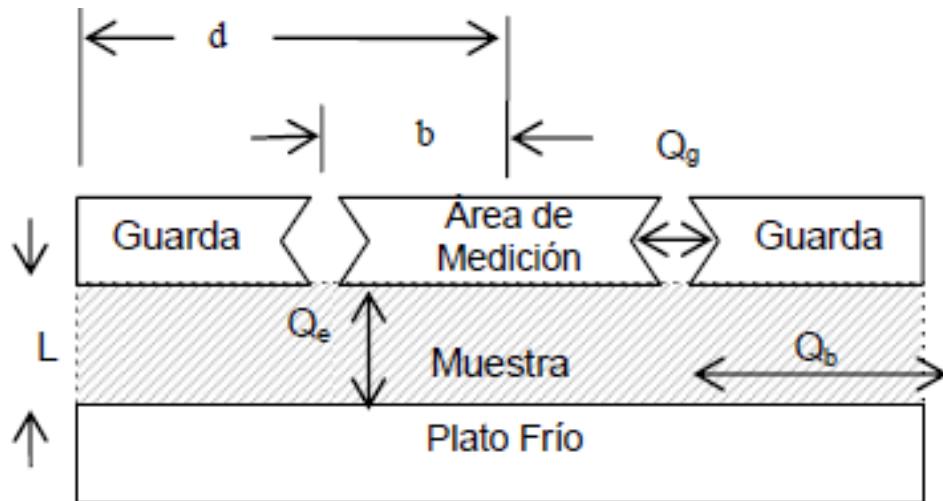
del aparato y las principales partes que lo componen. El APCG permite determinar la conductividad térmica mediante la ecuación (2):

$$\lambda = \frac{q l}{A \Delta T} \quad (2)$$

donde q es la rapidez del flujo de calor a través de la muestra (W), λ es la conductividad térmica en W/mK , ΔT es la diferencia de temperatura entre el plato frío y el plato caliente en Kelvin, l es el espesor de la muestra en m y A es el área de sección transversal en m^2 .

El equipo de APCG está conectado a un sistema de termopares que miden la temperatura en diferentes partes de la muestra y se conecta a una PC donde se adquieren los datos.

Figura 2.6 Esquema transversal de un APCG.



Nota: Componentes principales del instrumento para medir la conductividad térmica de materiales sólidos aislantes.
 Fuente: (Lira-Cortés et al., 2008).

2.3 Marco social

2.3.1 Cambio climático

El cambio climático se refiere a la alteración a largo plazo de los patrones climáticos en la Tierra. Estos cambios pueden incluir aumento en la temperatura promedio de la superficie terrestre, modificaciones en los patrones de precipitación, cambios en los niveles del mar y otras variaciones en el clima a lo largo de décadas o incluso siglos. El cambio climático que se experimenta actualmente es un fenómeno provocado total o parcialmente por los gases de efecto invernadero en la atmósfera, principalmente el CO_2 emitido por las actividades humanas, las emisiones volcánicas y la interacción con el sol.

En el último siglo, la temperatura media mundial ha aumentado de la misma forma que las emisiones de CO_2 en la atmósfera debido principalmente a las actividades humanas, pasando de 280 ppm (partes por millón) en 1750 a 353 ppm y se estima que para el 2050 sean entre 550 y 700 ppm de CO_2 (Elizando, Ojeda, Gomez, Esparza, & Cabrera, 2015).

El calentamiento global es un componente del cambio climático, que es un término más amplio que se refiere a los cambios a largo plazo en los patrones climáticos de la Tierra. El aumento de la temperatura global tiene una serie de efectos adversos, como el derretimiento de los casquetes polares y los glaciares, el aumento del nivel del mar, eventos climáticos extremos más frecuentes, cambios en los patrones de lluvia y sequías, y la acidificación de los océanos. Estos impactos pueden tener graves consecuencias para los ecosistemas, la biodiversidad y la vida humana. La principal causa del calentamiento global es la actividad humana, especialmente la quema de combustibles

fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón, que libera grandes cantidades de gases de efecto invernadero a la atmósfera. La deforestación y otros cambios en el uso de la tierra también contribuyen a este problema. Para abordar el calentamiento global, se han establecido acuerdos internacionales, como el Acuerdo de París, que buscan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y limitar el aumento de la temperatura global a un nivel seguro (Elizando, Ojeda, Gomez, Esparza, & Cabrera, 2015).

2.3.2 Problema térmico en edificaciones

Las edificaciones enfrentan varios problemas térmicos, muchos de los cuales están relacionados con la necesidad de hacer frente al cambio climático, mejorar la eficiencia energética y proporcionar un ambiente interior confortable. Dentro de los problemas térmicos más comunes en edificaciones incluyen: cambio climático, ineficiencia energética, aislamiento ineficiente, ventilación inadecuada, uso de materiales inapropiados, entre otros.

La variación climática del estado de Oaxaca y particularmente en Huajuapan de León, afecta el confort de los habitantes en las edificaciones residenciales y comerciales, esto debido a la variación de la temperatura, la cual tuvo como máxima 36.2°C y como mínima -0.6°C en el año 2023 (Meteostat, 2024). Por ello, los materiales juegan un papel importante, ya que mediante éstos se puede aislar el calor o el frío del exterior disminuyendo la inconformidad térmica que puede llegar a tener consecuencias significativas en los usuarios. Para abordar los problemas térmicos en edificaciones, es fundamental adoptar estrategias de diseño sostenible, utilizar materiales eficientes desde el punto de vista energético, incorporar sistemas de calefacción y refrigeración

eficaces, y promover la educación sobre la importancia de la eficiencia energética y la adaptación al clima local.

2.3.3 Problemas emocionales ocasionados por el calor

El calor en el interior de las edificaciones puede generar una serie de problemas emocionales y físicos en las personas, especialmente durante las temporadas de altas temperaturas. Cuando la temperatura en el interior de una edificación es alta y recurrente, hay ciertos problemas que van más allá del confort, siendo los más afectados los grupos vulnerables. Los problemas de salud asociados al sobrecalentamiento de los edificios pueden variar en intensidad y frecuencia, y van desde problemas leves, como la deshidratación, calambres por calor, edema calórico, mareos, desmayos y reacciones alérgicas, hasta los más graves que van desde agotamiento por el calor, golpe de calor y en casos extremos afecciones mentales que pueden derivar en suicidio (Edificación y Energía, 2024).

CAPÍTULO 3 DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental de este trabajo de tesis se realizó en 3 fases: la primera enfocada a la preparación de los materiales, así como a la elaboración de las probetas correspondientes. La segunda fase está orientada a la adaptación de la norma ASTM C177-19 para obtener la conductividad térmica de las probetas y la tercera que contiene todo lo relacionado con la elaboración del elemento modular.

3.1 Fase I: Selección y preparación de los materiales.

La Fase I consistió en obtener los materiales que se emplearon en la experimentación como relleno: el ABS y el vidrio. Ambos materiales se sometieron a un proceso de reducción de tamaño y tamizado de partículas para que tuvieran un tamaño adecuado, similar a las partículas de yeso y de cemento.

3.1.1 Partículas de ABS

El ABS utilizado en la experimentación proviene de residuos de aparatos eléctricos/electrónicos (RAEE), como el que se muestra en la Figura 3.1. Particularmente estos aparatos se obtuvieron del Instituto de Minería de la UTM, ya que este instituto cuenta con un centro de acopio donde se desmantelan dichos residuos.

Figura 3.1 RAEE que contiene ABS.



Nota: Carcasa de equipos eléctricos/Electrónicos de ABS. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Para el proceso de desmantelado es necesario contar con herramientas como son: desarmador de cruz y plano, cautín, pinzas y entre otras herramientas que facilitan el trabajo. Se separan los componentes que no contengan ABS y se conservan aquellos que contengan dicho polímero. Finalmente, todo el polímero recuperado se lava para quitar polvo y otros residuos que pudiera tener.

Teniendo el material seleccionado es necesario utilizar una trituradora para disminuir el tamaño de las partículas. Para ello se empleó una trituradora para polímeros rígidos de manufactura nacional, la cual se muestra en la Figura 3.2.

Figura 3.2 Triturador de polímeros rígidos del Laboratorio Minero-Metalúrgico.



Nota: Equipo utilizado para la trituración de polímeros y plásticos. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Para triturar el ABS es necesario que los trozos de este material tengan las dimensiones adecuadas a la abertura de la alimentación de la carga. Por ello se seleccionan piezas no mayores de 10 cm, tanto de longitud como de largo. Es importante mencionar que se requiere pasar dos o más veces el material para obtener el tamaño de partícula adecuado.

En la Figura 3.3 se presenta el ABS obtenido después de la trituración.

Figura 3.3 Partículas de ABS obtenidas de la trituración.



Nota: ABS triturado con un tamaño de partícula de 10 cm aproximadamente. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

El material obtenido de la trituración se tamizó empleando un Ro-Tap marca Tyler, como el que se presenta en la Figura 3.4. Se empleó una malla marca Mont Inox número 60 que tiene una apertura de 0.25 mm (ver Figura 3.5). Durante el proceso de tamizado se identificó que era necesario pasar varias veces el material por la trituradora, esto debido a la cantidad y a la finura del material requerido.

Figura 3.4 Tamizadora Ro-Tap.



Nota: Equipo del instituto de minería utilizado para realizar el tamizado de los materiales. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Figura 3.5 Malla número 60.



Nota: Malla para el tamizado de los materiales. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

3.1.2 Partículas de vidrio

Se utilizaron diferentes desechos de vidrio, como botellas y material de laboratorio, así como vidrio de ventana (Figura 3.6). Todo este material se lavó para quitar principalmente residuos de polvo, pegamento, collarines de metal, etiquetas y de más productos que pudieran afectar la mezcla.

Figura 3.6 Botellas de vidrio recolectadas y preparadas para el proceso de limpieza.



Nota: Vidrio antes de ser tratado y limpiado para el proceso de trituración. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

El proceso de trituración del vidrio es semejante al del polímero, con la diferencia que se lleva a cabo en una trituradora especialmente manufacturada para ello. Se trata de la trituradora marca Pulvex, la cual es también de manufactura nacional y se muestra en la Figura 3.7. La carga se adiciona por la parte superior de la trituradora y mediante la tolva de alimentación, llega el material al mecanismo de trituración. El producto obtenido se presenta en la Figura 3.8.

Figura 3.7 Trituradora de vidrio.



Nota: Equipo utilizado para la tirutración del vidrio. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Figura 3.8 Partículas de vidrio obtenidas de la trituración.



Nota: Recipiente con vidrio triturado. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

De la misma forma que en el tamizado del ABS se utilizó el Ro-Tap marca Tyler con la misma malla #60 con apertura de 0.25 mm. Es importante mencionar que para todos los

procesos en donde se involucró el vidrio se requiere traer el equipo de seguridad adecuado, como son: guantes, careta, respirador con filtro para polvos, lentes de seguridad y/o careta, ya que al ser un material muy fino puede llegar a dañar la salud del usuario sobre todo si está en contacto con éste por tiempo prolongado.

3.1.3 *Materiales comerciales*

Los materiales utilizados para experimentación fueron yeso y cemento comercial, los cuales fueron adquiridos localmente. Se trata del yeso Miguel Ángel en presentación de 36 *kg*, de acuerdo con los datos de su ficha técnica, este material se utiliza para acabados interiores y mampostería, tiene un color blanco y una densidad de 2.31 g/cm^3 (Figura 3.9). Así mismo, el cemento empleado en la experimentación fue el de la marca Cruz Azul tipo II, el cual sirve para todo tipo trabajos de albañilería. La presentación es de 50 *kg*, es de color gris y su densidad es de g/cm^3 y cumple con la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2017 (Cemento Cruz Azul, 2023).

Figura 3.9 Materiales comerciales; yeso y cemento, respectivamente.



Nota: Bultos de yeso y cemento de 36 y 50 kg, respectivamente. Fuente: (Sacado de internet, 2025).

3.1.4 Calculo de materiales para probetas

Para determinar la cantidad de material que se empleó en la elaboración de las probetas, se realizaron las siguientes consideraciones:

1. La relación (E) entre la masa del agua (m_w) y la masa de las partículas (m_{pi}):

$$E = \frac{m_w}{m_{pi}} \quad (3)$$

Donde i es el tipo de partícula en específico: yeso o cemento. Para el caso del yeso, $E = 0.6$ y para el cemento $E = 0.5$.

2. Se considera que el volumen total (V_T) de la prueba es la sumatoria de todos los volúmenes de los elementos involucrados en la elaboración de estas:

$$V_T = \sum [V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n] \quad (4)$$

3. Si conocemos la densidad de los elementos involucrados en la mezcla, se puede emplear la ecuación de la densidad:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

4. De esta manera, se puede colocar el volumen en función de la masa y la densidad se sustituye en la Ecuación 3.2 se tiene:

$$V_T = \frac{m_i}{\rho_i} + \frac{m_j}{\rho_j} + \frac{m_w}{\rho_w} \quad (6)$$

5. Para el cálculo de la masa del ABS y del vidrio, se consideró una adición de éstas en 0, 10, 20, 30, 40 y 50% con base en la masa del yeso o el cemento, según sea el caso.

Las consideraciones anteriores se programan en una hoja de cálculo, en el presente caso se utilizó el programa Excel y los resultados se presentan en las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4. Cabe señalar que el volumen total de la probeta se fijó en 660cm^3 y en la siguiente sección se detallan las razones.

Tabla 3.1 Materiales para los experimentos con yeso y ABS.

% (w/w)	MASA (g)			VOLUMEN (cm ³)			VOLUMEN TOTAL (cm ³)
	YESO	ABS	AGUA	YESO	ABS	AGUA	
0	637.82	0.00	382.69	277.31	0.00	382.69	660.00
10	590.28	59.03	354.17	256.64	49.19	354.17	660.00
20	549.34	109.87	329.60	238.84	91.56	329.60	660.00
30	513.71	154.11	308.22	223.35	128.43	308.22	660.00
50	454.72	227.36	272.83	197.70	189.47	272.83	660.00

Nota: Resultado del cálculo de material del ABS y agua con respecto al yeso. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Tabla 3.2 Cálculo de materiales para los experimentos yeso-vidrio.

% (w/w)	MASA (g)			VOLUMEN (cm ³)			VOLUMEN TOTAL (cm ³)
	YESO	VIDRIO	AGUA	YESO	VIDRIO	AGUA	
0	637.82	0.00	382.69	277.31	0.00	382.69	660.00
10	614.08	61.41	368.45	266.99	24.56	368.45	660.00
20	592.04	118.41	355.23	257.41	47.36	355.23	660.00
30	571.54	171.46	342.92	248.49	68.58	342.92	660.00
50	534.51	267.25	320.70	232.39	106.90	320.70	660.00

Nota: Resultado del cálculo de material del vidrio y agua con respecto al yeso. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Tabla 3.3 Materiales para la elaboración de las probetas cemento-ABS.

% (w/w)	MASA (g)			VOLUMEN (cm ³)			VOLUMEN TOTAL (cm ³)
	CEMENTO	ABS	AGUA	CEMENTO	ABS	AGUA	
0	552.56	0.00	276.28	383.72	0.00	276.28	660.00
10	516.52	51.65	258.26	358.70	43.04	258.26	660.00
20	484.90	96.98	242.45	336.73	80.82	242.45	660.00

30	456.92	137.08	228.46	317.31	114.23	228.46	660.00
50	409.66	204.83	204.83	284.48	170.69	204.83	660.00

Nota: Resultado del cálculo de material del ABS y agua con respecto al cemento. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Tabla 3.4 Materiales para los experimentos cemento-vidrio.

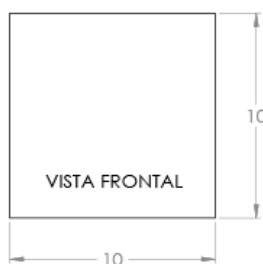
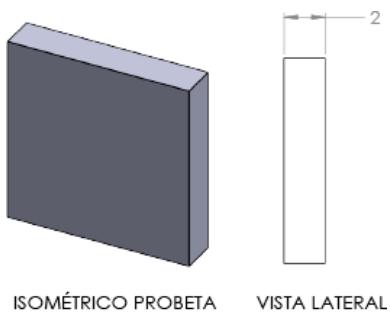
% (w/w)	MASA (g)			VOLUMEN (cm ³)			VOLUMEN TOTAL (cm ³)
	CEMENTO	VIDRIO	AGUA	CEMENTO	VIDRIO	AGUA	
0	552.56	0.00	276.28	383.72	0.00	276.28	660.00
10	534.65	53.47	267.33	371.29	21.39	267.33	660.00
20	517.87	103.57	258.94	359.63	41.43	258.94	660.00
30	502.11	150.63	251.06	348.69	60.25	251.06	660.00
50	473.31	236.65	236.65	328.69	94.66	236.65	660.00

Nota: Resultado del cálculo de material del vidrio y agua con respecto al cemento. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

3.1.5 Elaboración de probetas

En la Figura 3.10 se presentan las dimensiones empleadas en la elaboración de la probeta que se empleó en la experimentación. Esta consiste en un paralelepípedo de $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ con un volumen de 200 cm^3 , las cuales se elaboraron por triplicado.

Figura 3.10 Diagrama de medidas para probetas.

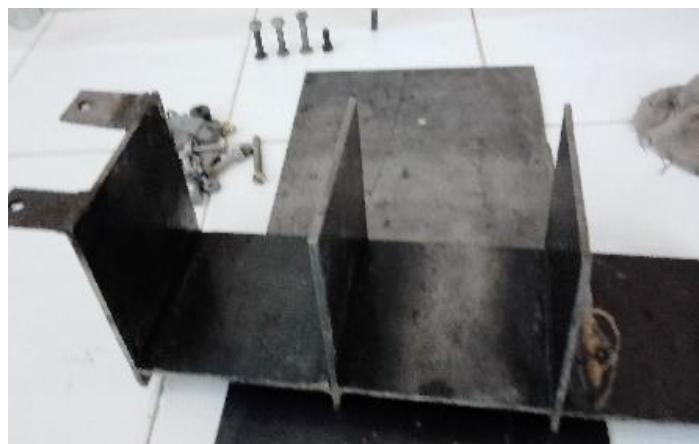


Nota: Las medidas correspondientes están dadas en centímetros. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Para el cálculo del material se consideró incrementar en un 10% el volumen para asegurar el llenado de las probetas de cada muestra al momento de la fabricación. En total se hizo una mezcla de 660 cm^3 , que fueron la base del cálculo de los materiales que se describió con anterioridad.

El procedimiento para la fabricación de las probetas comienza con la preparación de las herramientas y materiales que se van a utilizar. Los moldes que se emplearon en este trabajo fueron manufacturados en el Instituto de Minería y consisten en placas que se unen por medio de tornillos y tuercas. Estos moldes deben estar completamente limpios y engrasados cada vez que se utilicen (Figura 3.11).

Figura 3.11 Molde de metal empleado para la fabricación de las probetas.



Nota: Estructura metálica utilizada como recipiente para los moldes y sus tornillos y arandelas. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

El procedimiento para la fabricación de la fabricación de las probetas es el siguiente:

1. Preparación de los materiales: Se pesan cada uno de los materiales que se van a mezclar utilizando una balanza, como se presenta en la Figura 3.12, de acuerdo con las tablas 3.1 a la 3.4.

Figura 3.12 Preparación de materiales para la mezcla.



Nota: Báscula para el cálculo exacto de materiales en recipientes. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

2. Se colocan en un recipiente con la profundidad suficiente para contener la mezcla: colocando primero los materiales sólidos y finalmente el agua (Figura 3.13). En esta parte, es necesario cuidar el tiempo para realizar la mezcla, ya que, en el caso de las mezclas elaboradas con yeso, el tiempo de fraguado es menor que en el caso de las mezclas fabricadas con cemento.

Figura 3.13 Contenedor con yeso y vidrio.



Nota: Mezcla yeso-vidrio a la que se le adiciona posteriormente el agua. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

3. Posteriormente, se vacía la mezcla a los moldes metálicos (Figura 3.14). En este punto es importante verificar que las muestras tengan la misma altura de 2 cm, así como compactar la mezcla para sacar todo el aire atrapado para evitar la porosidad.

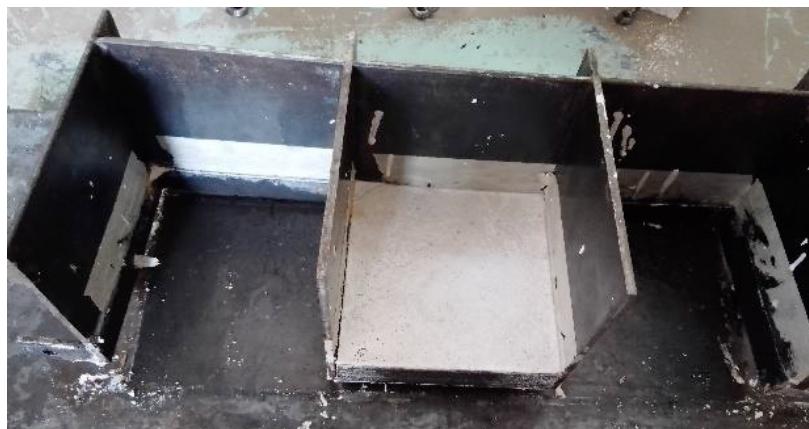
Figura 3.14 Molde de metal con mezcla.



Nota: Probetas en procesos de fraguado, con plastilina para evitar derrame. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

4. Una vez fraguada la mezcla, se desensambla el molde para sacar las probetas (Figura 3.15). En el caso de las mezclas de yeso, se reservan a la intemperie hasta que se sequen y para el caso de las de cemento, se colocan en un recipiente de agua por 28 días para su fraguado (Figura 3.16).

Figura 3.15 Molde para elaboración de probetas, donde las probetas son sacadas del recipiente.



Nota: Durante este proceso se desatornillan los tornillos de la base y se procede a sacar las piezas. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Figura 3.16 Cubeta con agua y probetas de cemento.

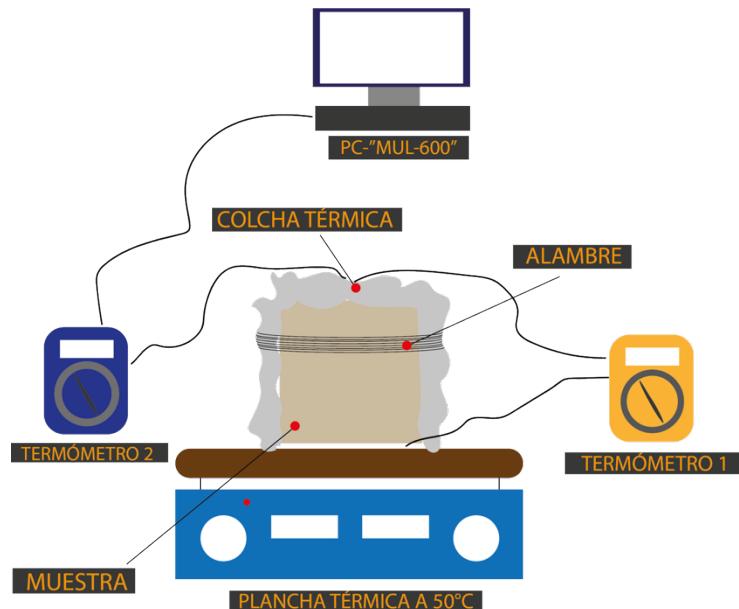


Nota: Las probetas tienen que ser cubiertas completamente de agua para seguir con el proceso de fraguado del cemento, esto se realizó solo con las mezclas que contienen cemento. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

3.2 Fase II: Adecuación de la norma ASTM C177-19

La Fase II implica la adecuación de la norma ASTM C177-19 con el fin de obtener datos útiles para el cálculo de la conductividad térmica de las probetas analizadas. Seguidamente, se detalla el procedimiento experimental y, además, se presenta un diagrama de funcionamiento que ilustra la implementación de dicha norma en la Figura 3.17.

Figura 3.17 Diagrama de implementación de la norma ASTM C-177.



Nota: Representación gráfica de posicionamiento de termopares y conexión a pc con el programa NULL-600®. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Para esta implementación, se empleó una parrilla marca Corning, modelo PC-620 D, con el objetivo de mantener una temperatura constante de 40 °C. Con el fin de asegurar la estabilidad térmica, se instaló un termopar tipo J conectado a un termómetro digital marca Fluke, modelo 53-II.

La probeta a analizar se colocó en el espacio vacío, garantizando contacto directo con la plancha a temperatura constante de 40 °C. Posteriormente, se cubrió la probeta con más

colcha cerámica y se situó un segundo termopar en la parte superior, conectado a otro termómetro, el cual a su vez estaba enlazado a una computadora para registrar los datos de tiempo y temperatura de cada probeta. Finalmente, se esperó el tiempo necesario hasta que ambos termómetros indicaran una temperatura estable de 40 °C.

En todo el contorno de la parrilla se colocó lana cerámica, la cual tiene la función de mantener el sistema aislado del entorno y promover que el flujo de calor sea en sentido de la zona más fría de la probeta. Es importante dejar el espacio en donde se colocará la probeta (Figura 3.18).

Figura 3.18 Sistema para determinar la conductividad de las probetas.



Nota: Se puede observar a detalle la colocación del termopar y la colcha cerámica y el espacio para colocar la probeta.
Fuente: (Elaboración propia, 2025).

3.3 Fase III: Evaluación de las mezclas.

Después de realizar la experimentación con las probetas se transfirieron los datos obtenidos mediante el programa NULL-600® a una hoja de cálculo en el programa Excel®.

Los datos que se obtuvieron de dicho programa son el tiempo (una lectura por segundo) y la temperatura en cada uno de los experimentos. Como se mencionó con anterioridad, cada prueba se hizo por triplicado y se decidió tomar el promedio de los valores obtenidos para el análisis de los resultados.

3.3.1 Cálculo de la conductividad térmica de las probetas

Para determinar la conductividad térmica de las probetas analizadas se requieren algunos datos respecto al aparato experimental (Tabla 3.5), particularmente la cantidad de energía que la parrilla eléctrica, así como algunos datos geométricos de la probeta y la diferencia de temperaturas entre la superficie fría y la caliente.

Tabla 3.5 Datos empleados para el cálculo de la conductividad térmica de las probetas analizadas.

Datos	
Área (m^2)	0.01
$\Delta x (m)$	0.02
$\Delta T (K)$	20
Energía ($kcal$)	3.035

Nota: Estos datos se definen para que los datos que se obtienen para la mezcla de los materiales sean proporcionales y no exista alguna variación. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

En la Tabla 3.6 se presentan los resultados obtenidos en la hoja de cálculo, en los cuales se incluye rapidez del flujo de calor (q) y la conductividad térmica (λ).

Tabla 3.6 Concentrado de datos obtenidos del programa NULL-600® y los resultados del cálculo de la conductividad térmica de las probetas.

Material	Relleno	% de relleno	Tiempo (h)	$Q (w)$	$k (W/m * K)$
Cemento	ABS	0	2.30	1.534	0.153

	Vidrio	10	2.93	1.203	0.120
		20	2.43	1.450	0.145
		0	2.34	1.511	0.151
		10	2.97	1.189	0.119
		20	3.25	1.087	0.158
		30	2.23	1.582	0.158
		40	3.19	1.108	0.111
	ABS	50	1.95	1.814	0.181
		0	1.99	1.776	0.178
		10	2.34	1.508	0.151
Yeso	Vidrio	20	1.96	1.802	0.180
		0	0.199	1.776	0.178
		10	1.56	2.258	0.226
		20	2.01	1.758	0.176
		30	1.94	1.822	0.182
		40	2.01	1.756	0.176
		50	1.92	1.843	0.184

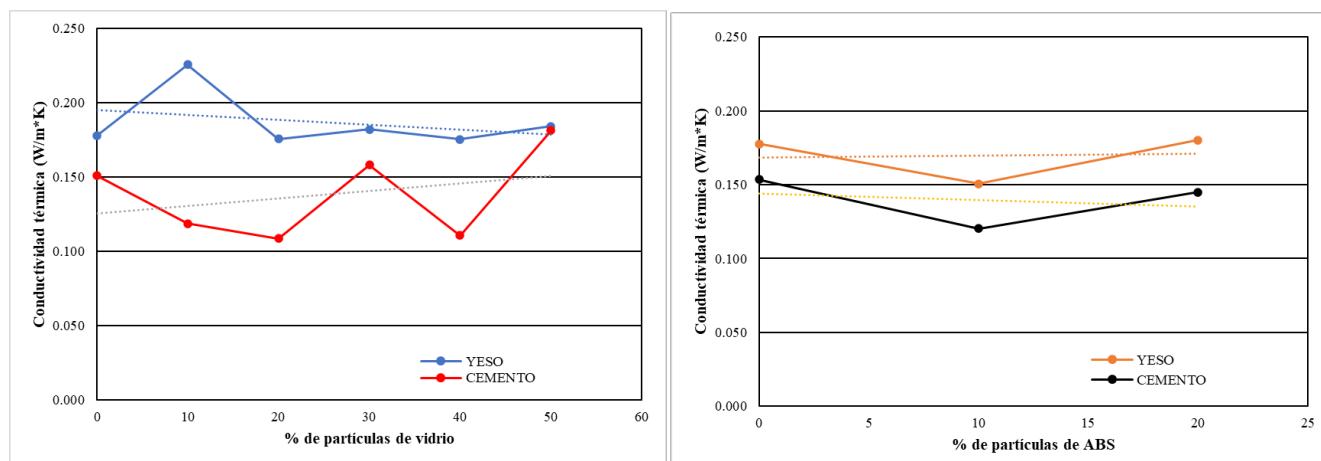
Nota: Resultados de la fase de experimentación mediante la adaptación de la norma ASTM C-177-19. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Gráficamente se presentan en la Figura 3.19 y en ambas gráficas se puede apreciar que el cambio en la conductividad térmica no es significativo y en algunos casos es muy parecido a la conductividad térmica de los materiales sin relleno: 0.153 W/m*K para el cemento y 0.178 W/m*K para el yeso. Bajo este panorama, se puede seleccionar algunas mezclas con las que se puede trabajar mejor, por lo que las mezclas elaboradas con ABS,

quedan descartadas, ya que su manejo presenta dificultades al momento de elaborar las probetas.

En el caso del relleno de vidrio empleado tanto para el yeso como para el cemento, el manejo de la mezcla es adecuado y no presenta problemas en la elaboración de los elementos pasivos. En estos casos, se puede apreciar que, si se emplea 20% de partículas como relleno, la conductividad térmica no se modifica sustancialmente y las mezclas se pueden elaborar sin ningún inconveniente. Por ello, se eligen estas dos mezclas para trabajar, en tanto no surga alguna otra consideración.

Figura 3.19 Gráficas de resultado de conductividad térmica en las mezclas implementadas.



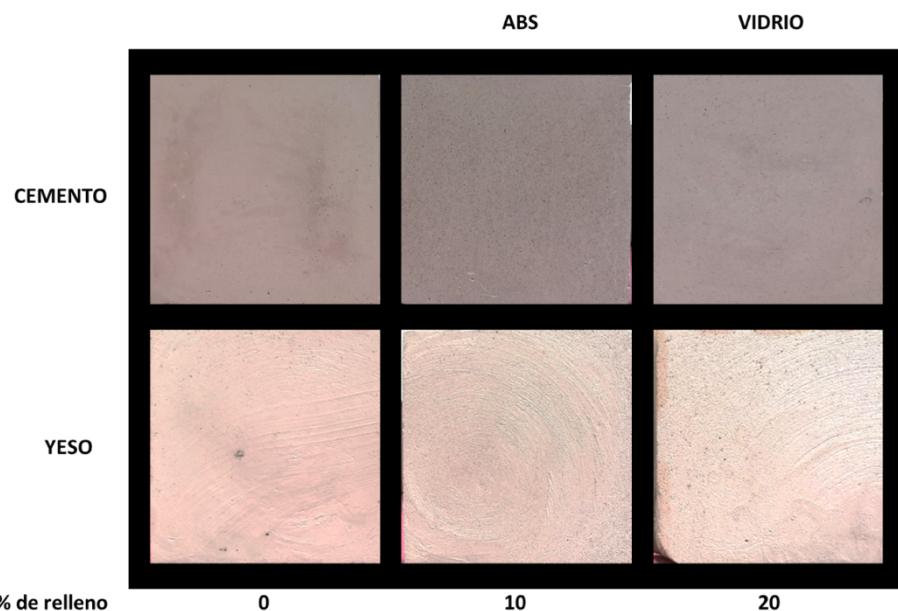
Nota: Conductividad térmica obtenida en la experimentación. (a) Probetas de cemento y yeso con partículas de vidrio como relleno y (b) Probetas de cemento y yeso con partículas de ABS como relleno. Fuente: Elaboración propia (2025).

3.3.2 Porosidad superficial de las probetas.

Si bien se concentrará la atención en las mezclas con vidrio, es importante dejar registro de lo que se obtuvo con ABS. En la Figura 3.20 se presenta la comparación entre las superficies obtenidas tanto de cemento como de yeso sin adición de partículas de relleno y las obtenidas con 10% de ABS y 20% de vidro, respectivamente. En la imagen se puede apreciar que el tono tanto del cemento como del yeso cambia al adicionarle ABS, esto se

debe a que las partículas de este relleno, el ABS, tienen partículas predominantemente oscuras, lo cual hace que las probetas tengan una apariencia más oscura a las que no tienen partículas de relleno. Para el caso de las probetas que contienen vidrio, no tiene gran diferencia en cuanto al color, ya que la mayor parte del vidrio empleado es transparente.

Figura 3.20 Fotografía macroscópica de las mezclas con y sin relleno de material.

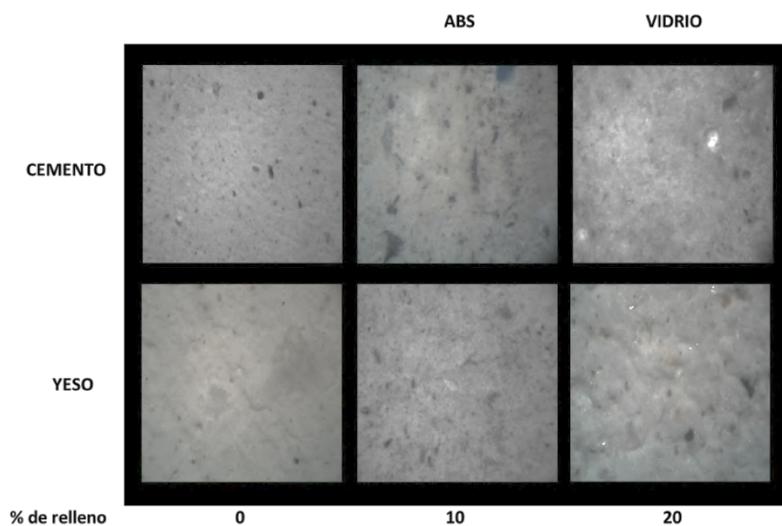


Nota: Probetas de cemento y yeso que contienen 0 % de partículas de relleno (primera columna), con 10% de ABS (segunda columna) y con 20% de vidrio (última columna). Fuente: (Elaboración propia,2025).

En la Figura 3.21 se presenta una serie de fotografías en el mismo orden que la figura anterior, pero en este caso se tomó con un estereoscopio a 40x, con el objetivo de ver la superficie con mejor detalle para identificar los elementos que las conforman. Se aprecia la diferencia que hay entre las probetas de referencia (0% de relleno) y las que contienen ABS (10%) y vidrio (20%). En las que contienen ABS se pueden apreciar algunas partículas de este material y de acuerdo con la escala de la figura, son mucho menores a 1mm. En el caso de las probetas que contienen vidrio, es difícil de distinguir, pero se aprecia cierta

brillantez en la superficie que no se aprecia en las probetas de ABS. También se aprecia la presencia de microporosidad en todas las probetas, la cual puede estar asociada a la forma de mezclado al fabricar las probetas. Sin embargo, por la cantidad encontrada en la superficie, no podría representar un problema para la integridad de la pieza al momento de colocarla para su funcionamiento.

Figura 3.21 Fotografía microscópica a 40x, a 1mm de escala.

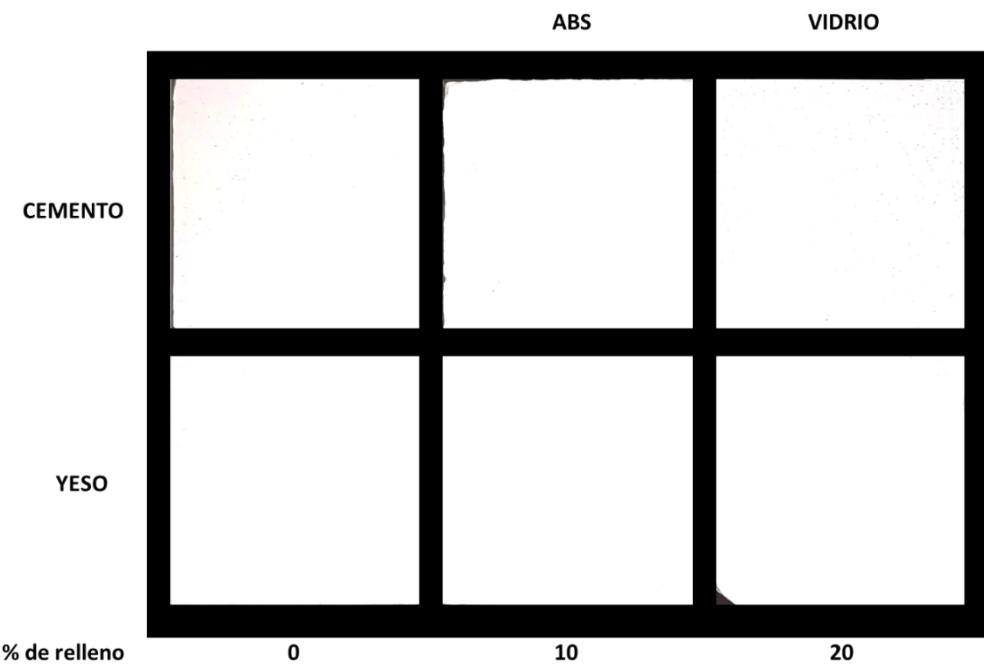


Nota: Probetas de cemento y yeso que contienen 0% de partículas de relleno (primera columna), con 10% de ABS (segunda columna) y con 20% de vidrio (última columna) observadas en estereoscopio a 40x. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

3.4.3 Acabado superficial con una capa de pintura acrílica

En la Figura 3.22 se presentan imágenes de las probetas, que tienen el mismo orden que las dos figuras anteriores, a las cuales se les aplicó una capa de pintura vinil-acrílica con acabado mate diseñada para interiores y exteriores. Se puede apreciar que todas las probetas tienen buen acabado superficial. Es importante hacer notar la facilidad con la que se pintó la superficie. No fue evidente que las probetas absorbieran rápidamente la pintura, por lo que se pudo dar con una mano el acabado que se presenta en las imágenes.

Figura 3.22 Fotografía macroscópica con acabado de pintura blanca.



Nota: Probetas de cemento y yeso que contienen 0 % de partículas de relleno (primera columna), con 10% de ABS (segunda columna) y con 20% de vidrio (última columna) recubiertas por una capa de pintura vinil-acrílica. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

3.4 Conclusiones de la etapa de experimentación

Considerando el análisis realizado tanto a nivel microscópico como macroscópico, así como los resultados obtenidos tras la aplicación de la pintura superficial, se concluye que la mezcla principal para el desarrollo de los elementos modulares será cemento con un 20% de vidrio. Esta decisión se fundamenta en las características requeridas para los elementos, los cuales podrían emplearse tanto en interiores como exteriores en edificaciones que están expuestas a diversas condiciones climáticas.

El cemento es reconocido por su alta resistencia mecánica, durabilidad y capacidad para soportar impactos y cargas, lo que lo convierte en un material ideal para elementos

estructurales y modulares. Además, su comportamiento frente a la humedad es favorable, ya que, cuando está correctamente mezclado y curado, presenta baja absorción de agua, lo que previene daños por ciclos de humedad y sequedad. Por otro lado, el vidrio, al incorporarse en un 20%, aporta propiedades adicionales como mayor resistencia al desgaste y mejora en la estabilidad dimensional, además de contribuir a la reducción de la conductividad térmica, lo que favorece el aislamiento térmico del elemento.

En conjunto, esta mezcla puede garantizar durabilidad frente a los cambios climáticos, incluyendo variaciones de temperatura, humedad y exposición a agentes externos, se esperaría que los elementos modulares mantengan su integridad y funcionalidad a lo largo del tiempo en ambientes exteriores. Por lo tanto, el uso de cemento con vidrio al 20% representa una solución para cumplir con las exigencias de desempeño térmico requeridas en la construcción elementos modulares.

CAPÍTULO 4 ELEMENTO MODULAR

4.1 Ideación

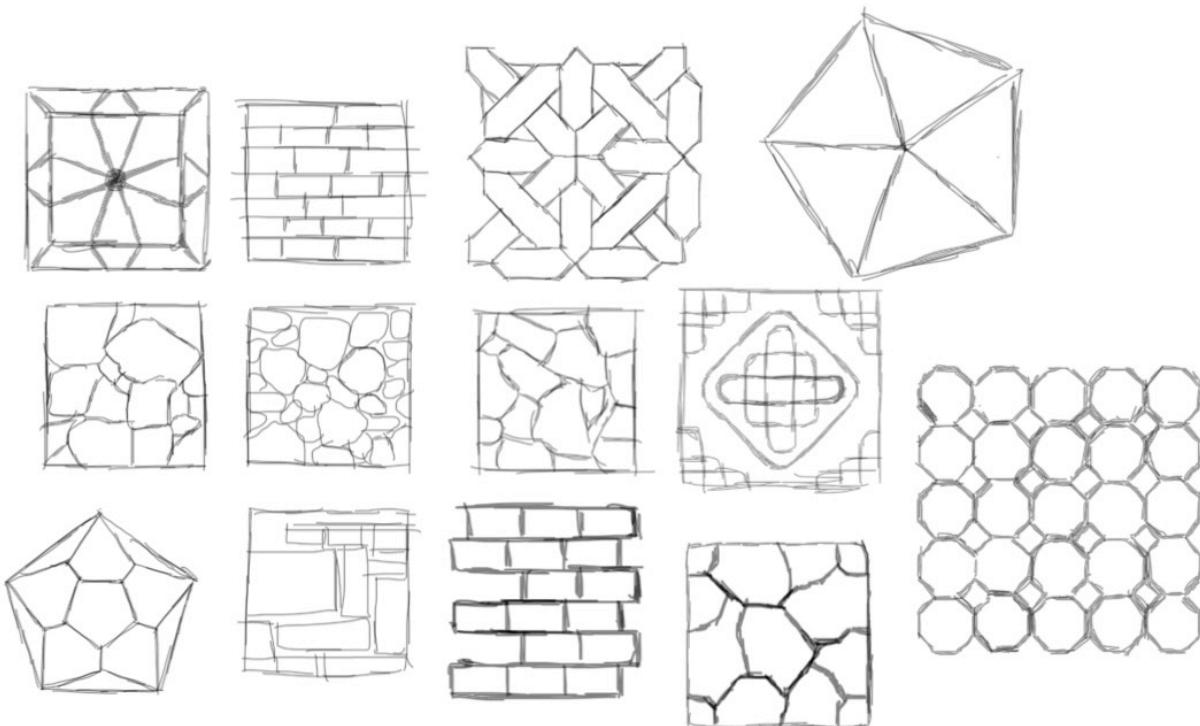
Para el desarrollo de los diseños de los elementos modulares que se presentan en este apartado, se llevó a cabo un exhaustivo diagnóstico visual de diversos paneles convencionales disponibles en el mercado. Este análisis permitió identificar características, ventajas y limitaciones de los sistemas existentes, lo cual sirvió como base para la generación de nuevas propuestas. Asimismo, se consideró la riqueza y diversidad natural del entorno habitado, tomando como referencia elementos como rocas, hojas, materiales tradicionales y figuras geométricas presentes en el paisaje. Esta observación directa facilitó la inspiración para la creación de formas y texturas que armonizan con el contexto ambiental.

Durante la fase de ideación, se emplearon diversas técnicas para fomentar la creatividad y concretar las ideas iniciales. El brainstorming consiste en una sesión de generación libre de ideas, donde se promueve la participación sin críticas para maximizar la cantidad y variedad de propuestas. El sketching, por su parte, es la realización rápida de dibujos o bocetos que permiten visualizar y explorar conceptos de forma gráfica, facilitando la comunicación y el desarrollo de las ideas. Finalmente, la exploración formal implica experimentar con diferentes formas, estructuras y composiciones para identificar soluciones estéticas y funcionales que respondan a los objetivos del diseño. Estas técnicas, combinadas, permiten un proceso creativo dinámico y estructurado que impulsa la innovación en el desarrollo de los elementos modulares.

Los bocetos resultantes, que se ilustran en la Figura 4.1, reflejan la síntesis de estos procesos y constituyen el punto de partida para el desarrollo detallado de los elementos

modulares. De esta manera, se asegura que el diseño no solo responda a criterios estéticos y funcionales, sino que también mantenga una conexión significativa con el entorno natural y cultural.

Figura 4.1 Bocetos de los elementos modulares.



Nota: Representación gráfica de la fase de ideación del diseño de los elementos modulares. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Se llevaron a cabo diversas pruebas de repetición con el fin de corroborar el efecto visual generado por los elementos modulares. Esta etapa resultó fundamental debido a que, para su aplicación en las superficies de los edificios, se empleará un número repetitivo de dichos elementos con el propósito de cubrir la totalidad del área deseada. De esta manera, se garantiza que el diseño mantenga coherencia estética y funcionalidad al replicarse en grandes extensiones.

4.1 Conceptualización del diseño

Para desarrollar el elemento pasivo que se tenga propiedades térmicas similares a los recubrimientos empleados en la industria de la construcción, se empleó la creatividad y la innovación para generar una solución que adicionalmente emplea un material considerado como desecho: el vidrio.

En la Tabla 4.1 se presentan los costos de los materiales que se pueden generar al producir 1 m^2 de elementos modulares de 20 $cm \times 20 cm$ y de un espesor de 2 cm .

Tabla 4.1 Costo de los materiales que se requieren para elaborar 1 m^2 de elementos modulares de 20 $cm \times 20 cm$ y de 2 cm de espesor empleando cemento-20% vidrio y yeso-10% de vidrio.

\$ cemento/kg	\$ agua/l	\$ vidrio/kg	Costo por m^2
4.8	7.8	0	83.2
\$ yeso/kg	\$ agua/l	\$ vidrio/kg	Costo por m^2
3.4	11.2	0	74.0

Nota: El costo unitario del cemento y el yeso, fue obtenido de la página de internet www.homedepot.com en donde se oferta el cemento de 25 kg a \$120 y el yeso de 40 kg a \$125. Precios obtenidos el 12/02/2025. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Es importante mencionar que el costo del vidrio se considera nulo, ya que proviene de material de desecho. Sin embargo, esta valoración no implica que su obtención sea completamente gratuita, sino que el proceso de recolección, selección y preparación del vidrio reciclado requiere una serie de etapas que facilitan su acceso en comparación con materiales prefabricados convencionales. Debido a que el vidrio reciclado no implica costos de extracción ni producción primaria, su disponibilidad es mayor y más accesible para diversas personas, lo que reduce significativamente los gastos asociados en comparación con materiales nuevos. Por lo tanto, aunque los costos no sean medibles

de forma directa, el uso de vidrio reciclado representa una opción económicamente viable y sostenible dentro del proceso constructivo.

Es evidente que el costo de los elementos pasivos sea atractivo, por ello es necesario realizar algunas propuestas para que éstos cumplan con el diseño y estética correctos para que puedan tener mercado como los azulejos.

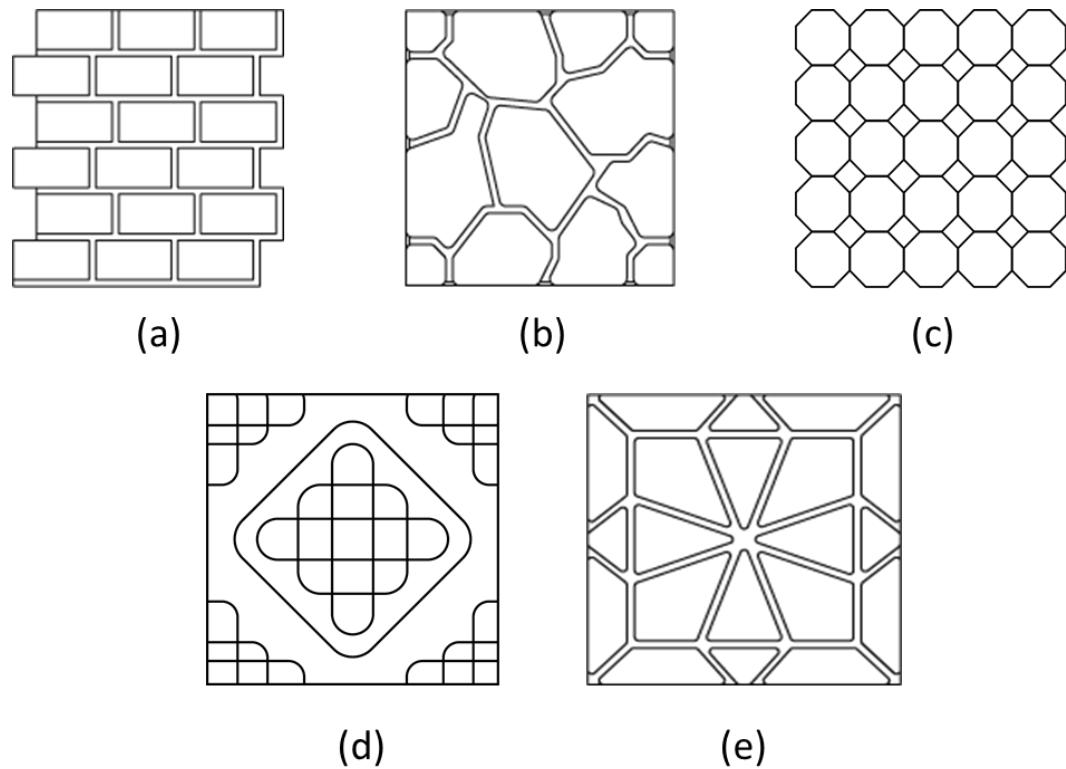
4.2 Evaluación y selección de la mejor alternativa

Se llevaron a cabo múltiples pruebas de repetición sobre los diseños bocetados en la Figura 4.1, con el propósito de evaluar si la repetición de estos elementos modulares en un número determinado podría optimizar su funcionalidad y sostenibilidad dentro del ámbito de la construcción, donde la innovación y la eficiencia son requisitos constantes.

Gracias a estas pruebas, fue posible analizar cinco propuestas diferentes de diseño de elementos modulares pasivos, permitiendo así identificar las opciones más viables para su aplicación práctica.

En la Figura 4.2 se presentan dichas propuestas: la primera (Figura 4.2 a) se inspira en el patrón clásico de apilamiento de bloques utilizado en construcciones tradicionales; las siguientes dos (Figuras 4.2 b y c) se basan en imágenes de caminos empedrados y adoquinados, respectivamente; mientras que las últimas dos (Figuras 4.2 d y e) corresponden a elementos geométricos. Estas pruebas de repetición fueron esenciales para validar y perfeccionar cada diseño modular pasivo.

Figura 4.2 Cinco propuestas de diseño para el elemento modular pasivo.

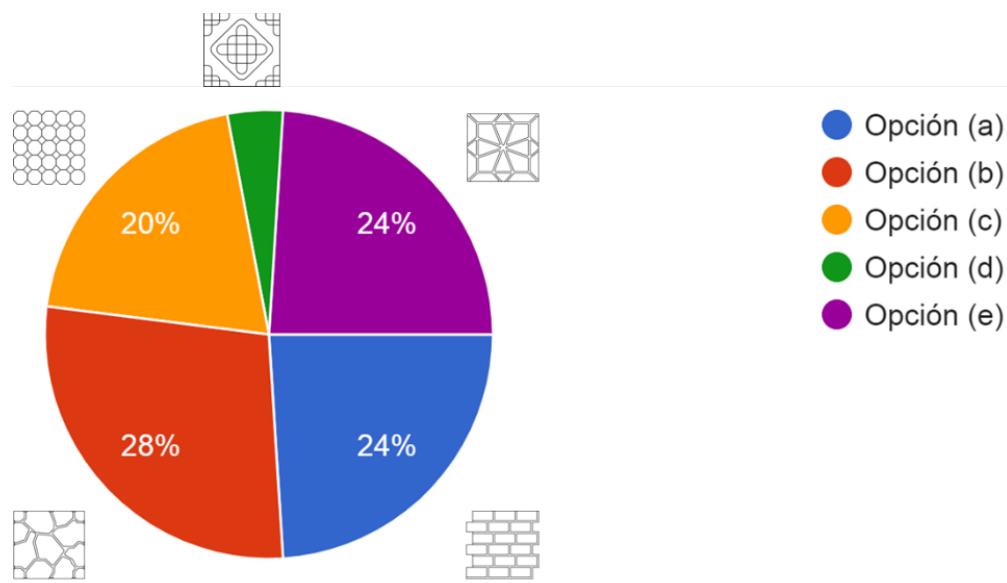


Nota: Diseños seleccionados para la elaboración de los elementos modulares. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

4.2.3 Selección de tres diseños de elementos modular

De las propuestas anteriores, se seleccionaron tres mediante una encuesta realizada en redes sociales. En la Figura 4.3 se muestran los resultados obtenidos, en los cuales se solicitó a los participantes lo siguiente: “La siguiente es una encuesta para evaluar cinco elementos con patrones para decoración de interiores. Se agradece que seleccionen el de su preferencia.” Para facilitar la identificación, a cada opción se le asignó la letra correspondiente según la Figura 4.2.

Figura 4.3 Resultados de la encuesta en redes sociales sobre la preferencia de los 5 diseños propuestos en este trabajo de tesis.



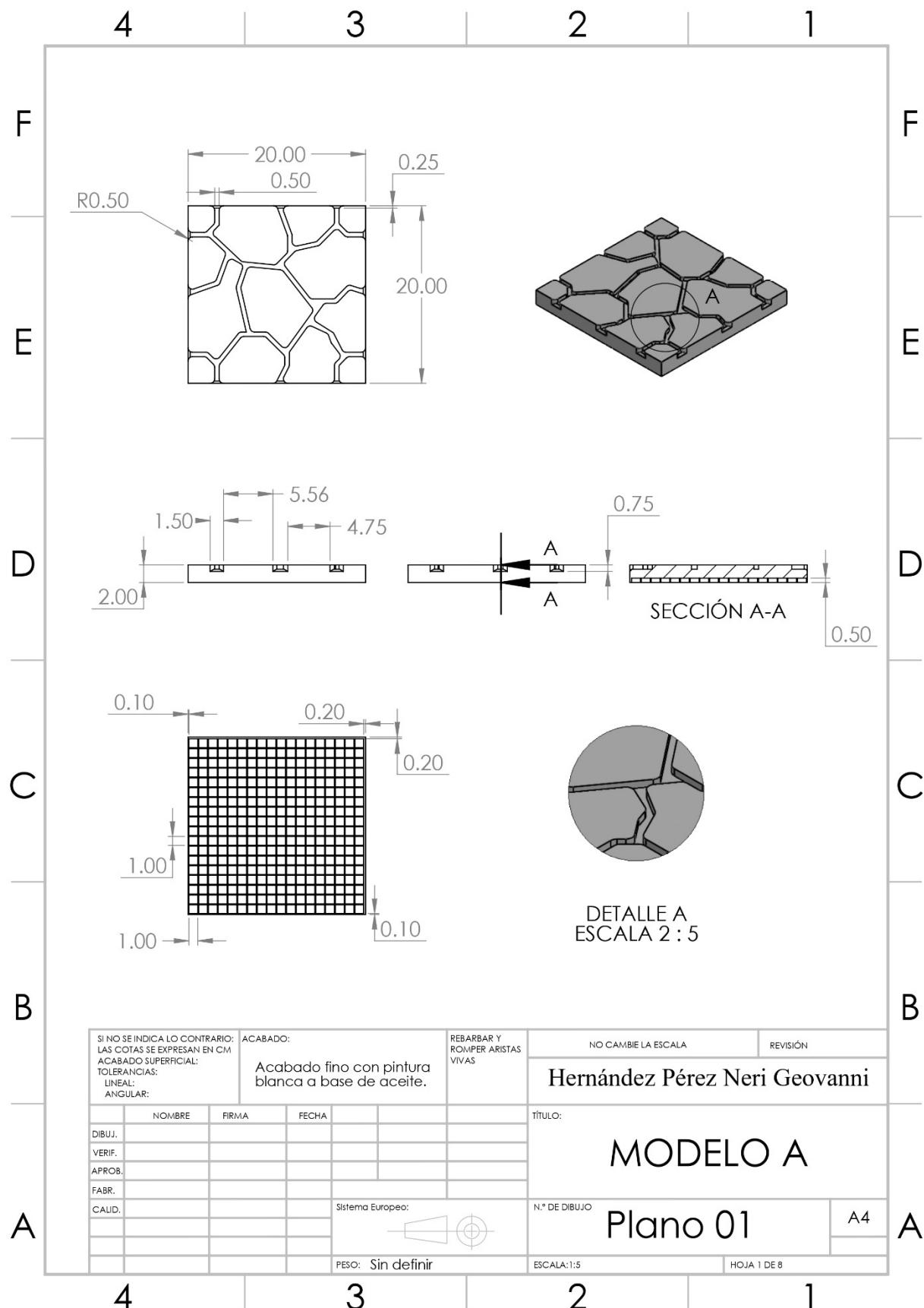
Nota: Encuesta realizada en formulario de Google y lanzada a redes sociales, donde participaron 100 personas.

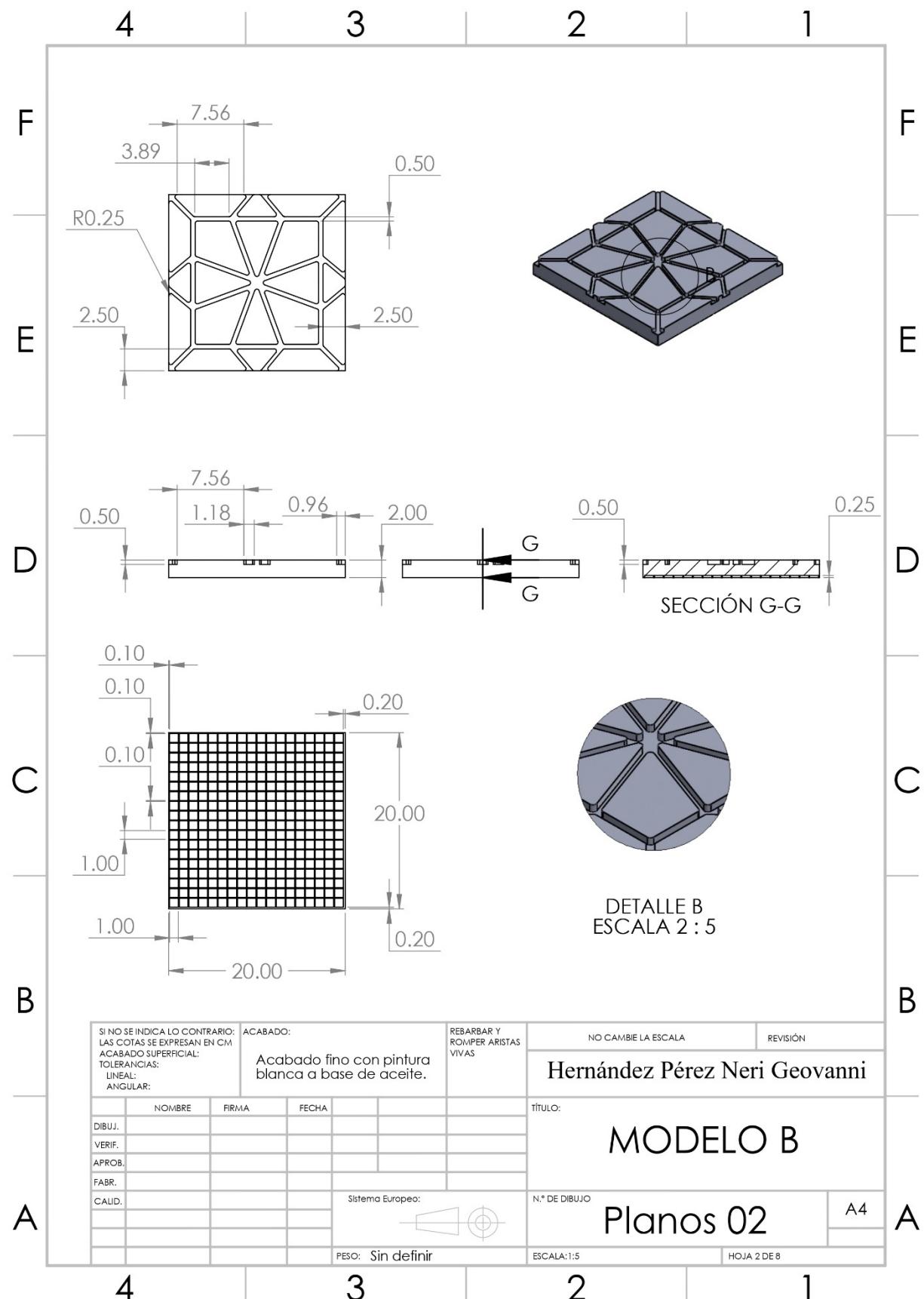
La opción que simula un patrón de empedrado fue la más popular (b) con 28.0 %, seguida de la opción (c) y (e), ambas con 24.0 % de las preferencias. Lo anterior dio la pauta para concentrar la atención a las tres propuestas más populares y desarrollarlas hasta la obtención de las piezas vaciadas.

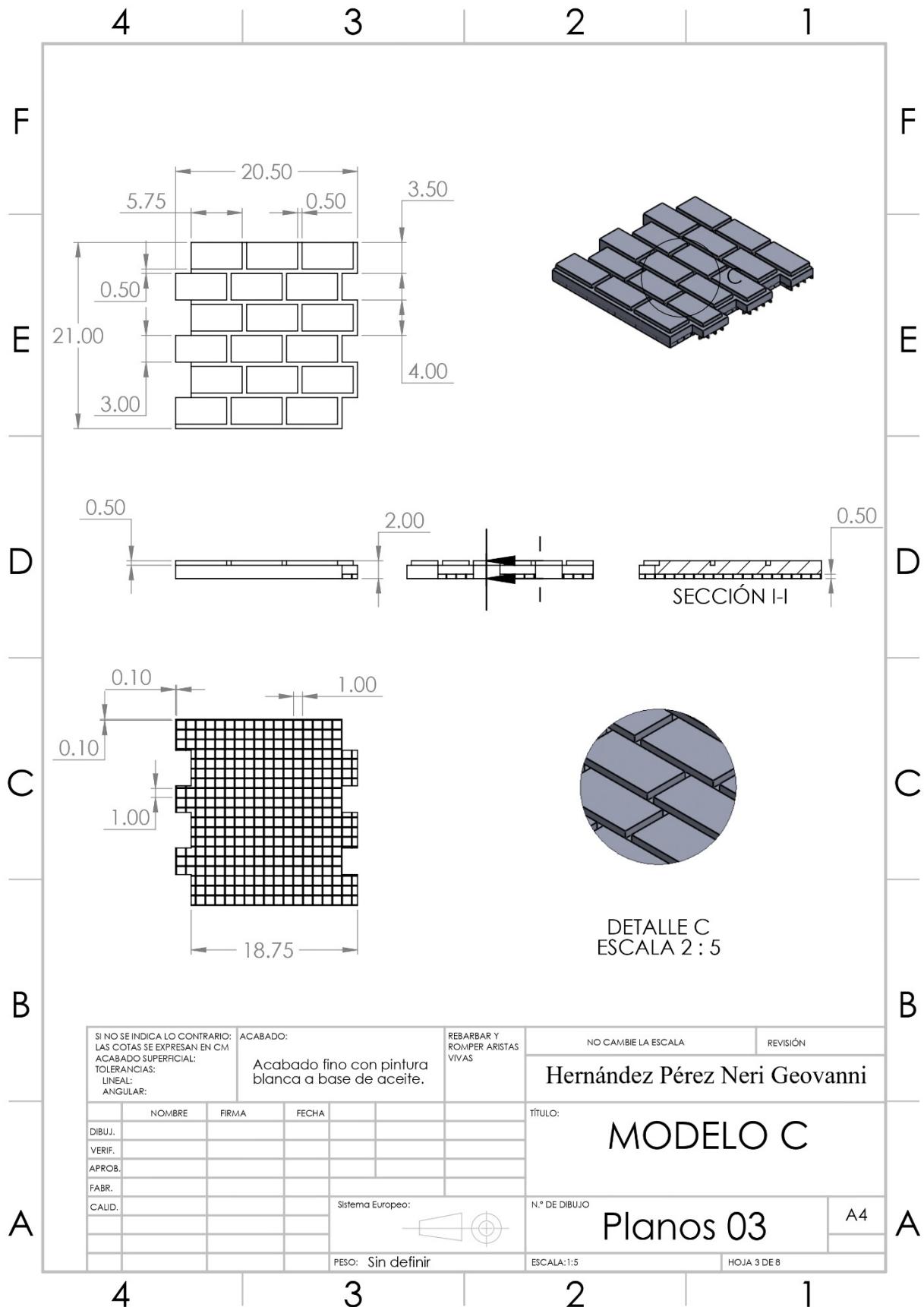
Tomando como referencia los moldes resultantes, se elaboran los planos industriales que serán fundamentales para la fabricación de los moldes destinados al vaciado de las mezclas. Es importante destacar que estos planos han sido diseñados y desarrollados siguiendo rigurosamente las normas del sistema europeo, lo que garantiza tanto la precisión como la calidad en todo el proceso de fabricación. Asimismo, estos planos incluyen detalles técnicos esenciales que facilitan una producción eficiente y estandarizada de los componentes modulares, asegurando su funcionalidad y durabilidad en aplicaciones industriales.

El sistema europeo, basado en el Sistema Internacional de Unidades (SI), utiliza principalmente unidades métricas como milímetros y centímetros para la medición y diseño. Este sistema es ampliamente reconocido por su precisión y estandarización, lo que permite una comunicación clara y uniforme entre los distintos actores involucrados en el proceso industrial, desde el diseño hasta la manufactura y el control de calidad. En el contexto del proyecto, la aplicación del sistema europeo en la elaboración de planos industriales asegura que los elementos modulares sean fabricados con exactitud, facilitando la interoperabilidad y el cumplimiento de normativas técnicas internacionales.

Entre las normativas europeas más relevantes para este tipo de proyectos se encuentran las normas ISO (Organización Internacional de Normalización), que establecen criterios para la calidad y especificaciones técnicas; las normas EN (Normas Europeas), que regulan aspectos específicos de diseño y fabricación; y las directrices de la CE (Conformidad Europea), que certifican que los productos cumplen con los requisitos de seguridad y medioambientales. La integración de estas normativas en el diseño y elaboración de los planos contribuye a optimizar la producción y a garantizar que los productos finales cumplan con los estándares de calidad requeridos para su uso en diversas aplicaciones industriales (Sistema Americano/Europeo, 2025).



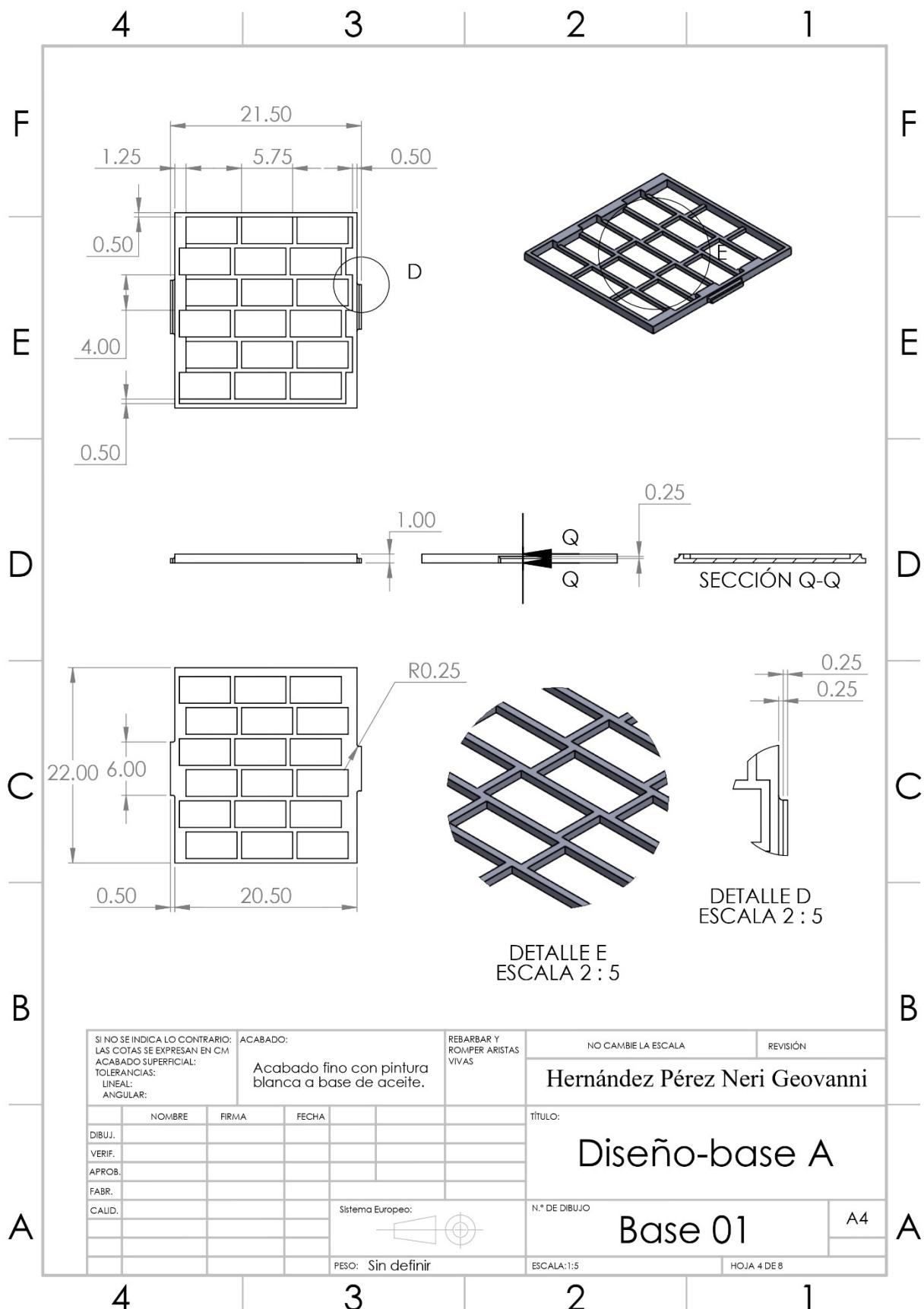


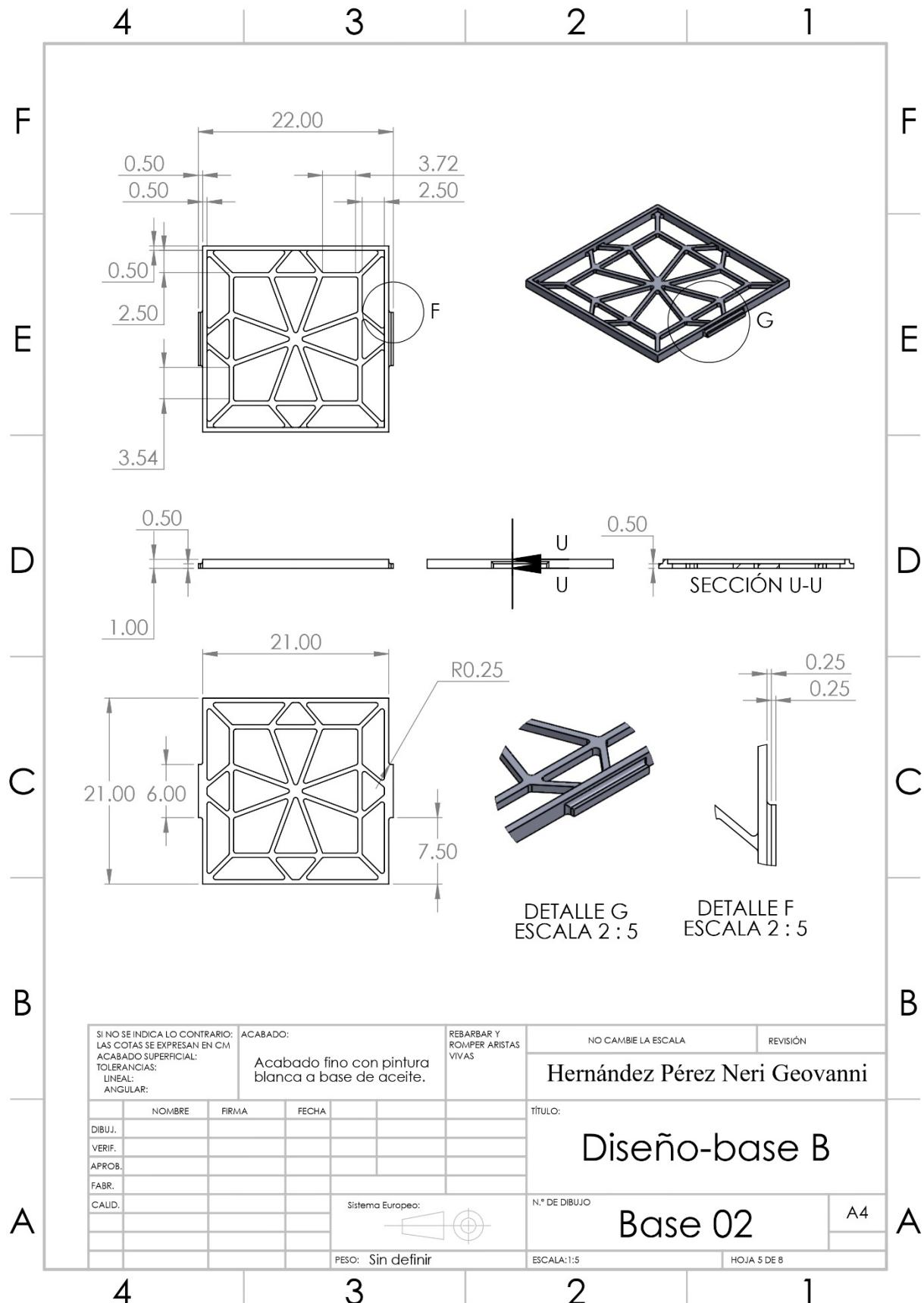


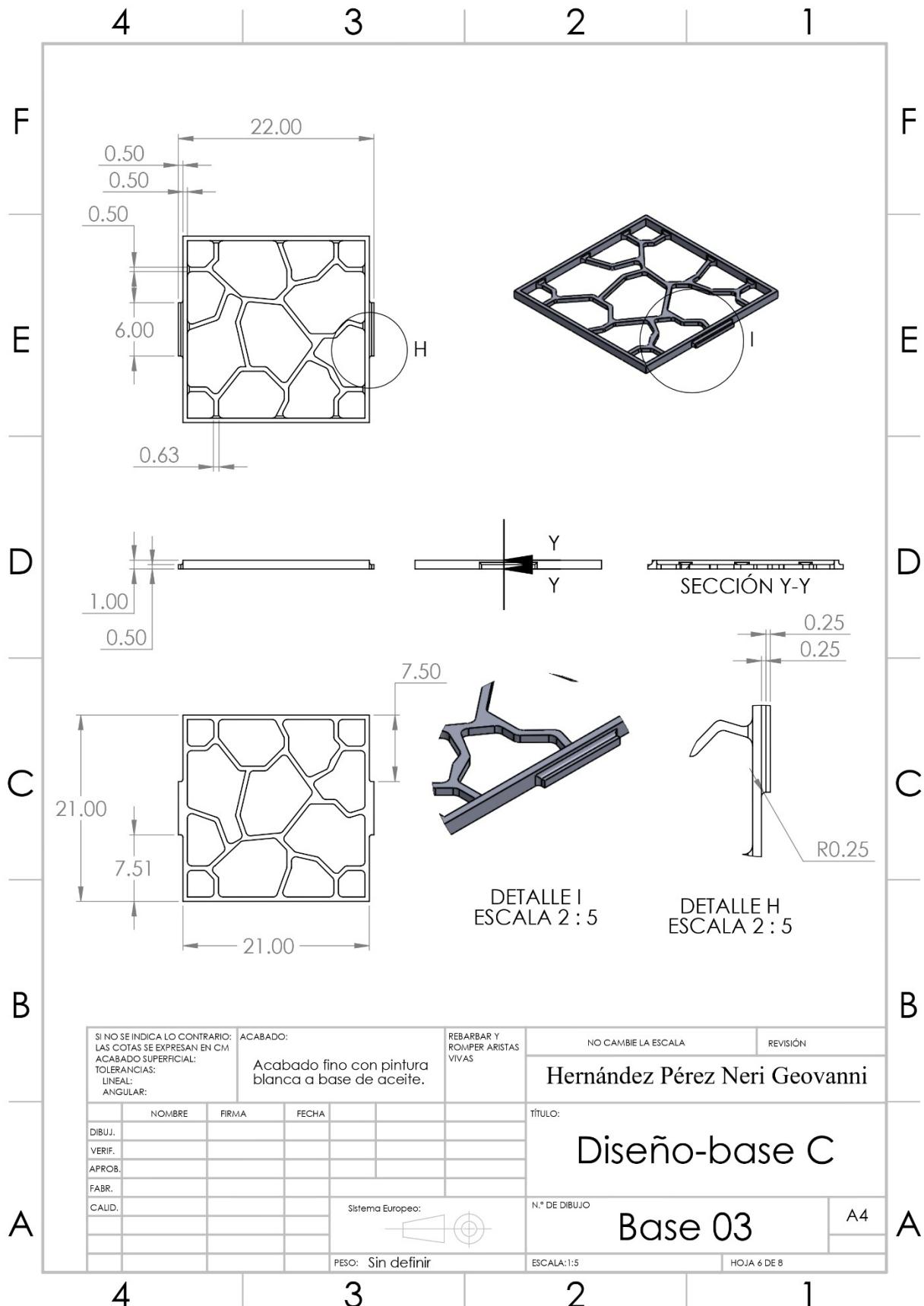
4.3 Moldes

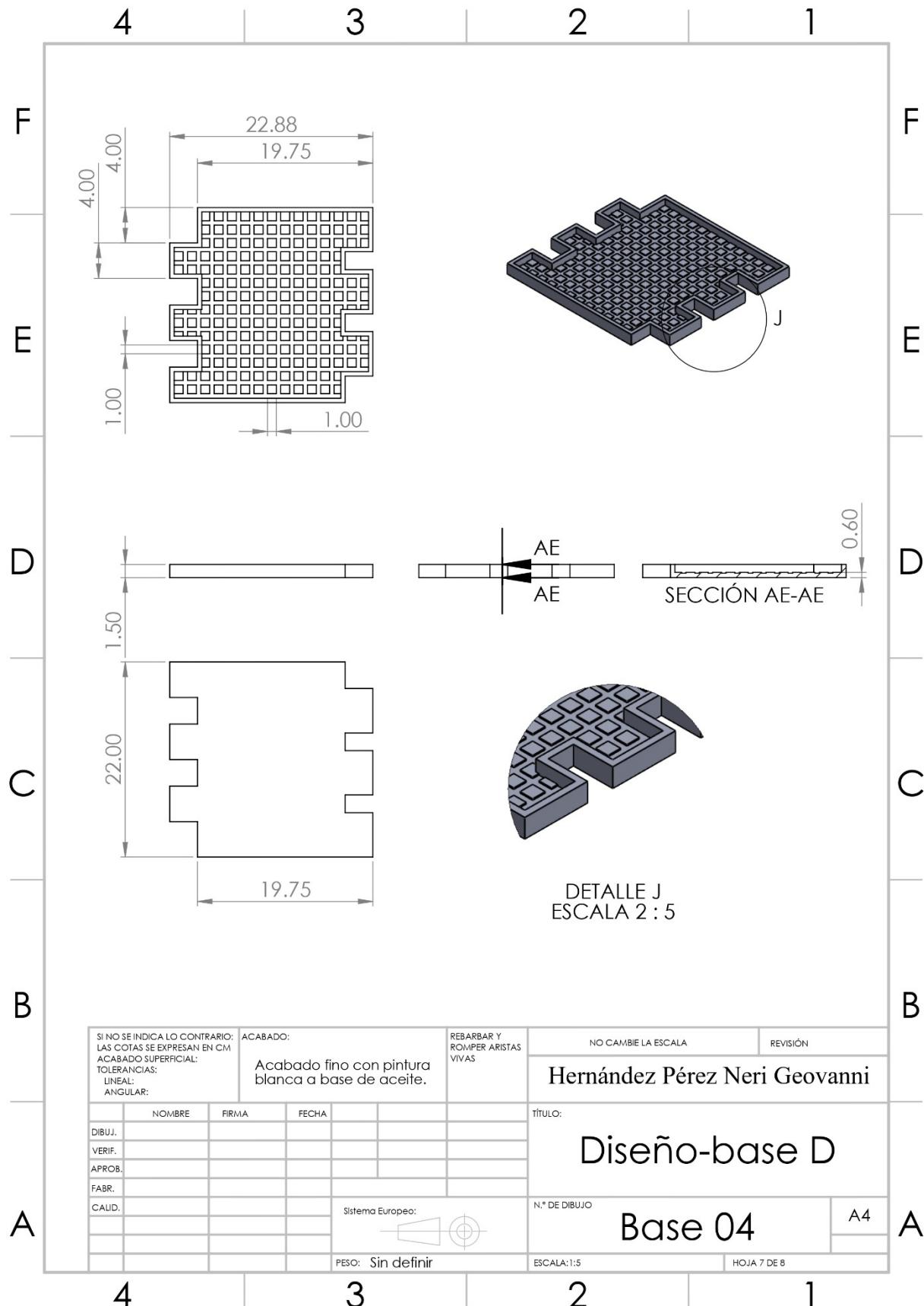
Con el diseño conceptual definido, se realiza el análisis industrial para la elaboración del molde, tomando como base las medidas de los elementos modulares. Estos elementos fueron diseñados en el programa SolidWorks, donde se especificaron con precisión las dimensiones necesarias para su fabricación. Para la elaboración de los planos se utilizó el sistema europeo, que emplea unidades métricas como milímetros y centímetros, ampliamente reconocido por su precisión y estandarización en la industria

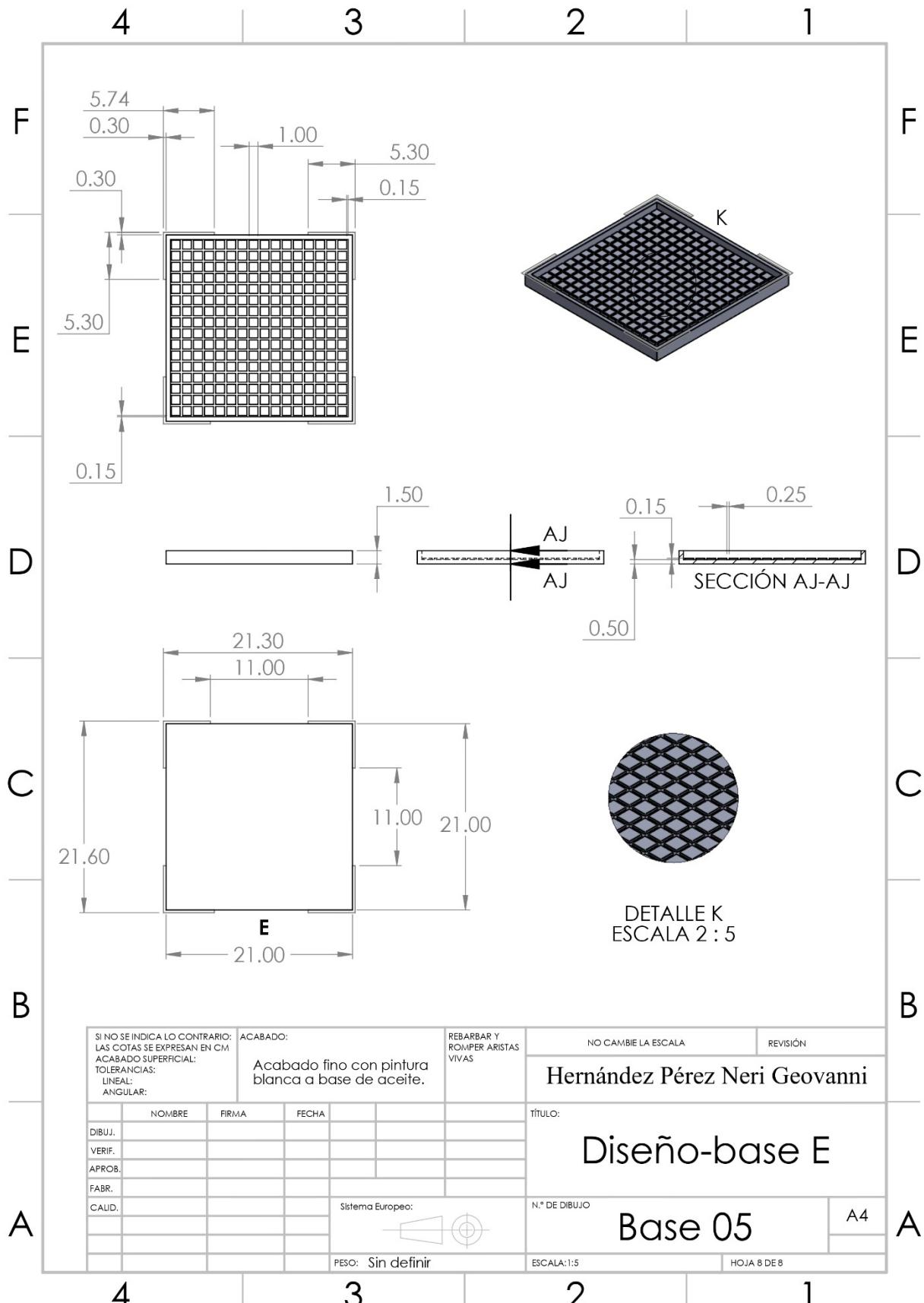
En particular, para la parte inferior del panel fue necesario diseñar una segunda pieza con el fin de alcanzar el espesor requerido de 2 cm. Esta pieza incluye un grabado que, al momento del vaciado, genera un relieve que emula el diseño de los azulejos, además de mejorar el agarre al momento de colocarla en la pared. Esta solución técnica garantiza tanto la funcionalidad como la estética del producto final, optimizando su desempeño en aplicaciones reales.











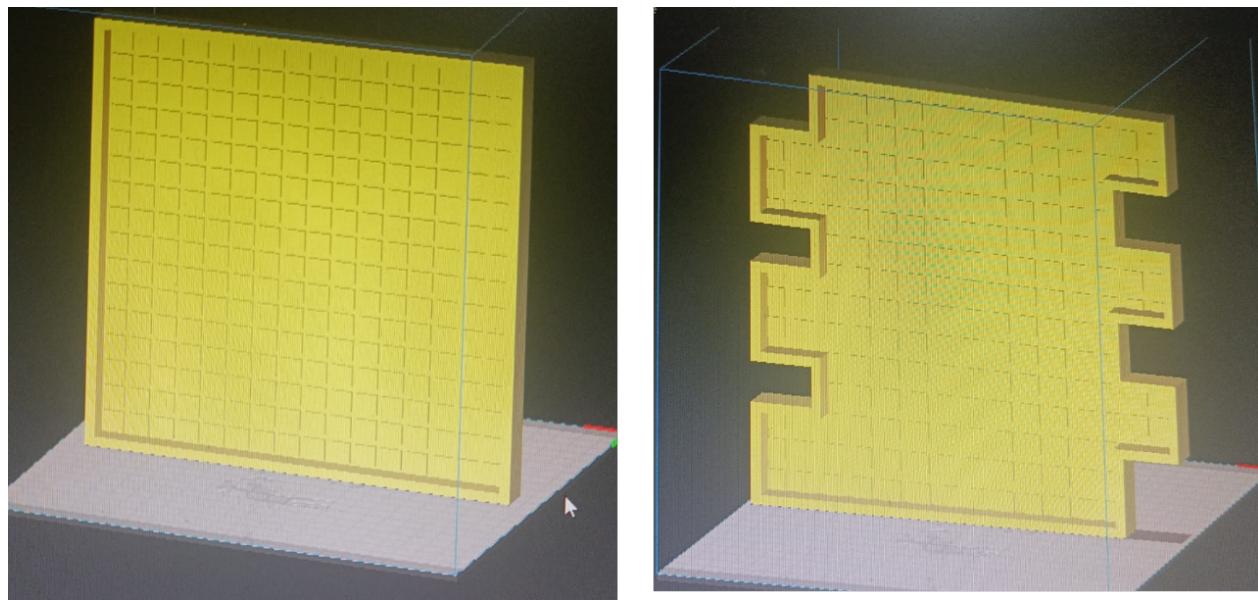
4.4 Impresión 3D

Se realizaron las impresiones 3D de los modelos seleccionados mediante la utilización del software Ultimaker CURA, el cual genera un código de control numérico, esto debido a que trabaja con cualquier otra CNC. La impresión de los modelos se realizó a base de polímeros y utilizando la exención de exportación del archivo es STL (Standard Triangle Language), el cual es un formato estándar para tecnologías aditivas.

Dentro del programa de laminación es importante especificar los parámetros como la altura de la capa, la densidad del relleno, la temperatura de impresión y la posición de la pieza a la hora de imprimir, además de la velocidad de impresión y soportes si el modelo lo requiere. Para culminar con los preparativos y llevar a impresión las piezas se exporta el archivo con extensión G-code, este formato convierte las indicaciones dadas en el software en lenguaje de programación de código numérico que la impresora puede procesar (Figura 4.4). Durante el proceso de impresión es necesario visualizar el desgaste del filamento, debido a que la falta de este material extiende el tiempo y proceso de impresión.

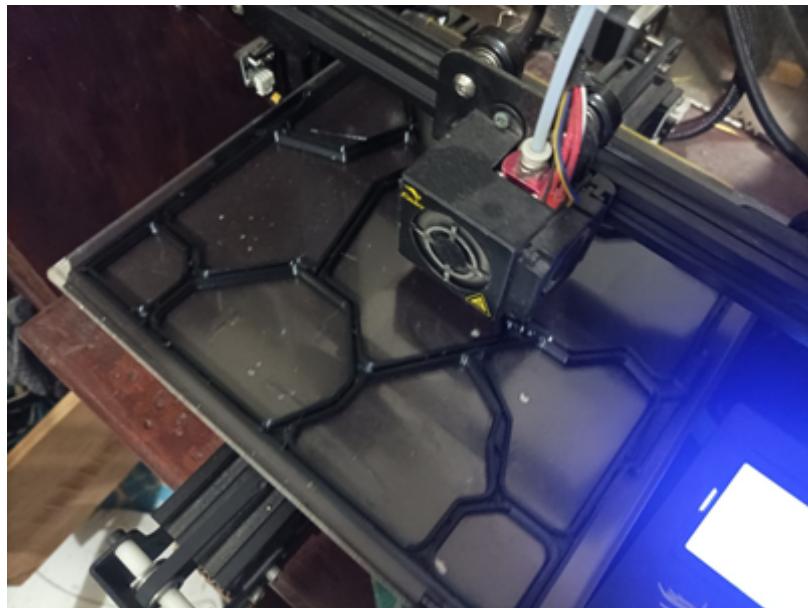
En la Figura 4.5 se muestra el proceso de impresión de uno de los modelos seleccionados. Una vez concluida la impresión, se realiza la limpieza de las virutas del molde para que tenga una superficie completamente lisa.

Figura 4.4 imágenes del archivo generado en software Ultimaker CURA.



Nota: Las bases se ajustaron para que en la impresión tener menor desgaste de material y entraran en la cama de impresión. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Figura 4.5 Impresión 3D del molde superior.



Nota: Proceso de impresión del molde para la parte negativa para el diseño del elemento modular. Fuente:(Elaboración propia 2025).

En la Figura 4.6 se presentan los moldes impresos terminados y listos para el vaciado del material, de acuerdo con las cantidades calculadas como se presentó en el Capítulo 3 de

este trabajo de tesis. Para que el molde no se adhiera a la pieza, fue necesario colocarle cinta de propileno con adhesivo de caucho sintético.

Figura 4.6 Moldes impresos terminados, recubiertos de cinta de propileno y listos para el vaciado.



Nota: Para el facilitar el desmolde del elemento modular se utilizó una capa de Nylon transparente y así evitar el daño de la pieza posterior al fraguado. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

4.5 Elaboración de las piezas

Se realizó la elaboración de los modulares pasivos a base de cemento – 10% vidrio, las cuales se muestran en la Figura 4.7. Es importante mencionar que en este caso se les colocó un recubrimiento de pintura vinílica para interiores color blanco: finalmente el usuario puede hacer la decoración en cuanto a colores que vaya con el estilo de su vivienda. Como se presentó en el capítulo anterior, cualquiera de las mezclas aquí presentadas tuvo un acabado impecable con una mano de pintura vinílica.

Figura 4.7 Piezas terminadas con un recubrimiento de pintura vinílica.



Nota: Estas fotografías con piezas son realizadas de la mezcla resultante del yeso y cemento con 20% de vidrio. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

4.6 Propuesta de aplicación

Finalmente, se presentan una serie de perspectivas tridimensionales (renders) que permiten visualizar la aplicación de los elementos modulares pasivos propuestos en este trabajo de tesis. Estas imágenes facilitan la comprensión del diseño y su integración tanto en espacios interiores como exteriores de una casa habitación.

En las Figuras 4.8 se muestra una sala de estar moderna y elegante desde diferentes ángulos. En este espacio, una pared ha sido revestida con un innovador material sostenible, elaborado a partir de desechos de vidrio combinados con cemento. Este revestimiento no solo aporta un diseño sofisticado y minimalista que realza el ambiente, sino que también conserva propiedades térmicas similares a las de materiales tradicionales. Además, su superficie es completamente personalizable, permitiendo al usuario elegir el color que mejor se adapte a su estilo y preferencias.

Figura 4.8 Render de una sala de estar decorada con los elementos generados en esta tesis.



Nota: Implementación del diseño de un elemento modular pasivo en la sala de una casa habitación. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

La textura sutil y el acabado refinado del material logran un equilibrio ideal entre sostenibilidad, funcionalidad y estética contemporánea. Lo cual se puede contemplar en la Figura 4.9 se exhibe otra aplicación del elemento modular pasivo, esta vez en un espacio que conecta dos áreas de la casa. El objetivo es transformar un simple pasillo en un ambiente sofisticado y atractivo, donde el usuario pueda combinar diferentes elementos que hagan de la transición entre espacios una experiencia visual y funcionalmente enriquecedora.

Estas representaciones tridimensionales son esenciales para evaluar la viabilidad y el impacto visual de los elementos modulares en distintos contextos arquitectónicos, facilitando así su implementación en proyectos reales.

Figura 4.9 Transición entre dos espacios de la casa decorado con elemento modular pasivo de formas geométricas.



Nota: Aplicación y colocación de un elemento modular pasivo en el pasillo de una casa habitación. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Por otro lado, la Figura 4.10 muestra claramente cómo se aplica el elemento modular en el exterior de la vivienda. Esta imagen permite entender de manera sencilla cómo el diseño modular se integra de forma armoniosa en la fachada, no solo mejorando la apariencia estética, sino también aportando beneficios prácticos al espacio exterior. En concreto, este diseño ayuda a cubrir de manera más directa la pared que está expuesta al sol, ya que los rayos solares inciden directamente sobre el módulo. Como resultado, se logra reducir de forma más efectiva la temperatura interior de la casa, haciendo que el ambiente dentro del hogar sea más fresco y confortable.

Figura 4.10 Render del exterior de una casa habitación expuesta a la luz solar.



Nota: Implementación del diseño de un elemento modular pasivo para la reducción de temperatura del interior de una casa habitación, esto en el exterior de la vivienda. Fuente: (Elaboración propia, 2025).

Conclusiones

Se ha demostrado que es posible emplear partículas de vidrio o ABS como relleno en mezclas elaboradas con cemento y yeso, lo que amplía las opciones de materiales para este tipo de composiciones. En este sentido, las pruebas realizadas revelaron que las mezclas con vidrio como relleno presentan una mejor trabajabilidad y un acabado superior en comparación con aquellas que utilizan ABS, lo que sugiere una preferencia técnica hacia el vidrio.

Por otro lado, los valores de conductividad térmica obtenidos en las mezclas con relleno resultaron ser iguales o inferiores a los materiales base analizados, lo que indica que la incorporación de rellenos es una estrategia conveniente que no altera sustancialmente las propiedades térmicas de los materiales. Específicamente, el uso de un 20 % de vidrio en mezclas con cemento tiene una conductividad térmica a aproximadamente 0.1 W/m*K, en contraste con 0.15 W/m*K de la mezcla sin relleno; esta diferencia abona a la restricción del paso de calor.

En cuanto al yeso, la adición de un 20 % de relleno de vidrio mantiene la conductividad térmica en valores similares a los del yeso sin relleno, alrededor de 0.178 W/m*K, lo que sugiere que el vidrio no afecta esta propiedad en la mezcla. Esta condición en la conductividad térmica permite conservar las características térmicas del yeso mientras se aprovechan las ventajas del relleno.

Además, la incorporación de vidrio en un rango del 10 al 20 % contribuye a la reducción del costo del elemento modular pasivo, dado que el vidrio no tiene costo comercial. Esta práctica no solo es económica, sino que también aporta un valor ambiental al reutilizar

un residuo que, de otro modo, terminaría en rellenos sanitarios, promoviendo así una gestión más sostenible de los desechos. Las superficies obtenidas a partir de las mezclas de vidrio con yeso o cemento resultan adecuadas para la aplicación de una capa de pintura vinílica para interiores, lo que facilita su acabado y mejora su apariencia estética. Esta característica amplía las posibilidades de uso y personalización de los elementos fabricados.

La investigación alcanzó el objetivo general al evaluar las mezclas cemento-vidrio, yeso-vidrio, cemento-ABS y yeso-ABS mediante la adaptación de la norma ASTM-C177-19, y al diseñar un elemento modular como aislante pasivo para la edificación. Se cumplieron los objetivos específicos: se establecieron los porcentajes de agregado basados en el estado del arte y ensayos preliminares; se determinó la transferencia de calor mediante la adaptación de la normativa; se analizaron los acabados a nivel macroscópico y microscópico; y se propusieron diseños de elementos pasivos modulares.

Asimismo, se lograron las metas propuestas: se desarrollaron los cálculos de proporciones volumétricas, se elaboraron probetas para ensayos térmicos, se verificó porosidad y acabado en microscopía, se generaron bocetos conceptuales, se fabricó un molde y se construyó el elemento modular con la mezcla de mejor comportamiento térmico. La realización de esta tesis consolidó y completó la formación como ingeniero en diseño, fortaleciendo competencias técnicas, experimentales y creativas, y culminó en el diseño de un elemento modular pasivo versátil, adaptable a distintos estilos y gustos mediante una amplia gama de colores, lo que potencia su aceptación y funcionalidad en diversos contextos constructivos y decorativos.

Referencias

- Askeland, D., & Wright, W. (2016). Ciencias e Ingeniería de Materiales. In D. Askeland, & W. Wright, *Ciencias e Ingeniería de Materiales* (p. 882). Santa Fe, New Mexico: Cengage Learning.
- ASTM. (2023, Febrero 23). *Método de Prueba Estándar para Mediciones de Flujo de Calor de Estado Estacionario y Propiedades de Transmisión Térmica por Medios del Aparato de Placa Caliente Protegida*. Retrieved from ASTM C177-19: <https://store.astm.org/c0177-19.html>
- Bermejo Urzúa, K. K. (2021). Aplicación de aislantes térmicos en viviendas de interés social a base de block en Aguascalientes. *Universidad autónoma de Aguascalientes*, 132.
- Castillo Pazmiño, M. (2010). Investigación de la utilización del vidrio molido como material de construcción y técnicas constructivas. Retrieved from World Wildlife Fund.
- Duda, W. H. (2021). Manual tecnológico del cemento. Editorial Reverté, S. A. ISBN E-book:978-84-291-9218-6, 348.
- Elizondo, M., Ojeda, J., Gomez, A., Esparza, C., & Cabrera, A. (2015). Evaluación térmica de materiales compuestos como aislante térmico para casas habitación en el Estado de Colima a partir de bambú y tierra curuda. *Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura y Diseño*, 9.

Fundación Heinrich Boll. (2020). El atlas del plástico. In *Primera edición* (Primera Edición ed., p. 58). México: Creative commons.

Gallala, W., Mohamed Khater, H. M., Regaya, M. B., & Essghaier Gaied, M. (2020). Production of low-cost biocomposite made of palm fibers waste and gypsum plaster. *Revista internacional de contaminación ambiental*. Ciudad de México: Epub 04.

Gallegos Acevedo, P. M., & Espinoza Cuadra, J. (2019). Centro de acopio de residuos de aparato eléctricos/electrónicos del instituto de minería. *Temas de ciencia y tecnología*, 55-60.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la Investigación: las rutas cuantitativas y mixta. In I. 978-1-4562-6096-5. Ciudad de México, México: Mc. Graw Hill Education.

Holguino Huarza, A., Olivera Marocho, L., & Escobar Copa, K. U. (2018). Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de calor en los andes del Perú. *Revista de investigación Altoandinas*, 12.

Hughes, L. (2000). Biological consequences of global warning: is the signal already apparent? *Trends Ecol. Evol.* 15(2), 56-61.

INEGI. (2017). *Cantidad de Vidrio en los residuos sólidos urbanos a nivel nacional*.

Retrieved from INEGI:
<https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?t=82&ag=#tabMCcollapse-Indicadores>

Meteostat. (2024, Febrero 22). *Temperaturas registradas durante el 2023*. Retrieved from
<https://meteostat.net/es/station/76773?t=2023-01-01/2023-12-31>

Morales Ortega, L. (2017). *El vidrio en la edificación: propiedades, aplicaciones y estudios de fracturas en casos reales*. Retrieved from Tesis de grado en Arquitectura Técnica y Edificación. Universidad Politécnica de Cataluña.:
<http://hdl.handle.net/2117/116414>

Munari, B. (2016). Diseño y Comunicación visual. Contribución a una metodología didáctica. In I. 978-84-252-2785-1. México: Editorial Gustavo Gill.

Netzsch. (2025, Enero 17). *NETZSCH Proven excellence*. Retrieved from <https://analyzing-testing.netzsch.com/es/know-how/glosario/conductividad-termica>

Secretaría de Economía. (2022, Enero 01). *Estudio de la cadena productiva del yeso. Dirección General de Desarrollo Minero, Gobierno de México*. Retrieved from
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/692299/Cadena_Productiva_Yeso_2021.pdf

Secretaría de Economía. (2022). Estudio de la cadena productividad del yeso. In D. G. Minero, *Gobierno de México*. (p. 27). México.

Sistema Americano/Europeo. (2025, 02 12). *lanubeartistica*. Retrieved from
https://www.lanubeartistica.es/Dibujo_Tecnico_Primero/UD5/DT1_U5_T1_Contenidos_v02/32_sistema_europeo.html

La presente tesis titulada Evaluación de las Mezclas cemento-vidrio, yeso-vidrio, cemento-ABS y yeso-ABS para el diseño de un elemento modular como aislante pasivo para edificaciones fue elaborada por Neri Geovanni Hernández Pérez como requisito parcial para obtener el grado de **Licenciado en Ingeniería en Diseño** en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Este trabajo fue desarrollado bajo la dirección de la Dr. Patricia Gallegos Acevedo.

Se reconoce el apoyo y la colaboración de todas las personas e instituciones que contribuyeron a la realización de esta investigación.

Huajuapan de León, Oaxaca. 2025