



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

Diseño de muro divisorio con material plástico reciclado destinado a
espacios interiores

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN ARQUITECTURA
Campo de Conocimiento de Tecnologías

PRESENTA:
Arq. Cynthia Alejandra Rodríguez Hernández

TUTOR PRINCIPAL

Dr. Fernando Néstor García Castillo
Facultad de Estudios Superiores Aragón

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

Dr. Jacinto Cortés Pérez
Facultad de Estudios Superiores Aragón
Dra. Jarumi Aguilar Guggembuhl
Tecnológico de Estudios Superiores de Chalco

SINODOS

Mtro. Israel Garduño Bonilla
Facultad de Estudios Superiores Aragón
Mtra. Erika Marlene Cortés López
Facultad de arquitectura UNAM

Cd. Mx. Febrero 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

CAMPO DE CONOCIMIENTO DE TECNOLOGÍAS

Diseño de muro divisorio con material plástico reciclado destinado a espacios interiores

Que para optar por el grado de maestro en arquitectura

Presenta:

Cynthia Alejandra Rodríguez Hernández

Tutor de tesis: Dr. Fernando Néstor García Castillo

Fecha: 06/02/2023



FACULTAD DE
ARQUITECTURA



INSTITUTO
DE INVESTIGACIONES
HISTÓRICAS



Agradecimientos y dedicatorias

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a CONACYT por haberme dado la oportunidad de formar parte de su programa y así desarrollar el presente trabajo de investigación. Así mismo agradezco a mis profesores que en una etapa tan sui géneris como lo fue la pandemia por el SARS COVID 19 me apoyaron en la guía y conclusión del presente trabajo, demostrando siempre su vocación ante momentos difíciles.

Pero un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales. Gracias a mi familia, a mis padres y a mis hermanas, porque con ellos compartí una infancia feliz, que guardo en el recuerdo y es un aliento para seguir adelante. Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión, gracias por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me han concedido, pero principalmente agradezco a mis hijos, mi esposo y la Sra. Teresa, a quienes les dedico este trabajo, pues les ha significado un tiempo robado de la historia familiar.

Gracias al centro tecnológico de la FES Aragón, a COMECYT y al TESCHA, sin su apoyo esta investigación nunca se habría escrito y por eso, este trabajo es también el suyo.

A todos, ¡muchas gracias!



TÍTULO

Diseño de muro divisorio con material plástico reciclado destinado a espacios interiores

INDICE

| | |
|---|----|
| Impacto ambiental en la industria de la construcción..... | 1 |
| Problemática ambiental de la industria del plástico | 5 |
| Propuesta para reintegrar desechos plásticos a materiales constructivos | 10 |
| Sistemas prefabricados | 15 |
| Normatividad..... | 18 |
| Procesos de diseño..... | 26 |
| Desarrollo experimental | 32 |
| Prueba de confort acústico..... | 33 |
| Pruebas de conductividad térmica | 38 |
| Prueba de relajación de esfuerzos..... | 47 |
| Diseño final de muro divisorio | 53 |
| Selección de normas y resultados de pruebas..... | 55 |
| Pruebas de sonido | 57 |
| Pruebas de conductividad térmica | 59 |
| Prueba de relajación de esfuerzos..... | 64 |
| Tiempo de vida útil del material..... | 67 |
| Montaje de muro divisorio en el centro tecnológico de la FES Aragón..... | 72 |
| Tipos de perfil..... | 78 |
| Conclusiones..... | 83 |
| Referencias | 84 |
| Anexos | 89 |
| Apéndice..... | 97 |

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es muy demandante en términos de tiempo para realizar una obra determinada, por lo tanto, es importante buscar soluciones que acorten los procesos constructivos y permitan disminuir los recursos que en ellos se invierten. Actualmente el mundo vive un proceso de globalización en el que la industria constructiva se ha visto inmersa, es por esta razón que es necesario satisfacer las necesidades de este ámbito en materia de: vivienda, comercio, recreación, cultura, etc.

En los espacios destinados al comercio se encuentran necesidades muy específicas, las cuales obedecen a hábitos de consumo. En primer lugar, se observa que es habitual acondicionar plazas para la exhibición y comercialización de productos o servicios, de manera que este tipo de arquitectura tiende a ser cambiante, es decir, obedece a temporalidad, de manera que en el proceso de acondicionar un espacio de uso comercial no hay un pensamiento de perpetuidad, sino de cubrir una necesidad momentánea. En segundo lugar, estos acondicionamientos derivan a que este tipo de arquitectura efímera se convierta en desechable, y con ello fomenta el consumismo de materiales, ya que las opciones en el mercado para la construcción no están diseñadas bajo un esquema de sustentabilidad.

Un elemento valioso en materia de locales comerciales es el referente a muros divisorios, pues estos elementos no solamente delimitan áreas, sino que también son indispensables para dar privacidad, conformar el espacio de los locales y dar una vista estética a la exhibición; sin embargo, a pesar de lo indispensable de estos elementos, en el mercado actual no encontramos opciones que se adapten a la versatilidad que tiene el área comercial. Lo anterior se debe a que las marcas más conocidas y utilizadas tienen características de funcionalidad y forma, pero son de un solo uso, es decir, que una vez que son colocados no hay manera de reutilizarlos, por lo que se tiene que recurrir a la demolición generando residuos sólidos difíciles de tratar, y en consecuencia generan el consumo de nuevos materiales. México cuenta con una mala gestión de desechos sólidos en el ámbito constructivo, por esa razón es primordial proponer sistemas que se adapten a los cambios que el mercado demanda y que sean económicamente viables.

Es así que en el presente trabajo de investigación se muestra el desarrollo de una propuesta de muro divisorio para espacios comerciales, donde se consideraron las problemáticas anteriormente descritas con el fin de ofrecer un producto reutilizable, así como de fácil montaje y desmontaje acorde a la demanda requerida en el sector de locales comerciales. Para el desarrollo de este tipo de muro se realizó un estudio teórico-experimental y un diseño tanto práctico como versátil en materia de paneles divisorios. Así mismo el método experimental permitió comprobar que el material tiene características adecuadas para ser atractivo al mercado meta al que se desea alcanzar.

Por lo anterior el principal objetivo del presente trabajo de investigación consistió en diseñar y construir un muro divisorio para espacios comerciales reutilizable con contenido de material reciclado.

El trabajo está dividido en tres capítulos: En el primero se introducen las problemáticas ambientales derivadas del sector de la construcción y los plásticos de un solo uso de manera específica; así como las alternativas en las que se sustenta una solución factible para el diseño de un material constructivo a base de plástico de reciclaje y los procesos que este conlleva.

En el capítulo dos se describe el proceso de diseño y la configuración de los equipos utilizados, también la manera en la que se realizó el diseño experimental. Estas descripciones se hacen por cada una de las pruebas realizadas: acústica, térmica y de relajación de esfuerzos, para su posterior análisis.

En el capítulo tres se realiza el análisis de resultados, valores, gráficas y tablas, describiendo de manera sustancial cómo fue el comportamiento del material ante cada prueba. Así mismo se muestra la construcción de los muros a escala y en tamaño real junto con los diferentes tipos de ensambles que el diseño permitió. Cabe mencionar que el montaje de muros se realizó en el Centro Tecnológico de la FES Aragón y una parte fue financiada por el COMECyT (Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología).

CAPITULO 1

Problemáticas ambientales derivadas de procesos constructivos y plásticos de un solo uso



Impacto ambiental en la industria de la construcción

Los seres humanos hemos dejado huella de nuestra existencia desde nuestra aparición en el planeta. Cuando las primeras civilizaciones empezaron a habitar un espacio generaron un impacto ambiental en el entorno, donde una de las necesidades primordiales era el conseguir un refugio y empezar a edificar sus primeras viviendas. Conforme el tiempo y la tecnología fue avanzando también los procesos con los cuales transformaban los recursos naturales que tenían a la mano.

En la actualidad la industria de la construcción es señalada como una de las más contaminantes, esto debido a que durante sus procesos de ejecución consume una gran cantidad de energía. Como ejemplo podemos citar a Graham, J. & E.D. Love (2013) quienes identifican que, si se edifica una obra nueva, se realiza una demolición o una remodelación se va a tener un impacto negativo en el medio ambiente, pues se generará un agotamiento de recursos naturales.

El proceso de construcción se puede visualizar como una técnica propia del ser humano que se liga y desarrolla en función del crecimiento económico y social de cada país. Internacionalmente se le define como la combinación de materiales y servicios para la producción de bienes tangibles. Esta técnica que en la actualidad es industrializada, se caracteriza por su calidad de producción móvil donde se trabaja y se fabrica para perpetuar un producto fijo en el tiempo, lo que generalmente posee propiedades únicas y particulares. Una característica imperante en la construcción es que ésta no puede desarrollarse sin la compañía de un mercado de insumos y servicios apropiados que permitan concretar las obras propuestas. Para esto es sumamente importante el avance de la tecnología, tanto en maquinarias, transporte, así como también en el software computacional que permita gestionar y desarrollar los proyectos de manera anticipada a la ejecución de las obras. De esta forma, si se contempla todo el mercado que involucra la construcción y la cantidad de mano de obra no calificada que provee, se puede comprender su influencia en la economía y por qué se le cataloga como un pilar fundamental para el desarrollo de un país (Carmona Araos, 2010).

En términos generales, la construcción de un edificio se puede dividir en tres grandes etapas según muestra la Tabla 1:

Tabla 1. División de las tres etapas principales de una obra; (Carmona Araos)

| ETAPAS DE UNA OBRA | 🕒 | | | | | | |
|--------------------|---|--|--|--|--|--|--|
| 1. Obra gruesa | | Se da forma al edificio, se requiere una mayor intensidad constructiva | | | | | |
| 2. Acabados | | Esta etapa comprende pintura, pisos, plafones etc. | | | | | |
| 3. Instalaciones | | Se dota al edificio de agua, electricidad, salidas sanitarias | | | | | |

En cuanto al gasto de energía que consumen las diferentes etapas de una obra se puede clasificar de la siguiente manera:

Energía incorporada inicial: representa la energía no renovable consumida en la adquisición de materias primas, su procesamiento, su fabricación, su transporte a obra y la construcción propiamente.

Esta energía tiene dos componentes, la **directa y la indirecta**. La primera se refiere a la energía usada para transportar los insumos a la obra, y luego construir el edificio; y la segunda, se refiere a la energía usada para obtener, procesar y fabricar los insumos de construcción, incluyendo todos los transportes relacionados con estas actividades; la Figura 1 es un ejemplo del proceso constructivo de un edificio.



Figura 1.- Render que muestra el interior de un edificio.

<https://blog.laminasyaceros.com/blog/importancia-del-proceso-constructivo>

Del mismo modo tenemos la **energía incorporada recurrente:** este gasto energético representa los nombrados mantenimientos de obra y es la energía no renovable

consumida para mantener, o reponer material, componentes o sistemas mientras el edificio está en uso por los usuarios.

Finalmente, tenemos el termino de vida del edificio, este se refiere a cuando acaba su vida útil y se procede a la demolición, también incluye la restauración o en su caso el reciclado de materiales; si no se puede rescatar ningún material se espera la correcta eliminación de los desechos de obra. En la Figura 2 se aprecian los porcentajes de gasto energético en diferentes etapas de una edificación.



Figura 2.- Gráfica que representa los principales consumos energéticos de una obra de edificio de oficinas.

En el análisis anteriormente descrito se puede observar cómo se utilizan recursos para todos los procesos que requiere la obra, lo cual va acumulando energía requerida para cada etapa. Acorde con esto, no hay que olvidar que una parte fundamental para llevar a cabo estos procedimientos constructivos recae en la utilización de materiales para edificar, los cuales también deben ser tomados en cuenta al momento de cuantificar el gasto energético que requiere la obra; ya que junto con la etapa de ejecución representan una parte fundamental que pocas veces es considerada, siendo así, se pueden definir tres etapas que generan emisiones GEI (Gases de Efecto Invernadero) en la construcción:

1. Durante la fabricación de materiales
2. Durante el transporte de materiales
3. Durante la construcción del edificio (García Navarro Justo, 2013).

Datos de la UNEP (Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente) arrojan que el sector de la construcción a nivel mundial contribuye hasta un 40% en las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente por el uso de energía durante la ocupación de los inmuebles; por esta razón es importante identificar oportunidades para reducir estas emisiones; ya que dentro de la cadena de valor de un edificio se ha vuelto prioritario disminuir estas emisiones y así contribuir con el cuidado de los ecosistemas y medio ambiente.

La cifra que aportan los materiales de construcción, referidas a las emisiones de GEI, es mayor al 30% de la energía total en la producción y comercialización de la materia prima, y del 40% de las emisiones de CO₂ respecto a los producidos en toda la vida útil del edificio, siendo el factor de mayor consumo la calefacción (Muñoz C. Zaror, 2012).

Como ya se mencionó, durante la vida útil de los inmuebles se encuentra una etapa previa de consumos energéticos referidos a la fabricación de materiales de construcción. Para abastecer las demandas de dicha actividad esta energía equivale aproximadamente a 6000 MJ por m² de edificación estándar.

Existe un debate con algunos autores sobre sí el consumo energético es mayor en el proceso de fabricación de materiales o en el ciclo de vida del edificio.

Por todo lo anteriormente descrito es importante evaluar estrategias que reduzcan el impacto medio ambiental de carácter global y local que incluyan a todas las etapas de vida útil del edificio (G. Wadell, 2010).

Problemática ambiental de la industria del plástico

“La mayoría de los compuestos denominados “plásticos” son polímeros sintetizados a partir de compuestos orgánicos” (Arturo, Lema Ize, & García Gavilán, 2003, p. 67).

Los plásticos se caracterizan por tener una alta relación resistencia/densidad, la cual les permite tener buen aislamiento tanto térmico como eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. Como consecuencia de esto las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico. Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticas (se ablandan con el calor), mientras que las entrecruzadas son termoendurecibles (se endurecen con el calor), este proceso puede ocurrir varias veces. Adicionalmente, existe un tercer grupo de plásticos llamados elastómeros, que son materiales elásticos tipo caucho, formados generalmente por macromoléculas débilmente entrecruzadas. En la Figura 3 podemos observar los tipos de estructuras moleculares de los polímeros (Pérez Muñoz, 2012, p. 3).

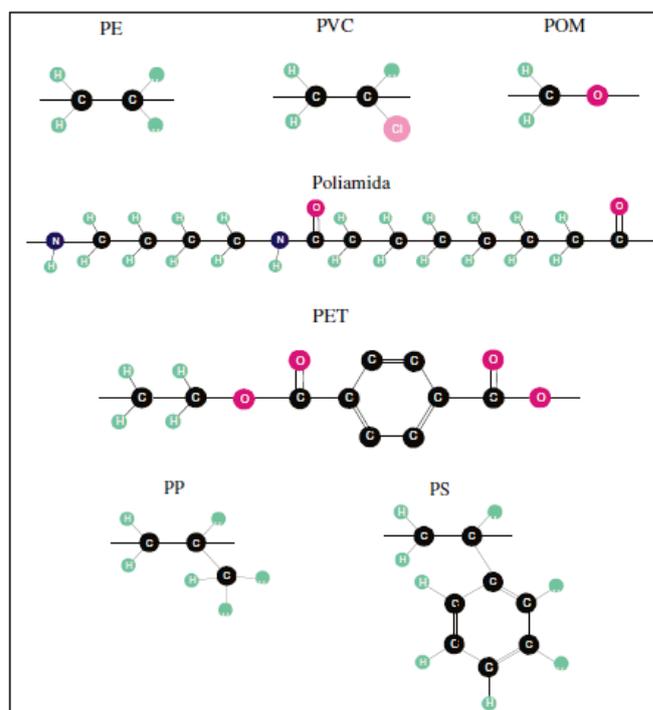


Figura 3.- Estructura molecular de diferentes tipos de polímeros (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012).

Transformación del plástico como agente contaminante

El uso de los plásticos es muy antiguo en la historia de la humanidad, por ejemplo, los griegos ya utilizaban la resina para barnizar sarcófagos, fabricaban joyas a partir de ámbar. Hasta mediados del siglo XX el caucho (Figura 4) era utilizado para fabricar artículos de lujo; sin embargo, el uso desmedido de este tipo de resinas naturales derivó en la escasez, lo que ocasionó la búsqueda de nuevas fuentes de materiales.



Figura 4. Extracción de caucho natural; (Global Rubber Corporation, 2021).

El plástico como se conoce hoy en día es resultado del trabajo de diversos investigadores que hicieron aportaciones importantes en el estudio de este material. Uno de los primeros nombres en la lista es el de Alexander Parkes, el cual fue un investigador que intentó solucionar el problema de la escasez de los plásticos de origen natural. Él nombró a su material "parkesita", que fue la primera de muchas variantes que se presentaron posteriormente; (la nitrocelulosa fue la materia prima que Parker intentó modificar para diversos fines); sin embargo, aunque fue popular al principio para combatir la escasez de los plásticos naturales, con el paso del tiempo el material no cubrió estándares de calidad, por lo que la compañía que había formado para comercializarla quebró. Una nueva variante de plástico a base de nitrocelulosa fue la marfilina, que pretendía competir en el mercado del marfil variando ligeramente "la parkesita". Esta idea de mezclar alcanfor en la producción de plástico a partir de la nitrocelulosa tuvo contratiempos legales por la patente del proceso, pues para su elaboración ambos materiales contaban con las mismas bases para su producción. El 21 de agosto de 1884 se dictaminó que el primero en cubrir con sus patentes para el uso de la mezcla fue Parker (Bijker, 1987).

A la par Adolfo Baeyer en Alemania se encontraba estudiando las reacciones de condensación entre aldehídos y fenoles, esto ocurría al tiempo que las disputas legales por el plástico a partir de nitrocelulosa estaban en su punto más álgido. La condensación de Baeyer se puede catalogar como la primera resina sintética. Una vez producida la resina los investigadores dirigieron sus esfuerzos hacia su producción industrial (Historia de los empaques, 2014).

La invención de una resina plástica sintética no fue sencilla, por ello en el camino se optó por la creación de derivados en colorantes y combinar el fenol-alcohol. La visión de Baeyer y sus colaboradores estaba limitada por la tecnología de la época y no era la más comercial, en sus intentos no logró tener un producto estable (Bijker, 1987).

El tereftalato polietileno tiene su origen en la década de los 60 con Nathaniel Wyeth. Wyeth era un científico que trabajaba como ingeniero de campo para DuPont, y un día se preguntó: ¿Por qué no podemos colocar una soda (refresco o bebida carbonatada) en una botella? Esta idea lo llevó como primer intento a colocar el líquido en una botella de detergente, pero el envase no soportó la presión interna; sin embargo, no se dio por vencido y siguió su investigación con otros materiales hasta que llegó al Tereftalato de Polietileno (PET), recibiendo la patente en 1973 por el desarrollo de un proceso que permitía la alineación en dos dimensiones de las moléculas (Historia de los empaques, 2014).

El lanzamiento al mercado de la botella de PET cambió drásticamente los hábitos de consumo de la población, pues se perdió el concepto de los envases retornables, que, si bien en la actualidad siguen vigentes, no son tan populares como los envases desechables. Estas prácticas han tenido un impacto negativo en el medio ambiente que persiste hasta la actualidad (Plastics Technology MÉXICO, 2016).

Es a mediados de los años ochenta cuando llega a México la botella de PET, su aparición ha traído una gran revolución y evolución en el mercado, convirtiéndose en un envase ideal para distribución, con inigualables cualidades para el transporte de bebidas y productos de consumo humano, situándose en los primeros lugares de comercialización a nivel mundial.

En 2004 el PET se convirtió en la resina de mayor tasa de crecimiento y de mayor capacidad instalada en el país, lo que llevó a que actualmente este polímero represente el tercer lugar en el consumo de plásticos en México, lo cual provocó un consumo de 700,000 toneladas de este plástico en el año 2006, para 2017 los residuos plásticos generados en el país alcanzaron 4929.1 miles de toneladas (Historia de los empaques, 2014).

Tipos de reciclaje de plástico

Derivado de la problemática medio ambiental que los plásticos representan actualmente se han buscado alternativas para mitigar su excesivo consumo; una propuesta viable para reducir su impacto contaminante consiste en su reciclado.

El reciclado propiamente puede dividirse en tres rubros: mecánico, químico y energético; siendo el más costoso de estos tres procedimientos el químico, pues es el que permite obtener productos con un mayor valor agregado. Este procedimiento es de uso corriente en países desarrollados como los de la Comunidad Económica Europea o los EE.UU.

Reciclado Mecánico

El reciclado mecánico lleva varias etapas donde se realiza: la separación manual, el triturado en partículas, clasificación de partículas por aire, lavado, inmersión en agua y separación electrostática. En la Figura 5 se puede apreciar el proceso por el que pasa el material (Gargano, 2008, p. 141).



Figura 5.- Proceso de reciclado mecánico por medio de extrusora; (Plabs 3D-Impresión 3D, 2022).

Reciclado Químico

El reciclado químico deshace o de polimeriza el plástico, separándose las moléculas que lo componen, las cuales se emplean para fabricar otra vez plásticos. Dependiendo de su pureza, este material puede usarse incluso, para el envasado de alimentos. La Figura 6 muestra un ejemplo del proceso (Gaggino, 2008, p. 142).

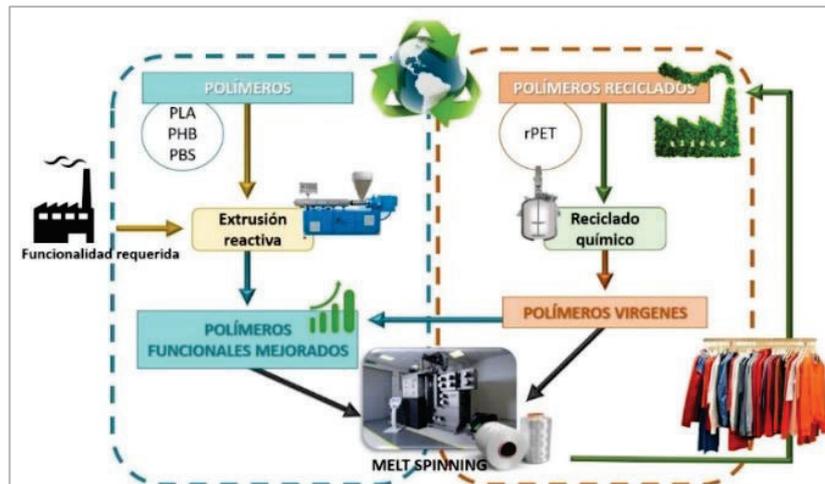


Figura 6.- Proceso de reciclaje químico; (Plabs 3D-Impresión 3D, 2022).

Reciclado Energético

El reciclado energético consiste en incinerar el plástico para generar energía, lo cual tiene como inconveniente la contaminación atmosférica que produce. La Figura 7 muestra la industrial de este proceso (Gaggino, 2008, p. 145).

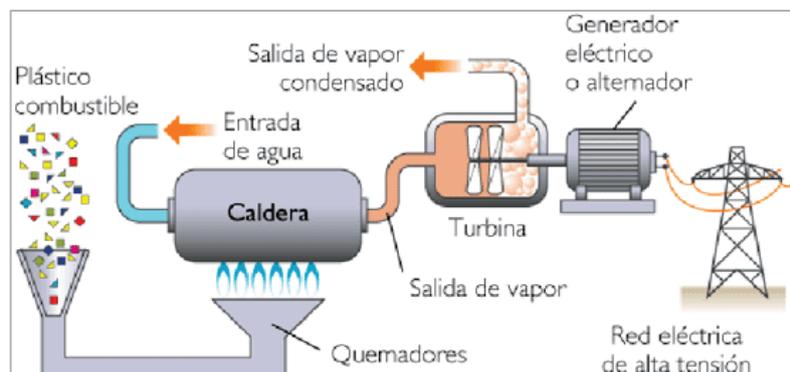


Figura 7.- Proceso de reciclado energético; (Plabs 3D-Impresión 3D, 2022).

Propuesta para reintegrar desechos plásticos a materiales constructivos

Más producción equivale a más desperdicio y con ello más desperdicio crea preocupaciones ambientales. Una solución económica y viable a este problema debe incluir la utilización de materiales de desecho para fabricar nuevos productos, este sistema de reutilización contribuye a disminuir la cantidad de basura desechada sobre los vertederos nacionales.

Los materiales elaborados a base de desperdicio en materia de construcción, ahorran residuos, reducen desechos sólidos, reducen los contaminantes del aire y agua, además de reducir los gases de efecto invernadero. La industria de la construcción debe empezar a conocer y aprovechar los beneficios del uso de desechos y materiales reciclados ya que con esto contribuirá al cuidado del medio ambiente (Bolden, Taher, & Fini, 2013).

En Latinoamérica la reutilización y reciclaje de materiales ha tenido éxito en los últimos años, en Argentina se ha dado gran impulso a proyectos enfocados a las ecotecnologías, elaborando materiales útiles para la vivienda, un ejemplo son los tanques para contener agua o mobiliario (Partida, 2018).

A continuación, se enlistan algunos ejemplos de la utilización y reciclado de plásticos en la construcción:

Sistema de construcción con paneles de poliestireno expandido con inserto en mallas metálicas (Figura 8). Este sistema de construcción resistente a sismos y con altas propiedades de aislamiento termo-acústico tiene más de 30 años de antigüedad, utilizándose para edificar casas y departamentos.



Figura 8. Unidades modulares de poliestireno expandido con malla metálica; (Revista arch daily, 2015).

Basado en un reciclado integral de los plásticos, el centro experimental de la vivienda económica (CEVE) hace una propuesta para la fabricación de elementos constructivos, la cual consiste en triturar el plástico y mezclarlo con cemento portland, en reemplazo de los áridos de un hormigón tradicional, esta nueva tecnología resulta ser más económica y ecológica que otros sistemas tradicionales. La Figura 9 muestra la imagen del diseño de una de sus viviendas (Palapa, 2013).



Figura 9. Construcción a base de hormigón y plástico reciclado; (Palapa 2013).

El CEVE también apuesta por tecnologías que desarrollan ladrillos y placas prefabricadas, cuya materia prima son plásticos de reciclaje, su diseño permite una fácil colocación, por lo que no necesitan de mano de obra especializada, promoviendo así la autoconstrucción. Esta tecnología sustentable ha perfeccionado componentes de construcción livianos, de buena aislación térmica, y resistencia mecánica. En la Figura 10 podemos apreciar la forma final del ladrillo después de desmoldar (Gaggino, 2008).



Figura 10.- Ladrillos elaborados con plástico de reciclaje; (Gaggino, 2008).

En Nigeria se localiza otra propuesta para convertir los desechos plásticos en materiales constructivos, situada en la villa de Sabon Yelwa, en donde se diseñó una casa hecha con botellas de plástico, esta consta de 2 habitaciones y sus principales objetivos son promover la economía circular y combatir la escasez de vivienda en el país.

La casa está conformada por botellas de plástico rellenas de arena a manera de bloques de mampostería, en este caso cada pieza pesa un aproximado de 3 kg. En el diseño se forman circunferencias en donde se colocan las botellas acomodadas en filas y unidas por una mezcla de barro y cemento con una red de cuerdas, las cuales proporcionan un soporte adicional a toda la estructura. La vivienda consta de 14 mil botellas para su construcción, el relleno de arena actúa como material ignífugo, además es resistente a balas y presenta un buen comportamiento estructural frente a terremotos, con una temperatura interior que se mantiene constante en 18 grados centígrados; ha sido diseñada para minimizar la cantidad de desechos que se emite. En la Figura 11 se puede apreciar la colocación de muros de la vivienda (Castillejos Cuevas Carla María, 2014).



Figura 11. Casa elaborada a base de botellas de plástico; (Palapa 2013).

El edificio EcoARK situado en Taiwán, ha sido construido ensamblando 1.5 millones de botellas de plástico para lanzar el mensaje de la importancia del reciclaje. En su diseño podemos encontrar tres plantas de altura, un anfiteatro, un salón de exposiciones y una cascada de agua de lluvia usada como acondicionador de aire. El edificio, además de resultar ligero y movable, puede resistir la embestida de los terremotos. La Figura 12 nos muestra la fachada y una vista de muros interiores (Revista arch daily, 2015).

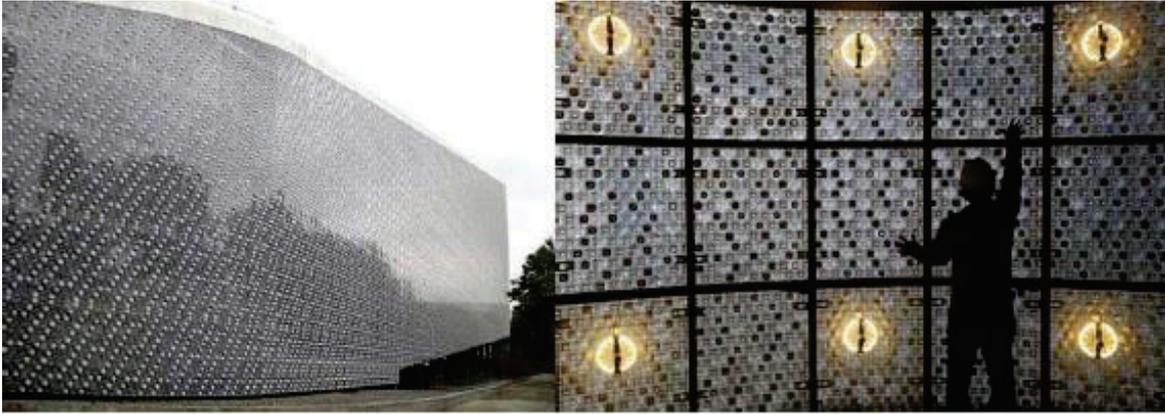


Figura 12. Museo EcoArk Taiwán.

“Considerar una construcción como un objeto final significa un error de principio, ya que en la actualidad se debe tomar como prioritario la sostenibilidad como factor de diseño de nuestra arquitectura. Actualmente deberíamos entender el edificio como un ‘banco de materiales’ para las siguientes generaciones y asumir las consecuencias en el diseño de los sistemas constructivos”. El diseño constructivo y sus procesos pocas veces consideran la desconstrucción para la reutilización de los materiales y elementos, ya que se entiende que el proceso de desconstrucción es económicamente más caro que el de demolición (Graham J. Treloar & E.D. Love, 2003).

Los sistemas constructivos pensados desde la estrategia de la desconstrucción, facilitan la reutilización de los materiales y elementos para su mayor amortización energética, reduciendo el impacto medioambiental; ya que evitan la extracción de nuevas materias primas, sus costes energéticos y emisiones producidas por la transformación de los mismos en nuevos productos. Un primer paso es hacer una comparativa entre diferentes materiales y analizar su potencial para ser reutilizados, todo con el objetivo de otorgarles un ciclo de vida más amplio, contribuyendo a la economía circular y el reciclaje de desechos derivados de la construcción.

La arquitectura responde a su momento histórico, debido a que antiguamente las tecnologías y procesos constructivos eran restrictivos en los métodos que se podían aplicar para lograr una edificación. Actualmente se cuenta con materiales y técnicas más modernas y que brindan mejores soluciones constructivas; sin embargo, es primordial pensar en sistemas que dejen de dañar el ecosistema al momento de edificar.

Hay algunas empresas que se encuentran actualmente en el mercado, que ya han incorporado el uso de plásticos a sistemas constructivos, y que además han tenido éxito en lograr que estos nuevos materiales tengan más de un solo uso, alargando su tiempo de vida y proyectando sistemas constructivos sustentables (Bolden, Taher, & Fini, 2013).

Un ejemplo de esto, es la empresa Geoplast, la cual propone un sistema de encofrado para muros reutilizables hecho a base de plásticos reciclados. Este sistema trabaja en módulos de 1.20 x .60 m, sin la necesidad de herramientas adicionales para sus ensambles, y con la versatilidad de poder adaptar el sistema constructivo a cualquier obra. En la Figura 13 podemos apreciar la colocación del muro de encofrado de la marca (Geoplast, 2003).

Como se puede observar dicha propuesta hace notar que los plásticos son materiales orgánicos versátiles que se utilizan hoy en día en diversas actividades de fabricación. La elección del polímero adecuado asociado con el hábil diseño del producto puede conducir a resultados óptimos, y por ello al diseñar un producto, es muy importante adoptar un enfoque responsable con el medio ambiente. La utilización de material 100% reciclado para fabricar nuevos productos con características inalteradas de alta calidad y resistencia contribuye a la reducción de los residuos plásticos. Las características de estos sistemas constructivos tienen su atractivo en utilizar plásticos con buenas características mecánicas (durabilidad, alta resistencia a los golpes y capacidad de carga), además de poder ser utilizados en un amplio rango de temperaturas (de -20°C a $+80^{\circ}\text{C}$) sin deformación.



Figura 13.- Sistema de encofrado; (Geoplast 2021)

Sistemas prefabricados

El sector de la construcción es un ámbito complejo, se relaciona con muchos otros sectores productivos; que abarcan una enorme variedad de actividades. Los prefabricados son un recurso que muchos diseñadores y constructores implementan en sus obras, pues permite la fragmentación en piezas de toda la estructura, las cuales no necesariamente se tienen que producir en sitio y simplemente son transportadas y ensambladas en el lugar de la obra para conformar la edificación; Es por esto que en los procesos que los materiales prefabricados ahorran una valiosa cantidad de tiempo en obra y se convierten en una opción económica. (Cordoví Socarrás & Vidaud Quintana, 2017).

Se conoce como prefabricado a las operaciones en la obra que son esencialmente de montaje y no de elaboración. El grado de prefabricación de un edificio se puede valorar de acuerdo al desperdicio que genera. Entre más residuos, menos elementos prefabricados se utilizaron.

Es así que la propuesta del muro reutilizable que se plantea en este trabajo está concebida bajo las características de un prefabricado

Existen 4 sistemas diferentes de producción en elementos prefabricados:

Sistemas cerrados

Los elementos se fabrican conforme a especificaciones internas, responden únicamente a las reglas de compatibilidad interna, y el proyecto arquitectónico ha de subordinarse a las condiciones del sistema.

Empleo parcial de componentes

Su empleo no requiere un grado de industrialización determinado de sus realizaciones y pueden utilizarse en obras o proyectos tradicionales.

Sistemas tipo mecano

Derivan de los sistemas cerrados, pero tienen algunas características en su diseño que le permite combinarse con otros sistemas y ofrecer una gama de soluciones más amplias que su predecesor.

Sistemas abiertos

Suelen valerse de juntas universales, gamas modulares y acotadas.

El primer ejemplo significativo de construcción industrializada se remonta al siglo XVI, cuando Leonardo da Vinci había recibido la instrucción de planificar una nueva ciudad, los edificios debían formar un gran abanico los cuales fueron diseñados por él de manera optimizada (Pérez S. C., 2010).

Durante la guerra entre franceses e ingleses se planificaron batallas contra Inglaterra, en esta etapa se construyeron pabellones de madera prefabricados que albergaron a sus soldados durante la ofensiva. Estos campamentos tenían la peculiaridad de poder ser transportados fácilmente por barco, eran resistentes y confortables, se montaban y desmontaban rápidamente por los propios soldados, lo cual los convertía en ágiles para su desplazamiento.

Es hasta el siglo XVIII que se puede industrializar la construcción en Europa, con la edificación de puentes y cubiertas de hierro fundido; así mismo Estados Unidos llevo a cabo la construcción de edificios tipo "Ballom Frame"¹. Constituidos por listones de madera provenientes de fábrica y ensamblados mediante clavos fabricados industrialmente (Housing,2014).

Hasta finales del siglo XIX se volvería a utilizar en edificación el hormigón (que apenas se había empleado desde la época de los romanos), mismo que aplicado junto con entramados de alambres, constituía una materia prima ideal para prefabricados.

Para 1889 en EE.UU. se registra la primera patente de edificio prefabricado. Este consistía en módulos tridimensionales en forma de "cajón" apilable. En 1891 se prefabrican las primeras vigas de hormigón armado para la construcción del Casino de Biarritz.

Le modulator de le Corbusier en el siglo XX representa una proporción "en la que se pretenden conciliar los deseos de orden y equilibrio típicos del renacimiento".

¹ Se denomina Balloon frame a un tipo de construcción de madera característico de Estados Unidos, que consistente en la sustitución de las tradicionales vigas y pilares de madera por una estructura de listones más finos y numerosos, que son más manejables y pueden clavarse entre sí.

Por otro lado los sistemas prefabricados cerrados de hormigón nacen de la necesidad de vivienda. Después de la segunda guerra mundial había gran demanda de habitación y pocos recursos económicos.

Las principales características de las construcciones industrializadas de tipo cerrado son las siguientes:

- Un mínimo de mil viviendas agrupadas
- Proyecto con un mínimo de variaciones formales
- Bloques de tipología lineal de gran frente que fueran fáciles de transportar
- Nula flexibilidad de distribución en planta
- En general, la industrialización se le imponía al proyectista como una herramienta de economía en materia de construcción

A finales del siglo XX la construcción de prefabricados cerrados queda obsoleta y se da pie a nuevos edificios con mayor apertura de diseño.

En la actualidad y según datos del INEGI en México, la demanda por la construcción de viviendas a nivel residencial ha disminuido; las nuevas exigencias en términos de edificación junto con las nuevas tecnologías en la fabricación de los elementos de hormigón y métodos de transporte, han favorecido a que este sistema constructivo crezca (Escrig,2010).

Ventajas

La principal ventaja de los elementos prefabricados es la eficiencia dado que, estos son elaborados bajo estrictos controles de calidad por estándares industriales, se minimizan los defectos que pudieran tener, la instalación suele ser más limpia, ágil y eso disminuye los accidentes generados en obra. Tienen un menor impacto ambiental al consumir menos recursos energéticos y generar menos desperdicio.

Una de las principales desventajas de los sistemas constructivos prefabricados es la rigidez en los diseños, además de que la inversión inicial para adquirir estos sistemas es mucho más alta que los sistemas constructivos tradicionales. En la Figura 14 podemos apreciar un sistema prefabricado para losa, que a pesar de estar constituido por

elementos rectangulares rígidos, permite la colocación en diseños curvos por medio de cortes.



Figura 14.- Sistema de losa prefabricada; (CSI 2021).

Normatividad

Los materiales de construcción tienen que cumplir con ciertos estándares de calidad, el panel desarrollado en el presente trabajo de investigación no es la excepción, es por eso que se tomaron en consideración ciertas normativas para su diseño. A continuación, se enlistan algunas de las primeras normas o reglamentos que se consultaron:

- Reglamento de construcciones del Distrito Federal, Título quinto, del proyecto arquitectónico.
- Normas técnicas complementarias para diseño por sismo.
- ASTM D1784 - Sistema de clasificación estándar y base para la especificación de compuestos rígidos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) y compuestos de poli (cloruro de vinilo) clorado (CPVC).
- ASTM A502 - Remaches de acero estructural.
- ASTM A325 - Tornillos de alta resistencia para conexiones entre elementos de acero estructural.
- ASTM E84 - Dispersión de la llama.
- ASTM D7445 -Propiedades físicas del PVC.

Uno de los primeros parámetros que se consideró fue buscar las normas que se utilizan en la Tablaroca, ya que este material también es utilizado como muro divisorio. Los proveedores de este tipo de material dan en sus notas técnicas un listado de las

características que son consideradas, dependiendo su uso y detalles específicos; algunas normad que muestran estas características son las siguientes:

- C475- Especificación estándar para compuesto para juntas y cinta para juntas para acabado de paneles de yeso.
- C1396 - Especificación estándar para paneles de yeso.
- E84 - Método de prueba estándar para las características de combustión superficial de los materiales de construcción.
- E1414 - Método de prueba estándar para la atenuación del sonido aéreo entre habitaciones que comparten una cámara de techo común.

Después de consultar todas las normativas citadas anteriormente, se realizó una selección de las más destacables. Para situar de manera específica las pruebas que se aplicaron al material, se consideró el confort acústico, confort térmico y resistencia mecánica. De acuerdo a esto se tomaron las siguientes normativas:

Normas de sonido

- **ASTM E90** - "Método de prueba estándar para la medición de laboratorio de la pérdida de transmisión de sonido en el aire de particiones y elementos de edificios", (Figura 15). Objetivo: Este método cubre la medición de la pérdida de transmisión de sonido transportado por el aire para paredes de todo tipo, tabiques operables, ensamblajes de piso y techo, puertas, ventanas, techos, paneles y otros elementos divisorios de espacios.

Alcance: Las estructuras de paneles preformados deben incluir al menos dos módulos completos (paneles más elementos de montaje de borde) y se debe instalar de manera similar a la construcción real.

Equipo: Micrófonos, fuentes de sonido calibradas.

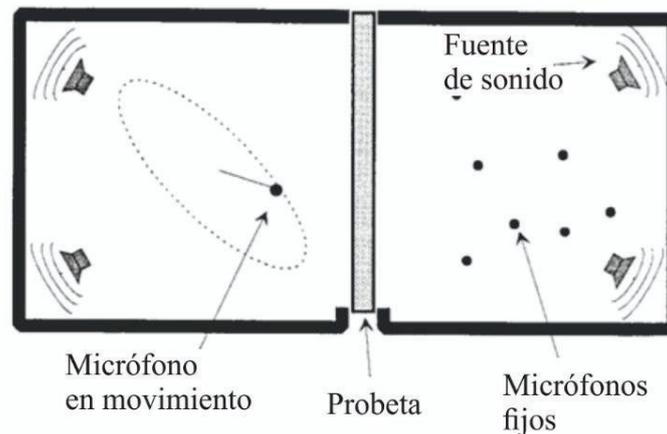


Figura 15.- Diagrama que ejemplifica la NORMA ASTM E-90.

ASTM E336 - "Método de prueba estándar para la medición del aislamiento a ruido aéreo en edificios".

Objetivo: La prueba especifica los procedimientos y requisitos para medir la reducción de ruido entre dos espacios o habitaciones o espacios cerrados.

Alcance: Medición de la pérdida de transmisión, por lo que se pueden realizar pruebas para demostrar que la atenuación del sonido de una partición específica en un edificio cumple con una especificación. Las medidas son la pérdida de transmisión de sonido de campo (FTL) y la clase de transmisión de sonido de campo (FSTC).

Equipo: Micrófono de condensador de incidencia aleatoria, fuentes de sonido, así como filtros de sonido calibrados.

- **ASTM E596** - "Método de prueba estándar para la medición de laboratorio de reducción de ruido de recintos de aislamiento de sonido".

Objetivo: Medir la reducción del ruido para determinar la clase de aislamiento del mismo, cubriendo la sala de reverberación de la reducción de ruido de los recintos insonorizantes.

Alcance: Cuando la reducción de ruido se mide de acuerdo con este método de prueba, la fuente de sonido está fuera del recinto y el campo de sonido fuera de esta área se aproxima a un campo de sonido difuso. Se puede esperar que las mediciones realizadas de acuerdo con este método de prueba sean reproducibles de un laboratorio a otro. El método de prueba se puede utilizar para los siguientes propósitos: clasificar el orden de los recintos insonorizantes de acuerdo con la clase

de aislamiento acústico y estimar los niveles de presión sonora de banda de tercio de octava que se producirán en el interior del recinto con niveles de presión sonora especificados en el exterior; La reducción de ruido medida por este método de prueba se aplica al recinto completo y no a los paneles individuales de los que está hecho y no se puede usar para inferir la pérdida de transmisión de sonido de los paneles individuales.

Equipo: Micrófonos, fuentes de sonido calibradas de acuerdo a la norma ANSI S4, un conjunto de filtros de un tercio de octava, un medidor de nivel, registrador de nivel gráfico u otro dispositivo desde el cual se pueda leer el nivel de presión sonora. Se pueden utilizar sistemas de micrófonos adicionales. Si se utilizan micrófonos adicionales, las diferencias en sus respuestas deben tenerse en cuenta mediante una calibración cuidadosa o mediante un procedimiento de medición adecuado.

- **ASTM E1414** - "Método de prueba estándar para la atenuación del sonido aéreo entre habitaciones que comparten un pleno techo común"

Objetivo: Esta prueba está diseñada para medir la atenuación del sonido proporcionada por un techo suspendido en la presencia de un espacio pleno continuo bajo condiciones de prueba de laboratorio prescritas.

Alcance: Este método de prueba es útil para clasificar y especificar, en condiciones estandarizadas, el rendimiento de atenuación del sonido de los materiales del techo cuando se montan en un sistema de suspensión específico. De igual forma puede ser útil para seleccionar un sistema de techo de pared para el probable cumplimiento de una especificación de rendimiento para el aislamiento acústico general entre habitaciones. La flexibilidad inherente a la instalación de prueba permite: la evaluación de los efectos de las penetraciones, las vías de fuga inducida, las instalaciones de luminarias y difusores de aire y las discontinuidades en el sistema de suspensión del techo en la línea divisoria, (incluida la penetración de la partición en la cámara del techo). También se puede investigar el efecto de instalar barreras de cámara en la línea divisoria.

Equipo: Micrófonos, fuentes de sonido (deberá constituir una banda o bandas de ruido aleatorio con una frecuencia de centro geométrico de 125 a 4000 Hz) calibradas de acuerdo a la norma ANSI S4.

Normas de temperatura

En el ámbito de los sistemas constructivos es bien conocido que existen algunos factores que pueden afectar la temperatura en interiores como por ejemplo su condición geográfica y los materiales de construcción. Nuevamente este aspecto al igual que el acústico es importante porque la temperatura puede alterar el estado de confort de una persona, pero además el no tener un ambiente adecuado puede generar gastos adicionales de energía para mantenerlo por el uso de ventiladores o calentadores.

A continuación, se da un breve resumen de las normas que fueron utilizadas como apoyo para las pruebas de caracterización:

ASTM C1045 - "Práctica estándar para el cálculo de las propiedades de transmisión térmica en condiciones de estado estacionario"

- **ASTM C976** - "Método de prueba estándar para el rendimiento térmico de los ensamblajes de edificios por medio de una caja caliente calibrada"
- **ASTM C1058** - "Práctica estándar para seleccionar temperaturas para evaluar e informar las propiedades térmicas del aislamiento térmico".
- **ASTM C518** - "**Método de prueba estándar para propiedades de transmisión térmica en estado estacionario por medio del aparato medidor de flujo de calor**"

Esta última norma fue la utilizada como referencia para las pruebas térmicas de este trabajo y sus características principales son las siguientes:

Objetivo: Medir la transmisión térmica en estado estable a través de especímenes de losa plana utilizando un aparato medidor de flujo de calor. Este es un método de medición comparativo o secundario, ya que para calibrar el aparato se deben usar especímenes de propiedades de transmisión térmica conocidas.

Alcance: Este método de prueba es aplicable a la medición de la transmisión térmica a través de una amplia gama de propiedades del espécimen y condiciones ambientales. El método puede ser utilizado en condiciones ambientales de 10 a 40°C con espesores de hasta aproximadamente 250 mm, y con temperaturas de placa de 195°C a 540°C a 25 mm de espesor.

Este método de prueba se puede utilizar para caracterizar las propiedades del material, que pueden o no ser representativas de las condiciones reales de uso. Si es necesario, se deben utilizar otros métodos de prueba.

Equipo: El aparato medidor de flujo de calor establece un flujo de calor unidimensional de estado estacionario a través de una muestra de prueba entre dos placas paralelas a temperaturas constantes pero diferentes. Mediante la calibración adecuada de los transductores de flujo de calor con estándares de calibración y mediante la medición de las temperaturas de las placas y su separación. La ley de conducción de calor de Fourier se utiliza para calcular la conductividad térmica y la resistividad térmica o la resistencia térmica y la conductancia térmica.

Se han logrado muchos avances en la tecnología térmica, tanto en técnicas de medición como en una mejor comprensión de los principios del flujo de calor a través de los materiales.

Normas de resistencia mecánica

Debido a que el material utilizado en el diseño del muro fue principalmente de PVC se buscaron normas que se utilizan para la caracterización de materiales. Realizar estas pruebas es importantes para comprobar si el material es óptimo para el uso que se está proponiendo, y en caso de no resultar así, proponer mejoras en el diseño.

Se hizo una revisión de las siguientes normas:

- **ASTM E139001** - "Métodos de prueba estándar para realizar pruebas de fluencia y ruptura por tensión de materiales metálicos"
- **ASTM E1012** - "Práctica estándar para la alineación de muestra bajo carga de tracción"
- **ASTM E9** - "Métodos de prueba estándar de compresión de materiales metálicos a temperatura ambiente"
- **ASTM E328** - "Métodos de prueba estándar para la relajación de esfuerzos en materiales y estructuras"

Siendo esta última la que más se ajustó para tomarla como referencia, ya que como se sabe el PVC tiene un comportamiento viscoelástico.

Las características de la norma ASTM E – 328 son:

Objetivo: Estos métodos de prueba cubren la determinación de la dependencia del esfuerzo con el tiempo (relajación de esfuerzo) en materiales y estructuras bajo condiciones de restricción aproximadamente constante, entorno de prueba constante y vibración insignificante. En los procedimientos, el material o la estructura está restringido inicialmente por fuerzas aplicadas externamente y el cambio en la fuerza necesaria para mantener esta restricción se determina en función del tiempo.

Alcance: Este método de prueba cubre la determinación de la disminución del esfuerzo dependiente del tiempo en un espécimen sometido a un esfuerzo de compresión constante, uniaxial y de larga duración en un ambiente uniforme y vibración despreciable.

El espécimen se somete a una compresión creciente y fuerza de tensión hasta que se alcance la deformación inicial especificada.

Equipo: Aparato como el que se muestra en Figura 16

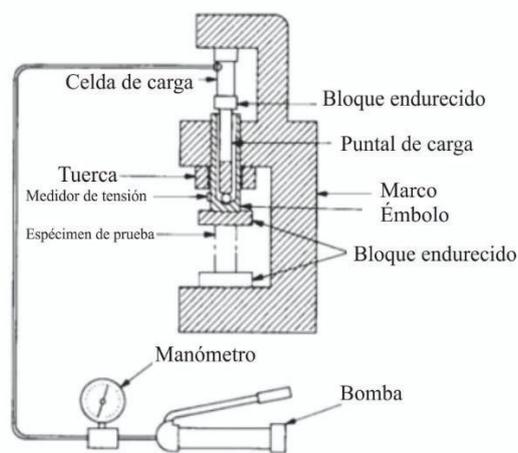


Figura 16.- Equipo de compresión.

Superficies de apoyo: las superficies de apoyo de los cabezales de la máquina de ensayo deben ser planas, paralelas y mantenerse en buenas condiciones de modo que no haya una inclinación sustancial de los bloques de apoyo durante la prueba.

Capítulo 2

Diseño de Muro Divisorio Y Desarrollo experimental



Procesos de diseño

El diseño del muro divisorio propuesto en este proyecto fue concebido con la finalidad de delimitar espacios de comercio de forma estética, ser adaptable a las necesidades específicas de cada cliente en cuanto al espacio de instalación y estar conformado bajo el principio de sustentabilidad al implementar el uso de materiales reciclados. El muro se diseñó para ser reutilizable y reubicable cuidando así la economía del cliente final, con la idea de ser de fácil instalación y desmontaje, sin la necesidad de herramienta mayor ni personal especializado.

El diseño original del muro está constituido de diferentes componentes como lo son: paneles con un sistema de machihembrado, una canaleta superior, una canaleta inferior, tapas para proteger las orillas de los paneles, así como una unión universal y los postes de plástico reciclado, este diseño se observa en la Figura 17

En esta etapa de diseño se trabajó en programas de modelado para poder analizar diferentes configuraciones y geometrías para la conformación del muro. Un punto importante en el estudio de la forma era evaluar cuantas piezas eran necesarias para 1 m² de instalación de muro, es por ello que se descartaron las que resultaban más difíciles de conformar y tuviesen más ensamblajes (Figura 18).

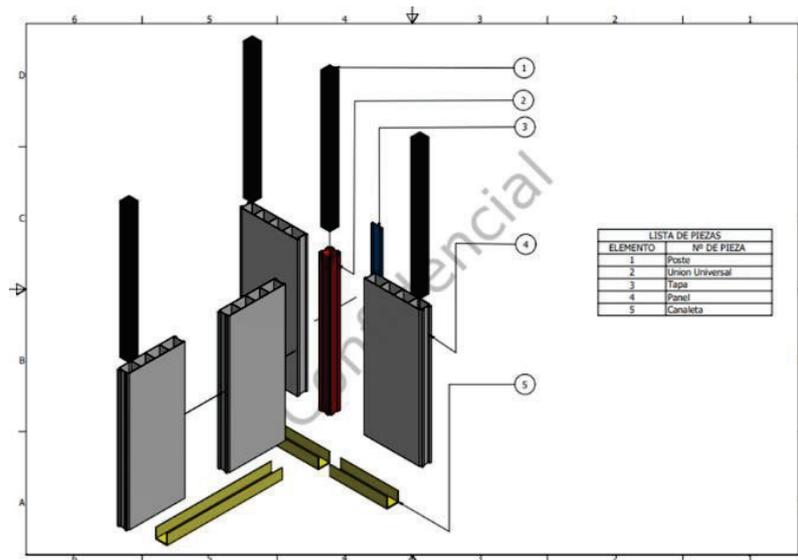


Figura 17. Primeros diseños de ensamblajes para panel

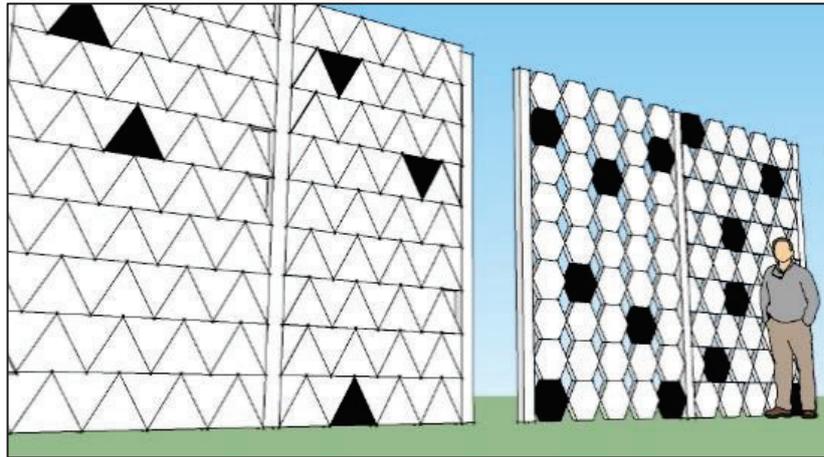


Figura 18.- Primeras geometrías propuestas para muro divisorio.

Las geometrías que se analizaron inicialmente correspondieron a: triángulos, hexágonos y rectángulos, (como se puede apreciar en la Figura 19), siendo estos últimos los óptimos para la conformación del muro, pues se requerían menos ensamblajes y menor materia prima para su elaboración; desde esta etapa se estaba cuidando que la instalación fuera sencilla.

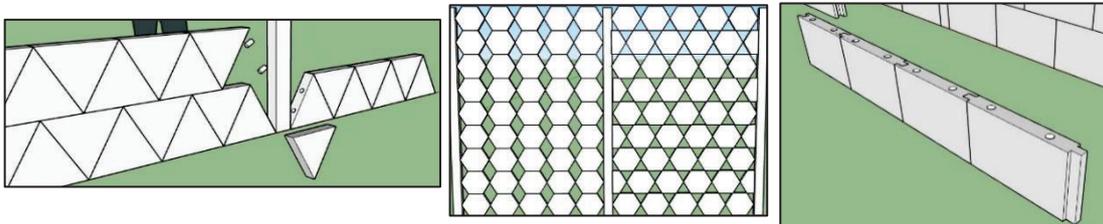


Figura 19.- Propuestas de geometrías para muro divisorio.

El diseño elegido responde a las necesidades de una arquitectura emergente, en donde uno de los objetivos primordiales es la reutilización de sus componentes.

Es por estas razones que un estudio previo de los componentes que se utilizaron fue indispensable, pues permitió anticipar posibles complicaciones al momento del montaje o desmantelamiento (según sea el caso).

Para este fin se contó con diferentes herramientas de diseño; la seleccionada en el caso del diseño final del muro divisorio a base de plástico reciclado fue modelar con Sketchup (Figura 20 y Figura 21). Este programa en particular resultó ideal, pues es sencillo y práctico

al momento de modelar, es amigable con otros programas, por lo que nos permite transformar los archivos a la extensión adecuada para ser compatibles con AutoCAD, Inventor, SolidWorks, etc.; además de permitirnos exportar imágenes en JPG y PNG para visualizar detalles.

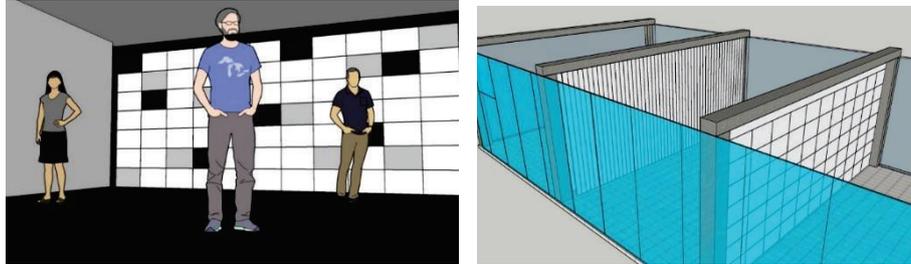


Figura 20.- Diseño 1 en sketchup

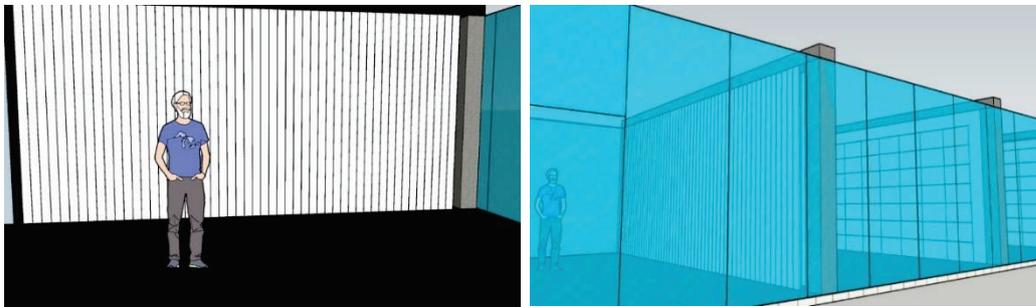


Figura 21.- Diseño 2 en sketchup

Se hicieron dos impresiones en 3D a escala 1:10 los cuales permitieron corroborar el funcionamiento del diseño propuesto al armarlo en maqueta. En la Figura 22 se muestra la modeladora utilizada, mientras que en la Figura 24 y Figura 25 se observan los dos tipos de tabletas modeladas.

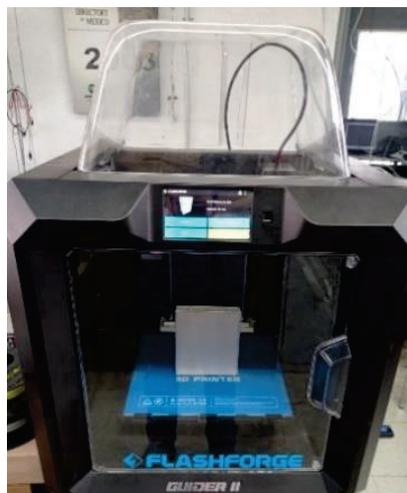


Figura 22.- Modeladora 3D.

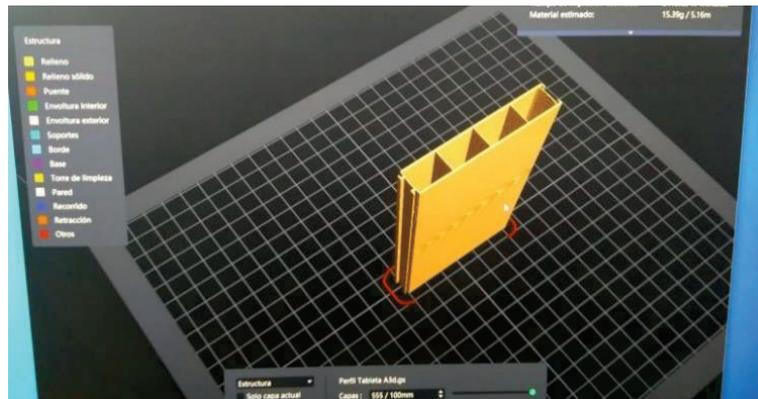


Figura 23.- Primera tableta modelada



Figura 24.- Impresión en 3D de tableta 1.

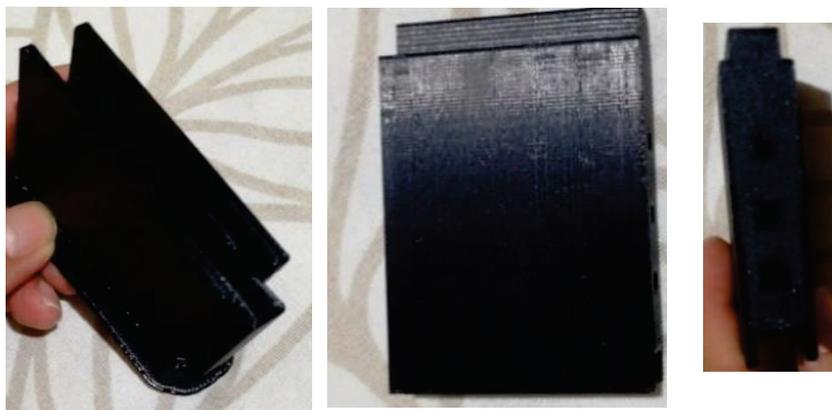


Figura 25. Impresión en 3D de segunda tableta

La *Figura 26* muestra el concepto original del armado de los paneles para conformar el muro divisorio. Cabe mencionar que este diseño fue el seleccionado para la aplicación de pruebas experimentales y la construcción escala 1:1 en el Centro Tecnológico de la FES Aragón.

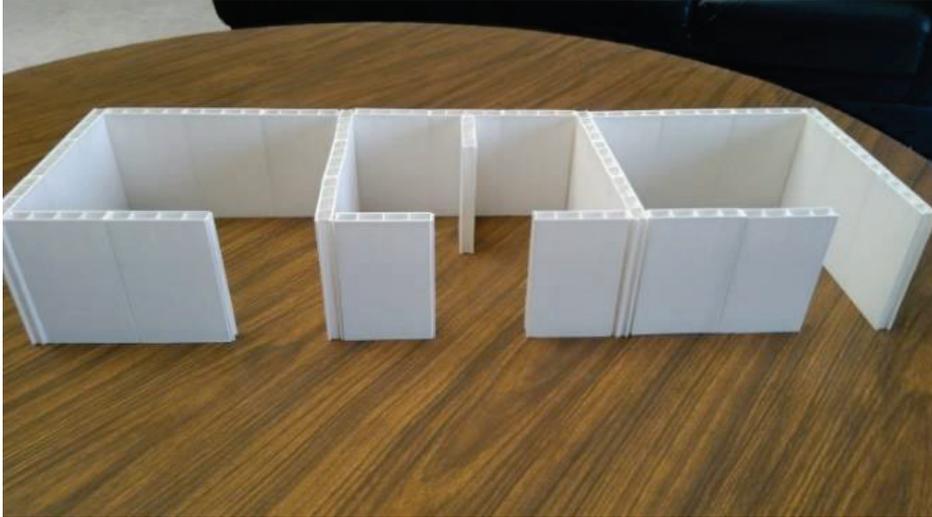


Figura 26. Armado de paneles a escala

La construcción de estas maquetas permitió corroborar cuál de los diseños era el mejor desde el punto de vista de armado y costo, cabe mencionar que los primeros diseños a base de un proceso de compresión de plástico fueron descartados debido a que resultaban poco eficientes al momento de la producción, pues requerían de una mayor cantidad de materia prima para su elaboración y resultaban pesados. (véase anexo 1)

Para la elección de la materia prima se realizó una revisión del estado del arte, la cual arrojó que el material idóneo para la elaboración de los paneles es el PVC. En la Tabla 2 se puede observar un resumen de estas propiedades. También se hizo un estudio del proceso de reciclaje de algunos plásticos para ver la factibilidad de conseguir ciertas materias primas, esto se puede ver con detalle (en el anexo 2).

Características del PVC

- Termoplástico
- Resistente y liviano
- Versátil
- Estable
- Longevo
- Seguro
- Reciclable
- Aislante eléctrico
- Ignífugo (Téllez González, 2004)

Tabla 2.- Propiedades del PVC.

| Nomenclatura | Composición química | Densidad | Cristalinidad | Módulo elástico | Coefficiente de Poisson: |
|--------------|---------------------|------------------------------|---------------|-----------------|--------------------------|
| PVC | $(CH_2CHCl)_n$ | 1.3 - 1.58 g/cm ³ | Amorfo | 2.14 - 4.14 GPa | 0.383 - 0.407 |

| Resistencia mecánica a la compresión | Resistencia mecánica a la tracción | Tenacidad a fractura (K _{Ic}) | Constante dieléctrica | Índex de refracción | Temperatura de transición vítrea: |
|--------------------------------------|------------------------------------|---|-----------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 42.5 - 89.6 MPa | 40.7 - 65.1 MPa | 1.46 - 5.12 MPa·m ^{1/2} | 3.1-4.4 Tamb | 1.54 - 1.56 | 74.9 - 105 °C |

Método de conformado de plástico

La elección de un método de conformado para materiales plásticos debe hacerse teniendo en cuenta el tipo de material que se va a utilizar (según sea termoplástico o termoestable), estado físico del mismo (sólido o líquido), tipo y diseño de pieza, producción prevista y aspectos económicos generales. En este caso se eligió el método de extrusión, pues resultaba el más óptimo de acuerdo a la forma y el moldeo del material que se seleccionó con anterioridad, cabe mencionar que para tener una mejor idea de este proceso de fabricación se realizó una visita a una planta de transformación de plástico, (ver anexo 2).

El diseño propuesto originalmente fue teniendo cambios paulatinos conforme se fue avanzando en esta etapa del proyecto. Un análisis preliminar mostró que no eran necesarias las juntas universales propuestas en un principio, esto debido simplemente a la forma de la tableta y su diseño de machimbrado. Adicionalmente a esto el agregar más elementos encarecía el producto. De hecho, esta fue una de las razones por las cuales se eliminaron los postes de plástico y se cambiaron por material reciclado sin un proceso de conformado adicional, (Figura 27).

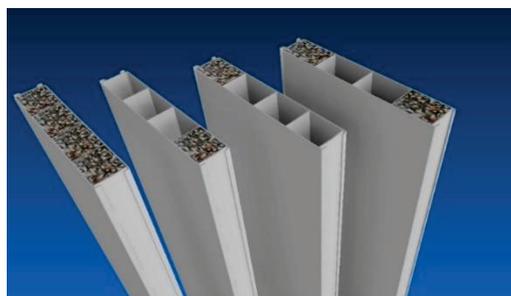


Figura 27.- Tableta de PVC rellena de material plástico de reciclaje.

El diseño final muestra que el sistema constructivo puede ser más versátil de lo pensado inicialmente, es por esa razón que el proyecto dio un salto en cuanto a proyección de lo

que se esperaba; ya que es posible adaptar el muro a cualquier lugar sin importar sus dimensiones. Es por ello que únicamente se realizaron algunas simulaciones considerando las medidas de la plaza comercial propuesta en un inicio en Tecámac Estado de México.

Una vez que se tenía definido que la geometría de los paneles sería rectangular, se buscó que la función que desempeñara fuera óptima para poder realizar la fabricación de un panel divisorio con la suficiente calidad para ser lanzado al mercado. Para definir estos criterios se realizó una investigación de normativas; Pues estas normas situarían en estándares adecuados de evaluación la calidad del producto.

Para la selección de pruebas se eligieron:

- Confort térmico
- Confort acústico
- Relajación de esfuerzos

Desarrollo experimental

Para la etapa de desarrollo experimental del proyecto se tuvieron que tomar en cuenta diversos factores, dado que la línea de investigación que se sigue es la de reutilizar el plástico de reciclaje para incorporarlo a un sistema constructivo, se optó por ver la viabilidad de utilizar diferentes tipos de plástico y transformarlos en un panel. Uno de los prototipos que se consideraron inicialmente consistió en una tableta de 60 x 40 cm a base de polietileno de alta densidad, sin embargo, por los costos que representaba la producción escala 1:1 del panel solamente se llegó a una propuesta de impresión 3D. Además, en el proceso de consulta del estado del arte se verificó que este panel tenía inconvenientes con respecto al peso, estética y costo de manufactura e instalación, por lo que no se continuó con esa línea de investigación. Posteriormente se realizó una búsqueda para poder situar de manera adecuada qué material y qué procesos de producción eran los idóneos para lograr los objetivos planteados inicialmente en el presente trabajo.

Al final se logró situar al PVC como el material idóneo para la fabricación de tabletas destinadas a conformar el muro divisorio. Para la caracterización de las pruebas se hizo una comparativa con otros tipos de muros divisorios como por ejemplo los hechos de mampostería y Tablaroca, en los cuales se busca además de una estética adecuada una resistencia mecánica, confort acústico y confort térmico. Cabe mencionar que para las pruebas se logró conseguir dos muestras de tabletas de PVC que fueron moldeadas bajo un proceso de extrusión, el diseño ya estaba limitado por la empresa manufacturera pues contaban con los medios para ofrecer una forma determinada. Por lo anterior, no se contó con un diseño propio, pues la fabricación de este aumentaba considerablemente los costes.

Por lo anteriormente descrito se procedió a realizar un análisis de tabletas de PVC y su comportamiento. Esta etapa consistió en un diseño experimental basándose en las normativas anteriormente descritas. Cabe mencionar que cada experimento fue realizado con los recursos que se tenían disponibles en el Centro Tecnológico de la FES Aragón y el Tecnológico de Estudios Superiores de Chalco bajo la supervisión de los responsables de cada una de las áreas de laboratorio e investigación.

Prueba de confort acústico

Una de las partes sustanciales que debe cumplir un muro divisorio es la de aislar el ruido del exterior. El ruido puede afectar de manera importante la salud de las personas, es por esta razón que es importante evaluar la capacidad de aislamiento del diseño propuesto y con ello especificar si este puede contribuir al confort que es considerado en los edificios o sistemas constructivos.

El ruido es un sonido no deseado, y por lo tanto incómodo. El ruido se define como el sonido o grupo de sonidos de tal amplitud que produce molestia o interferencia en la comunicación. La diferencia entre sonido y ruido radica en que el primero puede ser cuantificado, mientras que el segundo es un fenómeno subjetivo (Párraga Velásquez & Teonila, 2005).

Una de las pruebas para mediciones acústicas es la de aislamiento al ruido aéreo. Esta prueba consiste en el aislamiento acústico de una sala, la cual se le denomina "sala

emisora”, a otra sala la cual es nombrada “sala receptora”. Estos preceptos están descritos en la **Norma ASTM E90**. (la normativa fue descrita con detalle en el capítulo 1).

La medición de sonidos es a través de sonómetros y de dosímetros. Para que los resultados de la medida del sonido se parezcan lo más que se pueda a la percepción del oído humano, los instrumentos de medida llevan incorporados filtros o redes de compensación que determinan las escalas A, B, C o D. La más utilizada es la escala A, por ello los resultados del ruido industrial se dan en decibelios (A) (dbA) (Párraga Velásquez & Teonila, 2005).

Para emular esta prueba se construyeron dos cubos de madera que se muestran en la Figura 28, estos fueron utilizados para la caracterización del material.

Los cubos se elaboraron con cajas de pino con tapas de MDF de 25 x 25 cm unidas con adhesivo Ceys Montack y selladas con resanador para madera marca polyform. En una tapa de cada caja se realizó un orificio de 2.5 cm de diámetro para ingresar un sonómetro como se muestra en la Figura 29. Las cajas se forraron internamente con hule espuma de poliuretano marca Marna, modelo 404005, con un espesor de 5cm.

Adicionalmente se cubrió con hule espuma el orificio para el sonómetro y los puntos de contacto entre las cajas para impedir la pérdida de sonido.

Para la caracterización de la prueba se utilizaron dos sonómetros LCD con las siguientes características: sonido digital 30-130 Db, marca generic, modelo WT85 30-130dB. Máximo nivel de sonido medido: 30 dB - 120 dB, resolución de 0.1dB, en la Figura 30 se puede apreciar la imagen del equipo.

Para la generación de sonido se utilizó la página <https://sublime.tools/es/generador-de-tonos> que se observa en la Figura 31. Adicional a la página para generar tonos y frecuencias se acopló una bocina bluetooth recargable de 110 V con potencia de 4 W cuyas dimensiones son: 8 cm de ancho, 4 cm de alto y 8 cm de profundidad.



Figura 28.- Cajas elaboradas a base de MDF para la prueba de acústica.



Figura 29.- Perforación hecha a caja de MDF para ingresar el sonómetro.



Figura 30.-Sonómetro LCD marca GENERIC utilizado para la prueba.

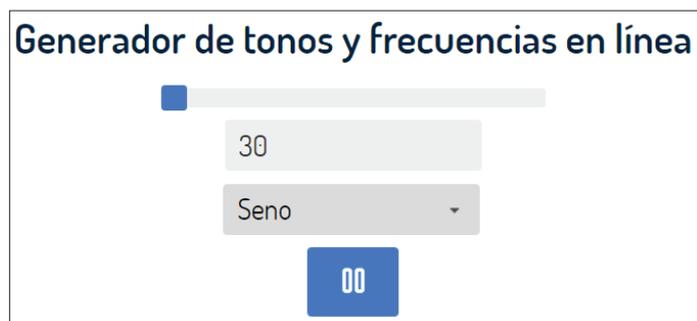


Figura 31.-Generador de tonos y frecuencias utilizados de la página <https://sublime.tools/es/generador-de-tonos>.

Para la realización de las mediciones se introdujo la bocina dentro de un cubo (Figura 32). En la que se observa el armado de las cajas, las cuales fueron unidas con cinta industrial por la parte que no contenía tapa de MDF, se procuró que al unirse se formara un sello con la misma espuma de poliuretano para prevenir pérdida de sonido y cuidar la precisión de la prueba.



Figura 32.- Sonómetro dentro de caja de MDF.



Figura 33.- Unión de cajas de MDF.

La medición se registró por triplicado, generando tonos con ondas senoidales de 0 a 1000 Hz aumentando cada 50 Hz, permitiendo entre muestra y muestra 10 segundos para tomar la medición del sonómetro, el cual se registró bajo un rango mínimo.

Para la primera medición (de las tres realizadas) no se utilizó material que aislara el sonido, esta primera prueba sería nombrada como referencia, (Figura 34).

La segunda prueba consistió en colocar una placa de PVC hueca dentro los cubos, fijándola y aislándola con hule espuma de poliuretano, (esta se observa en la Figura 35).

La tercera prueba se realizó con la misma placa, pero rellena de pellets de polietileno de alta densidad de dimensiones entre 4 a 6 milímetros (Figura 37).



Figura 34.- Primera prueba de mediciones de sonido (referencia).



Figura 35.- Segunda toma de mediciones con placa de PVC.



Figura 36.- Tercera toma de mediciones con placa de PVC rellena de pellets.



Figura 37.- Cajas de MDF con una placa de PVC rellena de plástico de reciclaje.

Las lecturas de los sonómetros en la caja 1 y caja 2 fueron registradas en una hoja de cálculo de Excel, a las cuales se les determinó la diferencia entre las mediciones de la caja 2 menos las de la caja 1, para identificar la variación de decibeles; a estas diferencias se les calculó el promedio, desviación estándar y por medio del software Minitab se ejecutó una prueba de Anova de una vía. Obteniendo así el valor p con significancia 0.05.

Pruebas de conductividad térmica

Una interrogante que se tiene que plantear al momento de diseñar un material para construcción es: ¿Qué confort térmico permitirá brindar este componente al usuario que lo va a habitar? Resulta de suma importancia hacer una valoración de este elemento en el diseño, pues es una pieza clave para futuros gastos energéticos en obra.

Givoni (1969) definió la sensación térmica como la percepción del calor o frío del ambiente a partir de la actividad neurálgica originada en los nervios de la piel que actúan como receptores térmicos. A su vez la percepción de las condiciones atmosféricas se ve afectada por los procesos fisiológicos, el vestuario y la actividad de los individuos. La explicación operativa del confort térmico se reduce en consecuencia a un estado de equilibrio resultante del balance de las cargas térmicas que se intercambian entre el cuerpo humano y su ambiente inmediato, debido al proceso químico del metabolismo y al proceso fisiológico de termorregulación en respuesta a los elementos externos del clima: radiación, temperatura, humedad y movimiento del aire, como elementos principales (Critchfield, 1974).

Cuando el balance térmico arroja un valor cero, es decir cuando el cuerpo humano no gana ni cede calor, significa, según este enfoque, que las personas experimentan objetivamente una sensación térmica de confort. En cambio, cuando el resultado es diferente a cero el enfoque plantea que el sujeto experimenta una sensación objetiva de incomodidad (Gómez Azpeitia Gabriel, 2007).

Para la caracterización de las muestras con esta prueba se tomaron en consideración las metodologías estándar para medir "k" en materiales sólidos; propuestas por la *American Society for Testing Materials* (ASTM) en **las normas C117 y C518** (ASTM C117, ASTM C518), y por las normas de la secretaria de Energía en México para el ahorro y eficiencia de energía a través de las NOM (Normas Oficiales Mexicanas) (NOM-008-2001, NOM-018-1997, NOM-020-2008). En cuyos documentos solicita la determinación de las propiedades físicas de los materiales y la conductividad térmica "k".

Para determinar la conductividad térmica (k) del material, es necesario establecer algunos factores y propiedades físicas del mismo, sin embargo, la probeta especificada para esta prueba contiene diversos residuos de partículas no definidas dentro de un material reciclado, siendo estas en un porcentaje menor al 3 %, además de diversas cámaras de aire tanto por geometría de la probeta, como por espacios vacíos en la aglomeración del material reciclado como se muestra en la Figura 38.

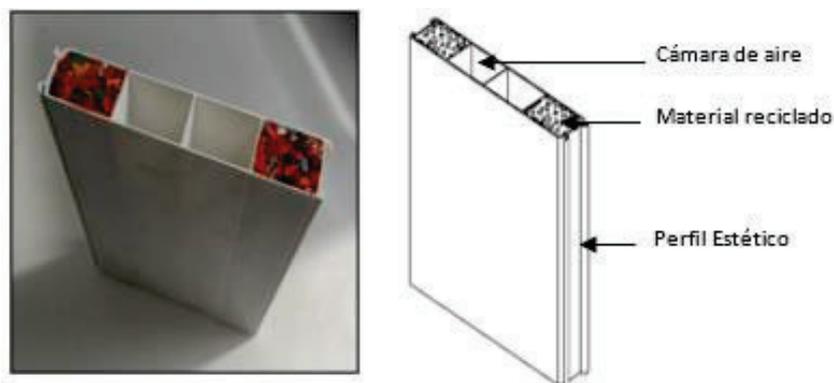


Figura 38.- Tableta de PVC rellena de plástico de reciclaje en pellets.

Para la determinación de valores en la prueba se hizo uso de una cámara tipo adiabática. El término adiabático hace referencia a volúmenes que impiden la transferencia de calor con el entorno. Un ejemplo es la temperatura adiabática de llama, que es la temperatura que podría alcanzar una llama si no hubiera pérdida de calor hacia el entorno. En la Figura 39 se aprecia la transferencia de calor de un material compuesto.

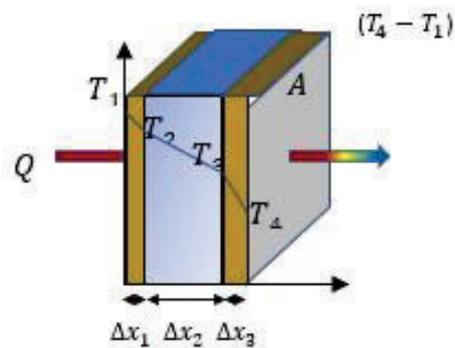


Figura 39.- Diagrama de transferencia de calor en un material compuesto.

La fórmula general para determinar el valor de la conductividad térmica "k" es a través de la ecuación de Fourier (Kern, 2001) para la conducción del calor. Donde se hace pasar un flujo de calor a través de la geometría del sólido. Esta ecuación está dada por:

$$Q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Donde:

Q: es el flujo de calor que atraviesa la pared

k: coeficiente de conductividad térmica

A: es el área transversal al flujo de calor

ΔT : es la diferencia de temperatura entre las paredes del material

Δx : es el espesor de la pared del material por el cual atraviesa el flujo de calor

El signo negativo implica que la transferencia del calor fluye de una temperatura mayor a una menor.

Por lo que el valor de k está determinado por la siguiente ecuación:

$$k = -\frac{Q\Delta x}{A\Delta T} \quad (2)$$

Fuente de Calor (Cámara adiabática)

Para la determinación experimental de "k", se utilizó una cámara tipo adiabática donde en forma controlada se aplica un flujo de calor al material a analizar y medir su respuesta térmica, conociendo su geometría. La cual usa como fuente de calor, un foco incandescente de 12 W ubicado en el interior de la caja y frente a la pared de la muestra a estudiar. La potencia aplicada a la muestra es controlada por un variador de voltaje.

Para determinar el valor de "k" de la muestra, se utilizó un cambio de temperatura promedio ocasionado por el flujo de calor a través de un contenedor de la muestra, y una vez que el sistema térmico alcanzó el estado estacionario, el flujo de calor aplicado al sistema se determinó con el producto de la corriente y voltaje aplicado al elemento calefactor. Este flujo de calor se aplicó a las 6 paredes interiores de la cámara adiabática y requiere de un balance de energía para conocer el flujo de calor que atraviesa únicamente por la muestra analizada, tal como se muestra en la Figura 40, Figura 41 y Figura 42. Por ello, fue necesario realizar una calibración de la cámara adiabática antes de proceder a la medición de las muestras.

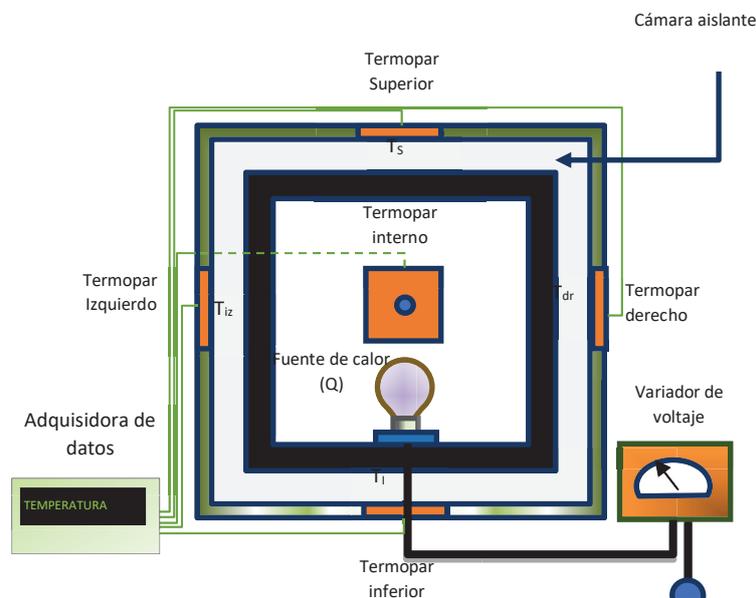


Figura 40.- Diagrama frontal de cámara adiabática.

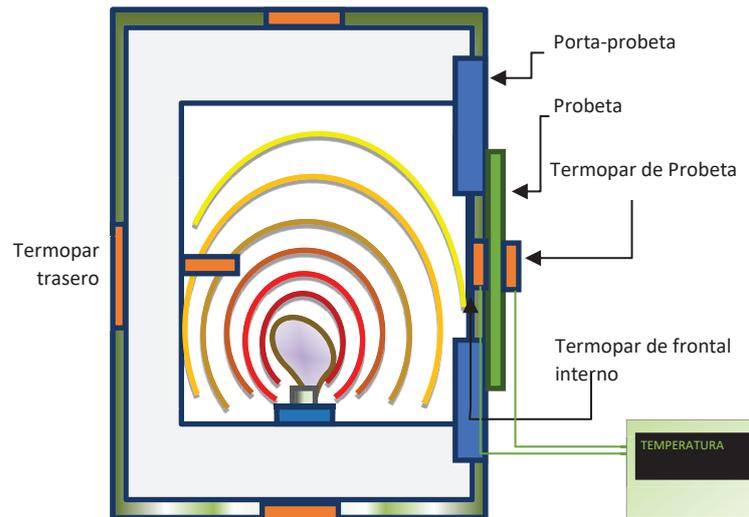


Figura 41.- Diagrama lateral de cámara adiabática.



Figura 42.- Armado de cámara adiabática.

Equipo de adquisición de datos

Para obtener una tabla de valores medidos y realizar la gráfica de comportamiento, se requirió de un equipo interfaz de adquisición de datos Agilent modelo 34972A junto con su tarjeta adquisidora configurada para termopares (Figura 43).

Equipo de adquisición de datos
 Modelo: 34972A
 Marca: Agilent
 Tarjeta e Adquisición de datos (18 Puertos)



Figura 43.- Equipo de adquisición de toma de datos.

Equipo de medición y control térmico

Para controlar y comparar temperatura en la probeta se utilizó una cámara termográfica (Figura 44) Testo 875 para comparar mediciones y analizar fugas durante la prueba.



Figura 44.- Cámara termográfica.

Para monitoreo y control de temperatura de la muestra se utilizó el módulo de temperatura W1209 (Figura 45) ya que permite accionar componentes y es compatible con el equipo de adquisición de datos.

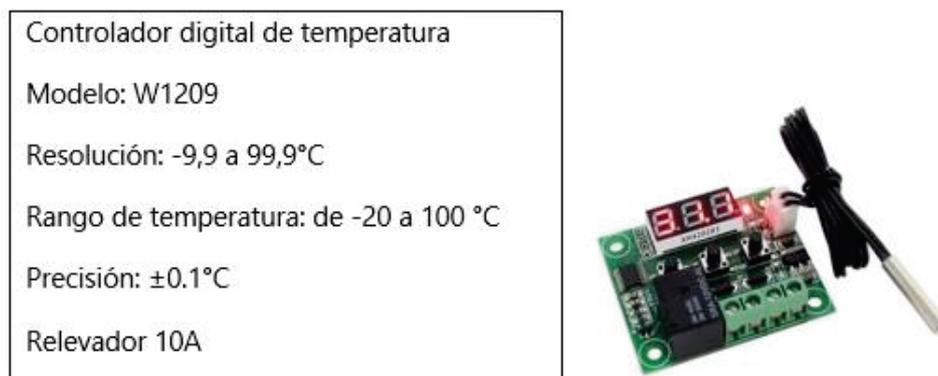


Figura 45.- Controlador digital de temperatura.

Preparación de probetas

Para las mediciones fue necesario adecuar la muestra en un portaprobetas con el fin de mantener el sello hermético de la cámara adiabática así como la correcta instrumentación, esto se muestra en la Figura 46.

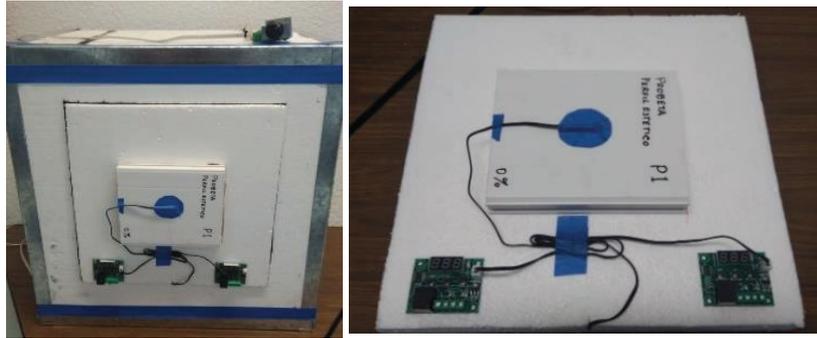


Figura 46.- Adecuación de cámara adiabática.

La muestra de manera esquemática como se realizó el montaje de la cámara adiabática, las dimensiones que se tomaron en consideración para el armado y la colocación de los sensores.

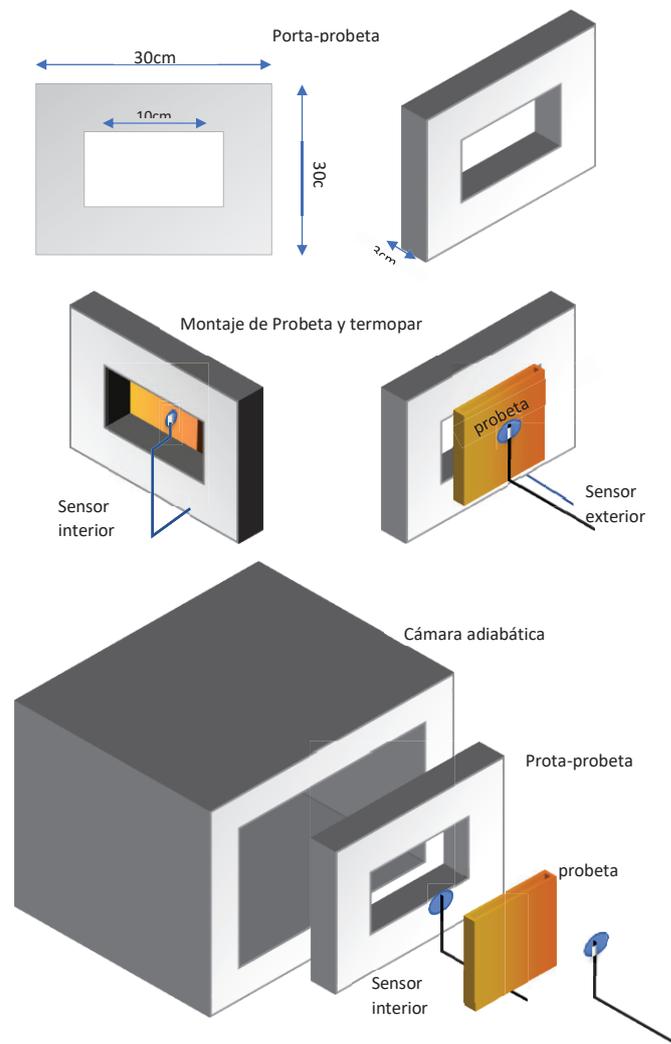


Figura 47.- Montaje e instrumentación de porta probeta.

La Figura 48 muestra de manera esquemática el cómo se realizó la conexión de la cámara adiabática y el ordenador.

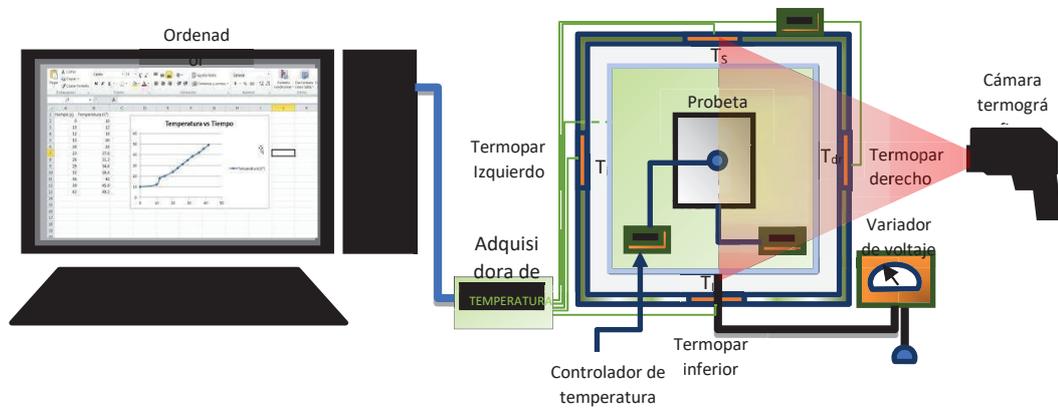


Figura 48.- Diagrama de colocación de equipos para toma de datos.

La Figura 49 y Figura 50 muestran imágenes del arreglo experimental para la toma de datos.



Figura 49.- Fotografía de equipo armado.



Figura 50.- Fotografía de toma de primeros resultados.

Calibración de la cámara adiabática

A pesar de que la cámara adiabática asume que las pérdidas de calor son nulas, es necesario determinar las pérdidas del sistema adiabático. Dado que las paredes de la cámara poseen un valor de conductividad térmica, cierta cantidad del calor aplicado se pierde por conducción, convección y radiación por las paredes que la conforman. Para ello se realizaron mediciones usando diferentes potencias aplicadas en el interior de la cámara y se midieron las temperaturas superficiales del interior y del exterior de las paredes de PE. El valor de "k" reportado para el PE en la literatura es de $k = 0.06 \text{ W/m K}$, aunque este valor puede ser diferente dependiendo de la densidad del PE utilizado. Esto se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3.- Toma de resultados (calibración de cámara adiabática).

| Muestra | T_{int} | T_{ext} | ΔT | T_{Amb} | I | V | Q | k |
|----------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|-------|--------|-------|
| P-sup | 54.43 | 28.24 | 26.19 | 26.8 | 0.365 | 40.23 | 14.23 | 0.056 |
| P-inf | 54.72 | 27.82 | 26.90 | 26.7 | 0.330 | 38.52 | 12.71 | 0.059 |
| P-pos | 55.01 | 29.72 | 25.29 | 26.8 | 0.356 | 37.2 | 13.24 | 0.062 |
| P-der | 54.52 | 29.10 | 25.42 | 26.5 | 0.385 | 36.8 | 14.168 | 0.049 |
| P-izq | 54.62 | 28.23 | 26.39 | 26.2 | 0.334 | 36.78 | 12.284 | 0.048 |
| Valor Promedio | | | | | | | | 0.548 |

El valor medido de la conductividad térmica del PE es de $k = 0.0548 \pm 0.007 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$, valor muy cercano a la valor reportado en los manuales de $0.060 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$.

Prueba de relajación de esfuerzos

El comportamiento de relajación se refiere a la pérdida de la carga en función del tiempo, cuando un componente es sometido a un esfuerzo inicial, en un porcentaje preestablecido de la carga nominal de rotura y manteniendo constante la longitud.

La existencia de modelos matemáticos para predecir el comportamiento de relajación permite la reducción de los tiempos de ensayo requeridos en la caracterización de componentes expuestos a la relajación de esfuerzos, reduciendo con ello los costos de producción y aseguramiento de la calidad del producto. (Cabello, 2014).

Las pruebas de relajación de esfuerzos se realizaron en probetas que fueron cortadas de una sección del panel principal de PVC y se realizaron en un equipo especial para ello.

Para la realización de las pruebas se utilizó un equipo que permite la aplicación de fuerza a una probeta que se encuentra en un arreglo en voladizo y consta de dos conjuntos principales los cuales son:

- a) Sistema de aplicación de carga.
- b) Sistema de medición y/o adquisición de datos. Estos equipos se pueden observar



Figura 51. Equipo para prueba de relajación de esfuerzos.

Sistema de aplicación de carga

El propósito de este sistema es aplicar una carga puntual, que se puede medir en el extremo libre de la muestra sostenida por la abrazadera. La medición de la fuerza se realiza utilizando un transductor de fuerza que consta de un dispositivo de anillo de acero con cuatro galgas extensométricas conectadas en un puente completo de Wheatstone (Figura 52. Arreglo de una celda de carga.) colocado en las superficies tanto interior como exterior.

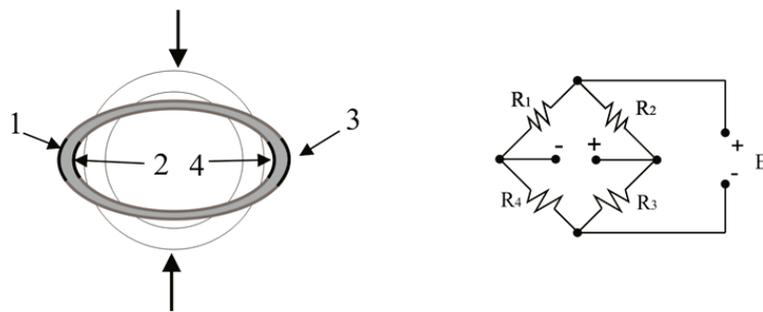


Figura 52. Arreglo de una celda de carga.

Para la sujeción de la celda de carga se tiene un marco con dos guías y el deslizamiento de prensa se realiza con un tornillo sin fin que gire mediante una manivela para aplicar la fuerza a la probeta, como se muestra en la Figura 53.

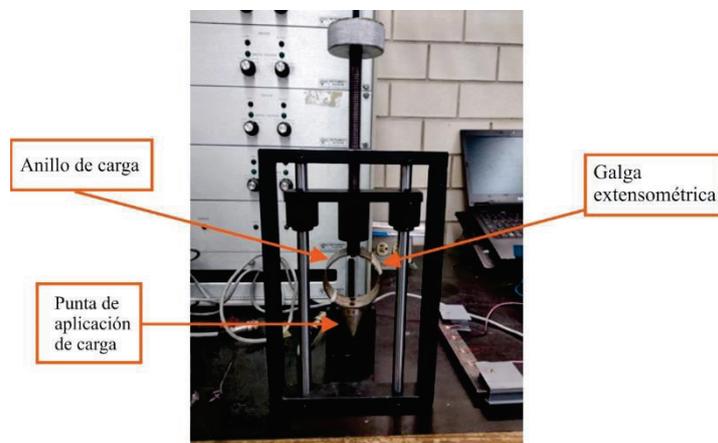


Figura 53. Detalle de la sujeción de la probeta y aplicación de carga.

La medición de la carga no se realiza de forma directa, es decir esta se obtiene en micro deformaciones las cuales son transformadas a unidades de fuerza por medio de ecuaciones de calibración. Cabe destacar que para los experimentos de relajación de esfuerzos se realizaron pruebas simultáneas en dos equipos los cuales tienen diferentes ecuaciones de calibración mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 4. Ecuaciones de calibración de anillos de carga de los equipos utilizados para la prueba experimental.

| Calibración de anillos de carga | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Anillo | Relación $\varepsilon - F$ |
| 1 | $F = 2,9174 \varepsilon + 0,2432$ |
| 2 | $F = 2,8004 \varepsilon - 0,3314$ |

Sistema de adquisición de datos

El sistema que permite adquirir deformaciones de los extensómetros utilizados en las pruebas fue el P3 de la marca Vishay, el cual permite por medio de un software, adquirir y guardar las deformaciones medidas en una PC, en intervalos de segundos o minutos. El P3 cuenta con cuatro canales de medición, uno se usa para monitorear y grabar durante la prueba los datos de las celdas de carga al mismo tiempo que 1 o 2 canales (dependiendo de la prueba) hacen un registro de las deformaciones inducidas en la probeta de ensayo.

Procedimiento de pruebas

Las muestras se obtuvieron de los paneles que se utilizaron en la construcción del muro y fueron cortados con las mismas dimensiones de 10 cm x 2 cm con una pestaña por ambos lados de 0.5 cm., ya que el panel tiene un espesor muy pequeño. Posterior a ello las probetas fueron instrumentadas con galgas extensométricas. Debido a la fragilidad de las muestras se colocó resina en ambos extremos para poder sujetarlas al equipo y para aplicar la fuerza. Lo anterior se aprecia en la Figura 54.



Figura 54.- Geometría de las probetas ensayadas.

Después, las probetas se montaron en el equipo y se les aplicó una fuerza como se observa en la Figura 55. Es importante aclarar que el aplicador de fuerza en las pruebas de relajación de esfuerzos se mantiene en una misma posición.

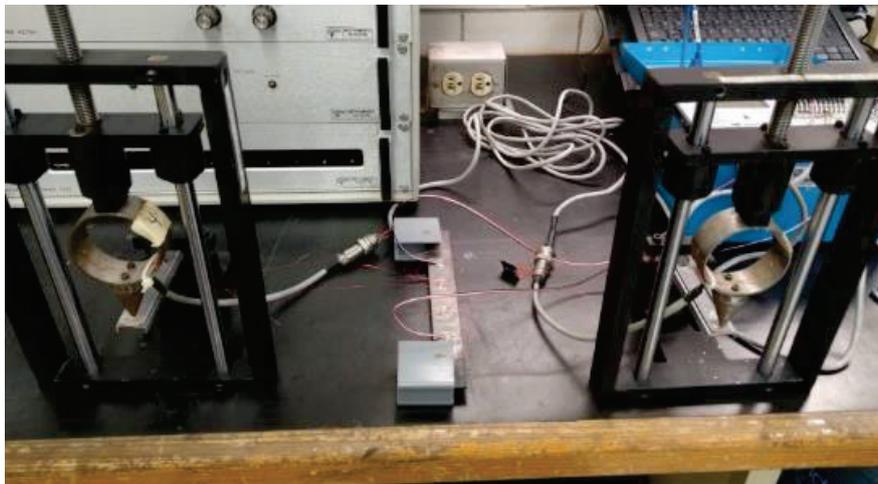


Figura 55. Arreglo para la prueba de relajación de esfuerzos.

Como se mencionó anteriormente la adquisición de datos y el monitoreo de la prueba se pudieron observar en una computadora conectada al P3 mediante un software de dicho sistema el cual se configura para el monitoreo y captura de datos durante la prueba como sigue:

Primero se determinó el tipo de puente, seleccionando el icono *BRIDGE*, con el icono *BAL* se logró poner en cero cada canal y balancear el sistema.

Con el icono RECORD se configuró el tipo de guardado y se seleccionaron los canales activos, esta opción permitió grabar los datos visualizados en la pantalla. El procedimiento de grabado puede ser manual o basado en el tiempo.

Una vez finalizada esta configuración se inició la prueba de flexión. La carga se aplica sobre la probeta mediante la fuerza que ejerce el sistema de aplicación de carga al girar la manivela del sistema de desplazamiento.

Terminada la prueba se seleccionó el icono STOP, e inmediatamente apareció un recuadro con la opción de "Guardar la serie generada", en este recuadro es posible darle un nombre a la serie obtenida y guardarla donde se requiera, la serie se guarda en formato .txt y fue posible exportarla a Excel. Esta obtención de datos se puede ver gráficamente en la Figura 56.

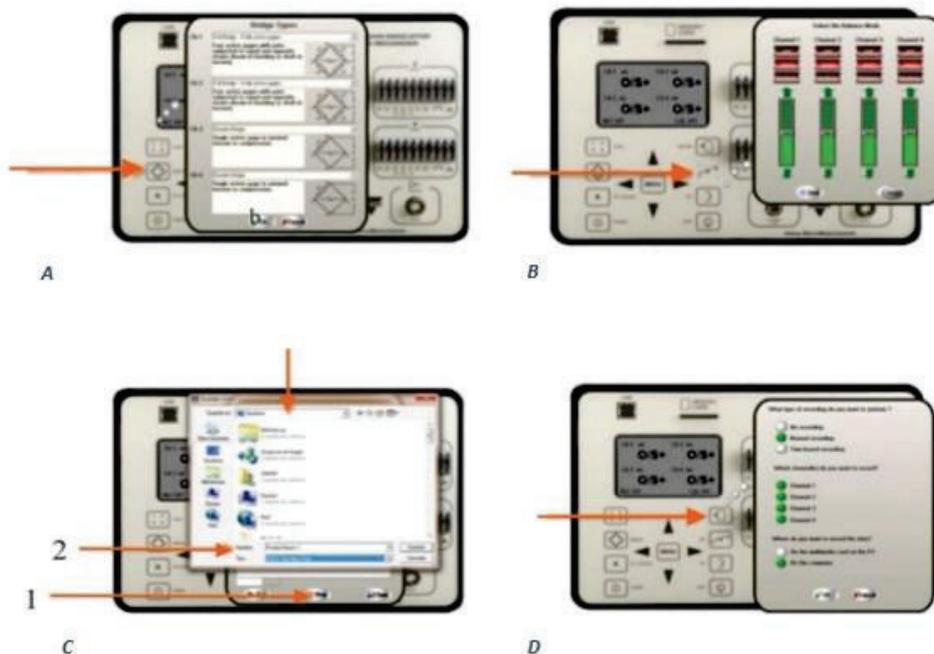


Figura 56.- Equipo para la toma de datos.

Capítulo 3

Análisis de resultados y discusión



Diseño final de muro divisorio

El diseño del muro se logró consolidar de forma óptima al obtener tabletas de PVC moldeadas a base de un proceso de extrusión. Cabe señalar que el método de fabricación se vio limitado por el presupuesto destinado para las muestras escala 1:1.

Uno de los objetivos principales era que el sistema constructivo fuera reutilizable, para esto debía cumplir con una geometría que le permitiera ser desarmable, y que durante este proceso recibiera el menor daño posible; esto fue factible cumplirlo gracias a que cada tableta contaba con un sistema de ensamblado a base de machihembrado, (similar al de los pisos de madera). Esta forma de las tabletas fue muy útil pues permitió que cada pieza fuera ensamblada sin necesidad de un conglomerante o algún otro tipo de adhesivo.

Otro objetivo que se logró alcanzar fue el de prescindir de mano de obra especializada para la colocación de los muros. Para este punto se adaptaron postes y canales de metal que ya son comerciales y que se utilizan para el armado de paneles de yeso y paneles de cemento; sin embargo, resultaron bastante útiles para armar marcos y dar refuerzo a los paneles de PVC.

Cada tableta de PVC ya contaba con un acabado final, el panel al ser liso, de un color sólido, tener una textura sin manchas, grietas, porosidades, aberturas u otra imperfección hacía innecesario tener que llevar algún tipo de tratamiento adicional al de solamente armar las piezas y estructurar los marcos metálicos. Por ello a diferencia de cualquier otra instalación a base de prefabricados, su tiempo de colocación resultó rápida, eficiente y limpia, por lo que se concluyó que es un material óptimo para ser lanzado al mercado y representarles competencia a las marcas existentes.

El transporte y almacenaje del material también fue ejecutable de manera rápida y sencilla, pues al hacer los diferentes tipos de armado de muro, se concluyó que los cortes de 60 cm de largo facilitan su guardado y permiten inclusive llevarlos en la cajuela de un auto compacto. El peso tampoco es un impedimento pues los paneles son ligeros y no representan un problema al momento de apilarlos uno sobre otro, tampoco se deforman,

agrietan o rompen de ninguna manera (por ejemplo, cuando se apilan en hileras de 15 a 20 tabletas no sufren ningún daño o deformación).

Cabe mencionar que el proceso de extrusión permite sacar piezas del largo que se desee, sin embargo, se pensó en solicitar inicialmente piezas de 2.30 m para poder transportarlas en una camioneta, el ancho de la pieza ronda de los 20 a los 21 cm. Después se hicieron cortes a conveniencia de las configuraciones y ensambles que se querían lograr, esto pensando en optimizar el tiempo de armado, puesto que piezas más cortas son más sencillas de maniobrar, apilar y guardar.

El material favoreció de manera significativa para cumplir los objetivos que se buscaban al inicio de la investigación para dividir espacios interiores, pues resultó:

- Ser económicamente viable (al tener facilidad de obtención y tener un bajo coste de mantenimiento)
- Mecánicamente funcional (al resistir los esfuerzos necesarios que conlleva la instalación de un muro divisorio)
- Constructivamente factible (al permitir conjugar diferentes diseños con la estética del material y no necesitar de técnicas ni equipos de construcción especializados para su colocación)
- Físicamente funcional (pues sus factores térmicos y acústicos resultaron aceptables para el fin que se desea conseguir)

Después de probar de manera empírica el diseño, ensamble y proceso de colocación del muro, se procedió a definir qué propiedades serían óptimas para ser analizadas en laboratorio y así brindar una certeza de que el material tenía cierto confort para el usuario que los utilizaría.

Estas propiedades fueron seleccionadas de acuerdo a los alcances que se tenían en ese momento con respecto a los laboratorios que estuvieran abiertos. Cabe mencionar que gran parte del desarrollo de la presente investigación fue realizada durante la pandemia de SARS COVID 19, lo que delimitó de manera significativa la evolución del presente trabajo.

Selección de normas y resultados de pruebas

De manera general la búsqueda de normativas reflejó que en realidad no existe como tal un parámetro que sea análogo para el muro propuesto de PVC en cuanto a aplicación se refiere, pero evidentemente si es congruente con algunas pruebas para la medición de variables como la de transmisión de sonido.

De la clasificación de normas y reglamentos se descartaron algunas como:

- Normas de propagación de fuego

Algunas de las normas que consideran la propagación de fuego son las siguientes:

- a) Reglamento de construcciones del Distrito Federal, Título quinto, del proyecto arquitectónico Art. 110: En esta parte del reglamento se consideran las características que deben tener los elementos constructivos y arquitectónicos para resistir el fuego.
- b) ASTM E84: El objetivo de esta prueba es determinar el comportamiento de combustión relativo del material.
- c) ASTM E800: El objetivo es investigar la composición de los gases; relacionados directamente con la inflamabilidad, la generación de humo, efectos tóxicos o irritantes; para estudiar mecanismos de combustión, o para el desarrollo de equipos de prueba.
- d) ASTM E119: El objetivo de este método de prueba es evaluar la duración durante la cual los tipos de ensamblajes que contienen un incendio, conservan su integridad estructural o exhiben ambas propiedades dependiendo del tipo de ensamblaje involucrado durante una exposición de prueba predeterminada.

Estas normativas se descartaron ya que además de no contar con los instrumentos y condiciones adecuadas para tomar datos, la revisión del estado del arte mostró que el PVC en su composición química es ignífugo.

- Normas técnicas complementarias para diseño por sismo. Sección 1.3 Muros divisorios, de fachada y colindancia.

Estas normas aplican a muros divisorios pero que contribuyan a resistir fuerzas laterales y debido a que el muro propuesto no está diseñado para tal función este tipo de consideraciones no aplican a nuestro caso propuesto.

- Pruebas de toxicidad

A pesar de que se conoce que la mayoría de los plásticos no son tóxicos este tipo de pruebas se realizan generalmente en configuraciones de válvulas, conexiones o tubos basándose principalmente en la NOM 273 con respecto a la NOM 004 de SEMARNAT. La prueba consiste en hacer 3 lavados con agua acidulada con un PH de 4.5 (analizándose el tercero de ellos) para determinar los niveles de metales pesados como plomo, estaño, cobre, bario en partes por millón o porcentajes. Pero es claro que para la aplicación propuesta no es necesaria la prueba ya que no es para uso alimenticio o alguno similar que pudiera afectar la integridad del usuario.

Debido a lo anterior y a que no existe como tal una regulación que se deba de cumplir para la venta del muro que se está proponiendo, las normas que se analizaron con mayor detalle son principalmente las que consideran medir alguna propiedad o variable que fuera de interés para la aplicación del muro. De manera general destacan las siguientes:

1. Pruebas de sonido
2. Pruebas de confort térmico
3. Relajación de esfuerzos

Estas pruebas fueron descritas con anterioridad en el capítulo 2 de este trabajo de investigación; a continuación, analizaremos los resultados obtenidos.

Pruebas de sonido

Esta prueba fue descrita a detalle en el capítulo dos de la tesis, a continuación, se presenta el análisis de resultados obtenidos en estas pruebas:

En la Figura 57. se muestra la gráfica con los resultados de las diferentes mediciones. En dicha figura se observa la diferencia entre los dBA medidos por los sonómetros de la caja 2 sin bocina y la caja 1 con bocina. La distribución de las mediciones muestra que tanto el panel de PVC y el panel de PVC más polietileno presentan una diferencia de medición entre las cajas de $p < 0.05$, lo que sugiere un efecto aislante de ambos paneles a partir de 50 a 350 Hz y de 500 a 850 Hz. La estadística no muestra diferencia significativa ($p > 0.05$) entre el comportamiento aislante de los paneles evaluados, sin embargo, se observa que de 450 a 650 Hz el panel de PVC hueco muestra una diferencia más marcada. La diferencia de las mediciones se observa en la Tabla 5.

Con esta diferencia de mediciones de los sonómetros se concluye que el panel de PVC hueco o con polietileno en su interior tiene un efecto aislante.

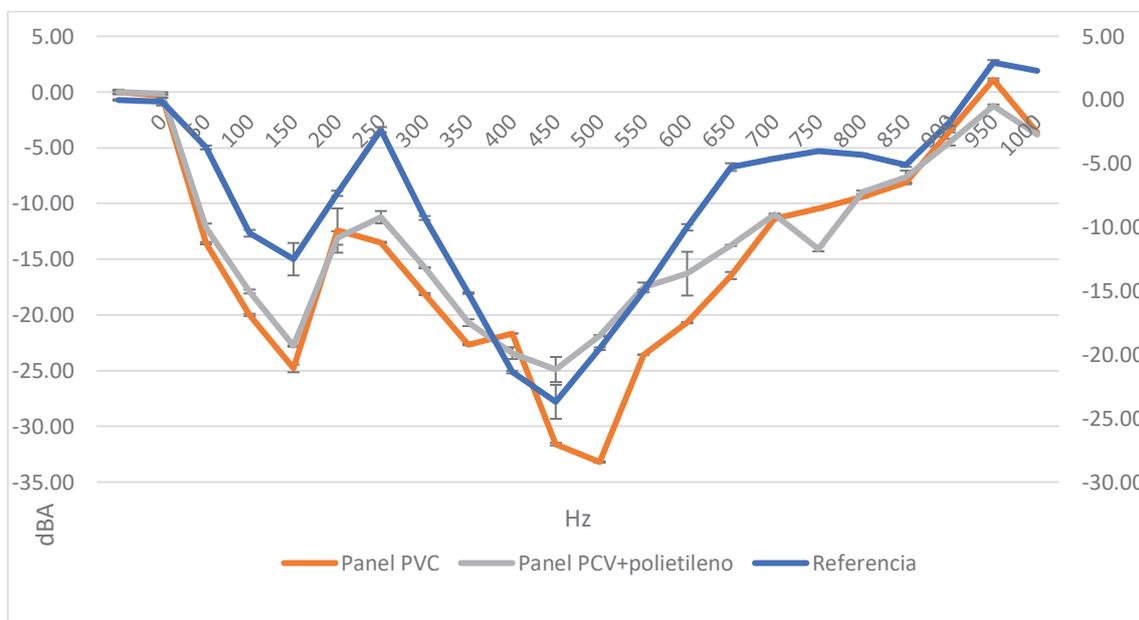


Figura 57.- Gráfica de los diferentes valores obtenidos.

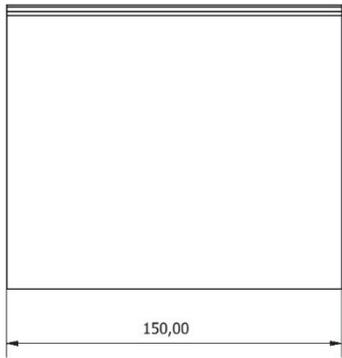
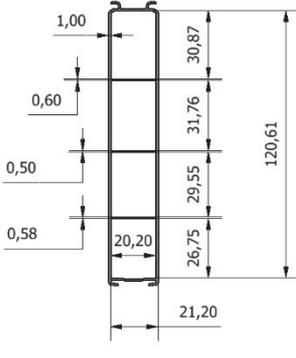
Tabla 5. Diferentes valores obtenidos con las mediciones de los sonómetros.

| | Referencia | Panel PVC | Panel PCV+polietileno |
|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Hz | Media \pm Desvest | Media \pm Desvest | Media \pm Desvest |
| 0 | -0.13 \pm 0.06 | -0.33 \pm 0.12 | -0.13 \pm 0.21 |
| 50 | -3.73 \pm 0.31 | -13.57 \pm 0.12 | -12.17 \pm 0.15 |
| 100 | -10.47 \pm 0.15 | -20.00 \pm 0.36 | -17.90 \pm 0.10 |
| 150 | -12.50 \pm 0.26 | -24.80 \pm 0.17 | -22.80 \pm 0.10 |
| 200 | -7.33 \pm 1.27 | -12.43 \pm 0.06 | -13.10 \pm 0.35 |
| 250 | -2.33 \pm 0.21 | -13.50 \pm 0.61 | -11.23 \pm 1.99 |
| 300 | -9.27 \pm 0.21 | -18.13 \pm 0.55 | -15.77 \pm 0.06 |
| 350 | -15.17 \pm 0.15 | -22.67 \pm 0.06 | -20.70 \pm 0.10 |
| 400 | -21.37 \pm 0.06 | -21.67 \pm 0.31 | -23.43 \pm 0.06 |
| 450 | -23.70 \pm 0.10 | -31.60 \pm 0.53 | -24.90 \pm 0.01 |
| 500 | -19.53 \pm 1.33 | -33.20 \pm 1.13 | -21.87 \pm 0.12 |
| 550 | -15.00 \pm 0.10 | -23.57 \pm 0.06 | -17.53 \pm 0.06 |
| 600 | -10.00 \pm 0.10 | -20.70 \pm 0.44 | -16.30 \pm 0.01 |
| 650 | -5.27 \pm 0.25 | -16.47 \pm 1.96 | -13.77 \pm 0.06 |
| 700 | -4.60 \pm 0.30 | -11.37 \pm 0.06 | -10.97 \pm 0.32 |
| 750 | -4.00 \pm 0.10 | -10.47 \pm 0.06 | -14.07 \pm 0.12 |
| 800 | -4.30 \pm 0.01 | -9.43 \pm 0.23 | -9.00 \pm 0.10 |
| 850 | -5.10 \pm 0.10 | -8.13 \pm 0.15 | -7.67 \pm 0.06 |
| 900 | -1.73 \pm 0.15 | -3.50 \pm 0.61 | -4.50 \pm 0.01 |
| 950 | 2.93 \pm 0.31 | 1.10 \pm 0.30 | -1.23 \pm 0.12 |
| 1000 | 2.30 \pm 0.20 | -3.63 \pm 0.12 | -3.83 \pm 0.12 |

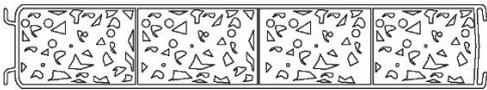
Pruebas de conductividad térmica

Como se mencionó en el capítulo anterior para estas pruebas se utilizó una cámara tipo adiabática donde en forma controlada se aplica un flujo de calor al material a analizar y medir su respuesta térmica, conociendo su geometría. La cual usa como fuente de calor, un foco incandescente de 12W ubicado en el interior de la caja y frente a la pared de la muestra a estudiar. La potencia aplicada a la muestra es controlada por un variador de voltaje. En la se enumeran los diferentes tipos de probetas que fueron analizados.

Tabla 6.- Listado de probetas

| Medidas de la probeta | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---------|------------------|----------|------------|-----------------|------------------------|------------------------|-----------|------|---------|------|-------|------------------|---------------|--------------------------------|--------------|
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | |
|   | <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Muestra</td> <td>P1 tipo A</td> </tr> <tr> <td>Material</td> <td>PVC</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Muestra</td> <td>Perfil Estético</td> </tr> <tr> <td>Material reciclado (%)</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td>557.96N</td> </tr> <tr> <td>Masa</td> <td>56.9g</td> </tr> <tr> <td>Calor específico</td> <td>0.9 kJ/(kg·K)</td> </tr> <tr> <td>Conductividad térmica (PVC)(k)</td> <td>0.16 W/(m·K)</td> </tr> </tbody> </table> | Muestra | P1 tipo A | Material | PVC | Tipo de Muestra | Perfil Estético | Material reciclado (%) | 0% | Peso | 557.96N | Masa | 56.9g | Calor específico | 0.9 kJ/(kg·K) | Conductividad térmica (PVC)(k) | 0.16 W/(m·K) |
| Muestra | P1 tipo A | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Material | PVC | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de Muestra | Perfil Estético | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Material reciclado (%) | 0% | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso | 557.96N | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masa | 56.9g | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Calor específico | 0.9 kJ/(kg·K) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Conductividad térmica (PVC)(k) | 0.16 W/(m·K) | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | |
|--|--|--|
|  <p>Tipo A Perfil Pesado (100%)</p>  | <p>Muestra P2 tipo A</p> <p>Material PVC</p> <p>Tipo de Muestra Perfil Pesado</p> <p>Material reciclado (%) 100%</p> <p>Peso 3,347.76N</p> <p>Masa 341.4g</p> <p>Calor especifico 0.9 kJ/(kg·K)</p> <p>Conductividad térmica (PVC)(k) 0.16 W/(m·K)</p> | |
|  <p>Tipo B Perfil soporte (50%)</p>  | <p>Muestra P3 tipo B</p> <p>Material PVC</p> <p>Tipo de Muestra Perfil Soporte</p> <p>Material reciclado (%) 50%</p> <p>Peso</p> <p>Masa 196.45g</p> <p>Calor especifico 0.9 kJ/(kg·K)</p> <p>Conductividad térmica (PVC)(k) 0.16 W/(m·K)</p> | |
|  | <p>Muestra P4 tipo A</p> <p>Material PVC</p> <p>Tipo de Muestra Perfil Pesado</p> <p>Material reciclado (%) 100%</p> <p>Peso 2,483.85N</p> <p>Masa 253.3g</p> | |

| | | |
|---|--------------------------------|------------------|
| Tipo A Perfil Pesado (100%)  | Calor específico (PVC) | 0.9 kJ/(kg·K) |
| | Calor específico (PVC) | 1.2 kJ/(kg·K) |
| | Conductividad térmica (PVC)(k) | 0.16 W/(m·K) |
| | Conductividad térmica (PE)(k) | 0,029-0,033 W/mK |

Los resultados obtenidos se observan a continuación (*Figura 58*):

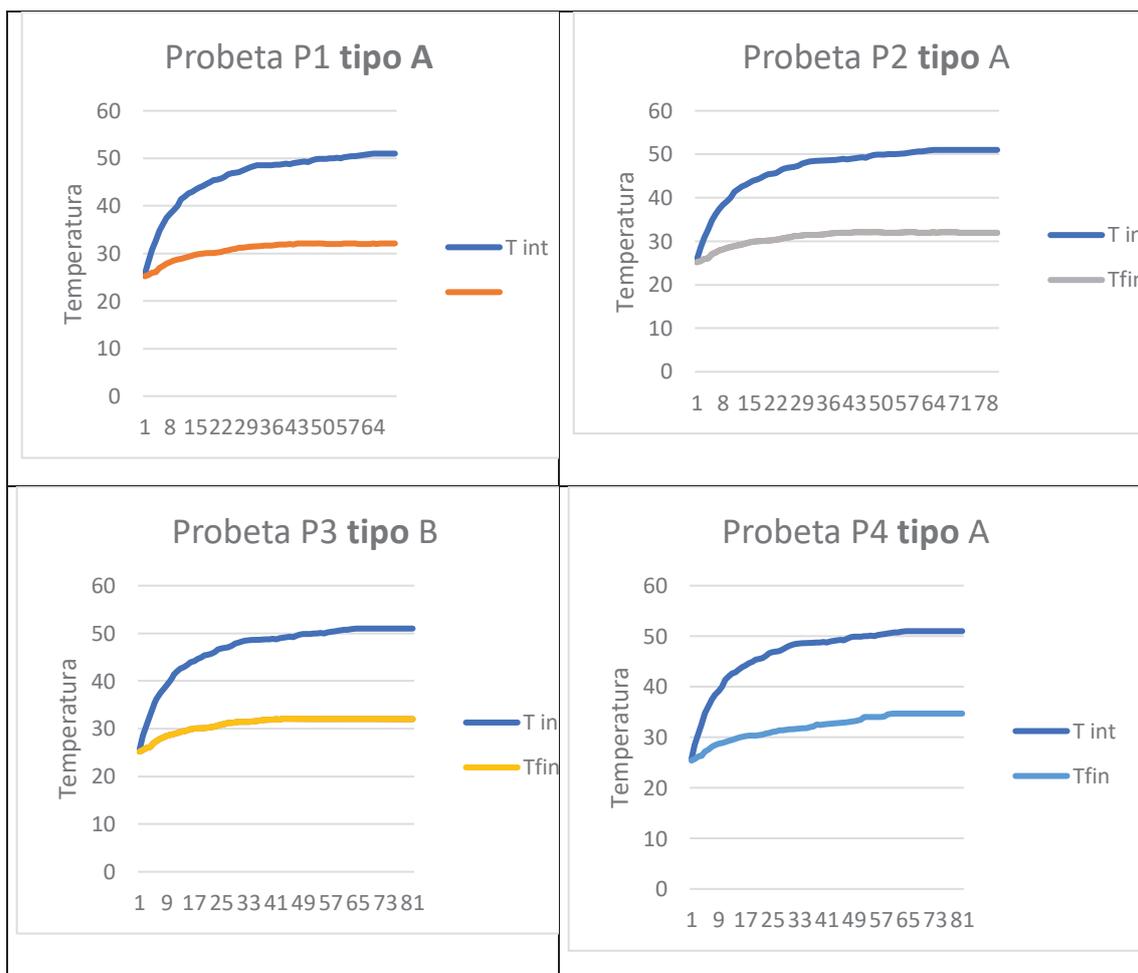


Figura 58.- Determinación de K es las diferentes muestras de estudio.

- Análisis para probeta P1 donde las temperaturas alcanzaron su estabilidad en: $T_{int} = 54.72^{\circ}C$ y $T_{ext} = 32.00^{\circ}C$, para un gradiente de $\Delta T = 22.72^{\circ}C$; de acuerdo a la ecuación 1 es posible determinar la potencia de calorífica para la probeta P1

$$Q_{P1} = 0.004764m^2 \left(0.17 \frac{W (0.001^{\circ}K)}{mK 0.00069m} + 0.02 \frac{W (22.61^{\circ}K)}{mK 0.0202m} + 0.17 \frac{W (0.01^{\circ}K)}{mK 0.00069m} \right)$$

$$Q_{P1} = 0.1301 W/m^2$$

$$K_{P1} = \frac{(0.1301 W/m^2)(0.02158m)}{(0.004764m^2)(22.72^{\circ}K)}$$

$$K_{P1} = 0.0260 W/mK$$

- Análisis para probeta P1 donde las temperaturas alcanzaron su estabilidad en: $T_{int} = 54.38^{\circ}C$ y $T_{ext} = 34.82^{\circ}C$, para un gradiente de $\Delta T = 19.56^{\circ}C$; de acuerdo a la ecuación 1 es posible determinar la potencia de calorífica para la probeta P2

$$Q_{P2} = 0.004764m^2 \left(0.17 \frac{W (0.001^{\circ}K)}{mK 0.0008m} + 0.17 \frac{W (19.54^{\circ}K)}{mK 0.0198m} + 0.17 \frac{W (0.01^{\circ}K)}{mK 0.0008m} \right)$$

$$Q_{P2} = 0.8195 W/m^2$$

$$K_{P2} = \frac{(0.8195 W/m^2)(0.0214m)}{(0.004764m^2)(19.56^{\circ}K)}$$

$$K_{P2} = 0.1862 W/mK$$

- Análisis para probeta P1 donde las temperaturas alcanzaron su estabilidad en: $T_{int} = 54.28^{\circ}C$ y $T_{ext} = 32.1^{\circ}C$, para un gradiente de $\Delta T = 22.18^{\circ}C$; de acuerdo a la ecuación 1 es posible determinar la potencia de calorífica para la probeta P3

$$Q_{P3} = 0.004764m^2 \left(0.17 \frac{W}{mK} \frac{(0.001^\circ K)}{0.0008m} + 0.17 \frac{W}{mK} \frac{(22.16^\circ K)}{0.02m} + 0.17 \frac{W}{mK} \frac{(0.01^\circ K)}{0.0008m} \right)$$

$$Q_{P3} = 0.1258 W/m^2$$

$$K_{P3} = \frac{(0.1258 W/m^2)(0.0216m)}{(0.004764m^2)(22.18^\circ K)}$$

$$K_{P3} = 0.02571 W/mK$$

- Análisis para probeta P1 donde las temperaturas alcanzaron su estabilidad en: $T_{int} = 55.01^\circ C$ y $T_{ext} = 36.1^\circ C$, para un gradiente de $\Delta T = 18.91^\circ C$; de acuerdo a la ecuación 1 es posible determinar la potencia de calorífica para la probeta P4

$$Q_{P4} = 0.004764m^2 \left(0.17 \frac{W}{mK} \frac{(0.001^\circ K)}{0.00091m} + 0.26 \frac{W}{mK} \frac{(18.89^\circ K)}{0.0189m} + 0.17 \frac{W}{mK} \frac{(0.01^\circ K)}{0.00091m} \right)$$

$$Q_{P4} = 1.2557 W/m^2$$

$$K_{P4} = \frac{(1.2557 W/m^2)(0.0207m)}{(0.004764m^2)(18.91^\circ K)}$$

$$K_{P4} = 0.288 W/mK$$

Tabla 7.- Resultados

| Muestra | T_{int} | T_{ext} | ΔT | T_{Amb} | Q | K |
|---------|-----------|-----------|------------|-----------|--------|-------|
| P1 | 54.72 | 32.00 | 22.72 | 26.8 | 0.1301 | 0.026 |
| P2 | 54.38 | 34.82 | 19.56 | 26.7 | 0.1895 | 0.186 |
| P3 | 54.28 | 32.1 | 22.18 | 26.8 | 0.1258 | 0.026 |
| P4 | 55.01 | 36.1 | 18.91 | 26.5 | 1.2557 | 0.288 |

- La Probeta P1 alcanzo una estabilidad respecto de la cámara adiabática en un total de 182 minutos, con una temperatura de 32 grados centígrados.
- La Probeta P2 alcanzo su estabilidad a los 125 minutos con una temperatura de 34.82 grados centígrados.
- La Probeta P3 tardo 180 minutos en alcanzar una temperatura estable de 32.1 grados centigrados (muy similar a la probeta P1).
- La probeta P4 fue la más rápida en alcanzar una temperatura estable a los 72 minutos con una temperatura de 36.1 grados centígrados.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 7, es posible determinar que la probeta que aísla mejor la temperatura, es la probeta P1 debido a que el aire es mejor aislante que el material propuesto como relleno (PVC reciclado). Por otro lado las probetas P1 y P3 resultan muy similares en cuanto a la transferencia de calor, ya que el material no afecta de manera significativa al flujo de calor. La Probeta P4 resulta con un coeficiente de conductividad mayor debido a las propiedades del polipropileno.

Sin embargo cabe destacar que la probeta P4 en comparación con la probeta P2 es menos pesada, por lo que podría tener ciertas aplicaciones en el armado de estructuras en el que se requiera ser mas liviano. Gracias al análisis de las temperaturas, es posible señalar las ventajas de un material de aislante en zonas calurosas.

Prueba de relajación de esfuerzos

Como se vio anteriormente el diseño del muro está basado principalmente en un panel de PVC, la hipótesis es que este material brindará un adecuado soporte y estabilidad al momento de la colocación. Sin embargo, es bien conocido que estos materiales, al estar dentro de la clasificación de los polímeros, tienen un comportamiento mecánico no lineal y visco elástico. Es decir, es necesario realizar pruebas que muestren el comportamiento del material del panel en función del tiempo.

Resultado de la prueba de relajación de esfuerzos

Las pruebas se realizaron en 6 probetas diferentes, en la se muestran la clasificación de las pruebas realizadas y su duración en minutos.

Como se puede apreciar las probetas 2 y 3 junto con las 4 y 5 fueron realizadas de manera simultánea a diferencia de las probetas 1 y 6. La duración en minutos fue aproximadamente igual para todas.

Tabla 8.- Clasificación de las muestras y duración de cada prueba.

| Probeta | Duración de la prueba en minutos |
|---------|----------------------------------|
| 1 | 3475 |
| 2 | 4152 |
| 3 | 4152 |
| 4 | 4316 |

En la Figura 59 y Figura 60 se muestran las gráficas deformación-tiempo y fuerza-tiempo para la probeta 2. La primera corresponde a las deformaciones medidas en la probeta, mientras que la segunda corresponde a la fuerza aplicada.

Como se puede observar en ambas curvas empieza a relajar aproximadamente en los 2000 minutos, sin embargo, posteriormente los valores obtenidos permanecen con muy poca variación; es decir se mantienen de manera constante en la mitad de la prueba. Esto hace ver que el material no relajará más en tiempos prolongados lo que es bueno para la aplicación del muro.



Figura 59.- Gráfica deformación vs tiempo.

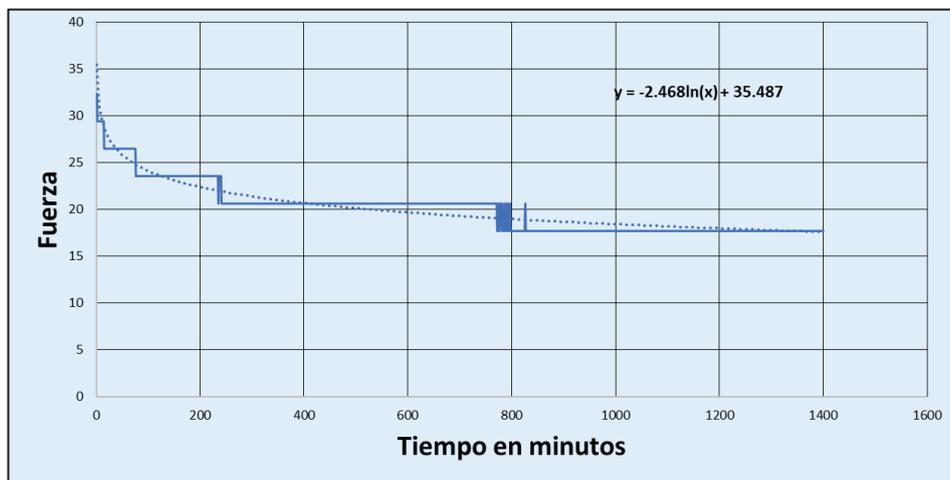


Figura 60.- Gráfica fuerza vs tiempo.

En las y se muestra la misma gráfica, pero recortada a los 1400 minutos, junto con su curva de ajuste.

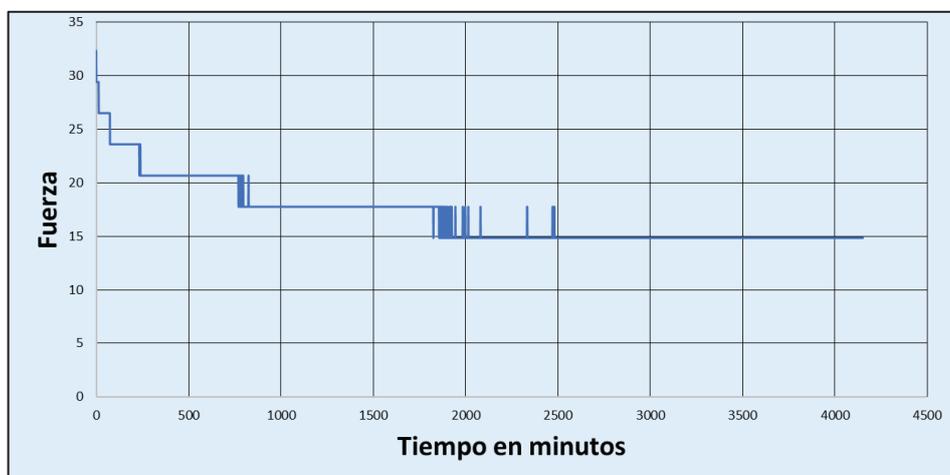


Figura 61.- Gráfica fuerza vs tiempo.

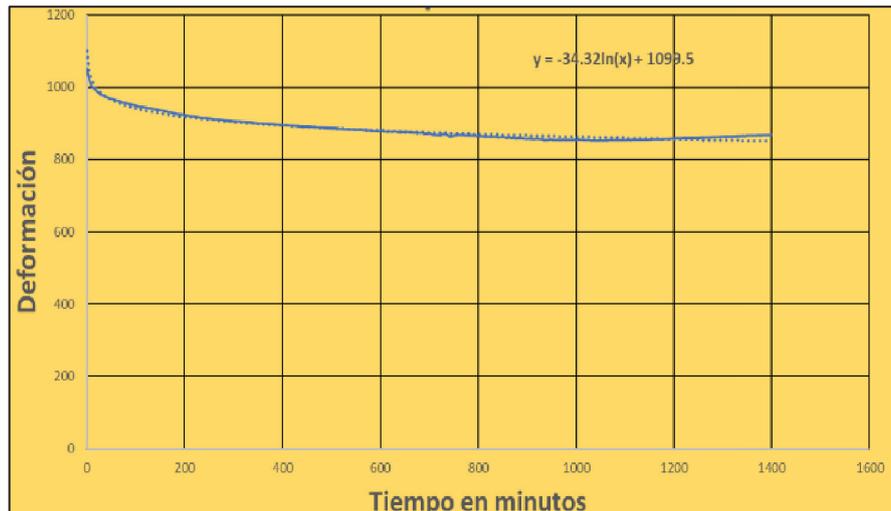


Figura 62.- Gráfica deformación vs tiempo.

Tiempo de vida útil del material

Los plásticos tienen un comportamiento viscoelástico, por lo que después de cierto tiempo tienden a deformarse, es por esta razón que es importante modelar el comportamiento del material y establecer los parámetros sobre los cuáles se va a fijar un estándar de calidad en el producto.

Para poder calcular el tiempo de vida del material es importante conocer las propiedades mecánicas conocidas como módulo de elasticidad y la constante viscoelástica del mismo.

El estudio de la viscoelasticidad es muy importante en este trabajo, ya que los sólidos elásticos y los fluidos viscosos difieren ampliamente en sus características de deformación. Los cuerpos deformados elásticamente regresan a un estado natural o no-deformado después de remover las cargas aplicadas. Los fluidos viscosos por el contrario, no poseen dicha recuperación de deformación. También, el esfuerzo elástico está relacionado directamente con la deformación, mientras que el esfuerzo de un fluido viscoso depende (excepto para la componente hidrostática) de la tasa de deformación.

Modelo viscoelástico simple

La viscoelasticidad lineal puede ser estudiada a través de dos modelos mecánicos, que retratan la respuesta a la deformación de varios materiales viscoelásticos, los

elementos mecánicos de tales modelos son el resorte lineal de masa despreciable con una constante de resorte E , y un amortiguador viscoso que tiene una constante viscosa η . Con estos elementos podemos modelar el comportamiento del material. (García Becerri, 2005)

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \text{Ecuación 1}$$

Y la ecuación análoga para el amortiguador esta dada por:

$$\sigma = \eta \varepsilon' \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

$$\varepsilon' = \frac{d\varepsilon}{dt} \quad \text{Ecuación 3}$$

refiriéndose a σ como esfuerzo y ε como deformación.

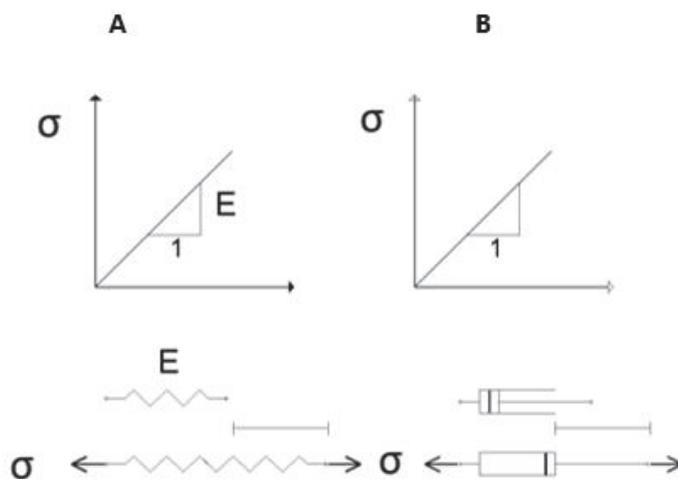


Figura 63-. A) resorte lineal B) amortiguador viscoso

El modelo de viscoelasticidad de Maxwell considera la combinación de un resorte y un amortiguador en serie.

El modelo de Kelvin o Voigt es un arreglo en paralelo de los elementos antes mencionados. La relación esfuerzo deformación para el modelo de Maxwell es:

$$\frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} = \frac{d\varepsilon}{dt} \quad \text{Ecuación 4}$$

Y para el modelo de Kelvin es:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} \quad \text{Ecuación 5}$$

donde:

σ = Esfuerzo

E = Módulo de elasticidad

t = Tiempo

η = Constante Viscoelástica

ε = Deformación

Si desarrollamos la ecuación del **modelo de Maxwell** con deformación constante obtenemos:

$$\varepsilon = cte$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \mathbf{0}$$

$$\frac{l}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta} = 0$$

Resolviendo la ecuación y considerando las condiciones iniciales se llega a la siguiente solución:

$$\sigma(t) = \varepsilon_0 E e^{-\frac{E}{\eta}t} \quad \text{Ecuación 6}$$

Debido a que esta ecuación del esfuerzo en función del tiempo depende de las constantes viscoelásticas es necesario conocer sus valores. El valor del módulo de elasticidad se obtuvo de la norma ASTM D2487 para el PVC. Y la constante viscoelástica fue obtenida aprovechando las pruebas realizadas de relajación de esfuerzos. Para ello se calculó el esfuerzo en cada instante del tiempo utilizando la fórmula para el caso de flexión:

$$\sigma = \frac{F(l-x)y}{I} \quad \text{Ecuación 7}$$

L = Longitud (m)

X = Distancia del empotramiento al extensómetro (m)

Y = Distancia del eje neutro al extensómetro

F = Fuerza

I = momento de inercia

Cabe destacar que el momento de inercia fue obtenido en un programa de CAD ya que la sección transversal de las probetas es irregular.

Al realizar las líneas de tendencia y su ecuación exponencial para cada una de las gráficas se obtienen las siguientes ecuaciones:

Gráfica 01. $\sigma = 3E+06e^{-2E-04x}$

Gráfica 02. $\sigma = 1E+07e^{-6E-05x}$

Gráfica 03. $\sigma = 8E+06e^{-1E-04x}$

Gráfica 04. $\sigma = 8E+06e^{-3E-05x}$

Realizado lo anterior se puede conocer el valor del coeficiente viscoelástico para cada prueba realizada igualando los términos que acompañan al tiempo en cada ecuación calculada con el modelo de Maxwell. Si se despeja η , se obtiene la siguiente ecuación:

$$\eta = E t$$

Por lo cual, el valor de η promedio de las probetas ensayadas es de **12,317.70 GPa*min.**

Para calcular el tiempo de vida del material se considera el esfuerzo constante en el modelo de Maxwell se tiene la siguiente ecuación:

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{\eta} t + \frac{\sigma_0}{E} \quad \text{Ecuación 8}$$

σ_0 = Esfuerzo dado en Mpa

$\varepsilon(t)$ = Deformación al 2% (0.02)

Despejando el tiempo:

$$\frac{\left(\varepsilon(t) - \frac{\sigma_0}{E}\right)\eta}{\sigma_0} = t \quad \text{Ecuación 9}$$

Con esta ecuación es posible calcular el tiempo de vida del material considerando el esfuerzo aplicado y una deformación del 2%. Sin embargo, el diseño del muro está considerado que no esté fijo y no es de carga (tiempos de vida muy prolongados). Lo importante en estas pruebas de relajación de esfuerzos fue probar que no se tendrán fallas en tiempos cortos.

Montaje de muro divisorio en el centro tecnológico de la FES Aragón

Una vez seleccionado el diseño más apropiado se realizaron las pruebas de ensamble, las cuales consistieron en construir diferentes configuraciones con el panel, cabe destacar que también se trabajó en la propuesta de rellenar el panel con pellets de PVC reciclado para intentar brindar mayor rigidez al muro divisorio.

Colocación de soportes

Para comenzar la instalación primero se alineó un poste metálico calibre 26 de 4.10 cm de ancho por 1.50 m de largo, este material tiene el propósito de contener el muro sobre un marco. Esta longitud corresponde al conjunto de 12 paneles conectados.

Una vez alineado el poste, se barrenó con pijas para madera de 1 ½" con una separación de 40 cm entre cada pija, con el fin de asegurar la integridad del muro, reforzando la estructura del marco, tal y como se aprecian en la Figura 64



Figura 64.- Colocación de canaleta base.

El armado de los muros permitió ver que el proceso de unión es el apropiado ya que es fácil de armar y adicionalmente que puede ser utilizado no solamente como muro divisorio, sino que permite diversos diseños para delimitar el espacio. En la y se muestran algunas de las configuraciones construidas. Cabe destacar que debido a las dimensiones que estas pruebas requerían fue conveniente hacerlas en las instalaciones de la FES Aragón.



Figura 65.- Fijación de canaleta al piso.



Figura 66.- Configuración vertical de paneles.



Figura 67.- Configuración vertical con ventana.



Figura 68.- Configuración vertical y horizontal con uniones tipo L.

Para evitar el deslizamiento de los paneles se diseñaron distintos tipos de conectores, en la Figura 69 se muestran los 3 diseños propuestos y sus respectivas características. Para evaluar estos diseños se realizaron los modelados en el programa Rhinoceros 6 versión de prueba, esto con el propósito de evitar gastos innecesarios de material.

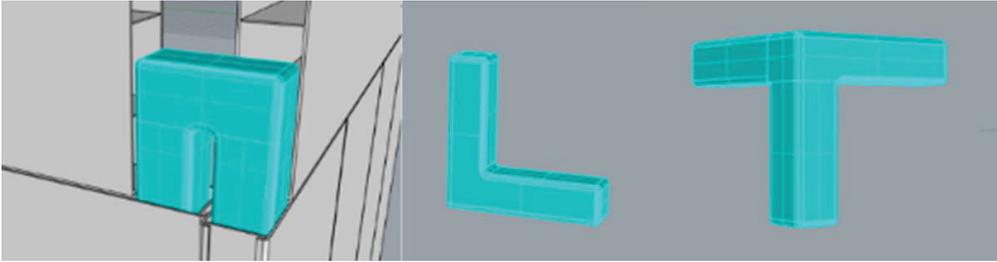


Figura 69.- Propuesta de conectores tipo "U", tipo "L" y tipo "Triple".

Estos modelados permitieron llegar a las siguientes observaciones:

- Conector en "U": Se descartó porque obstruía espacios de ensamblado de las tabletas como se observa en la Figura 70.

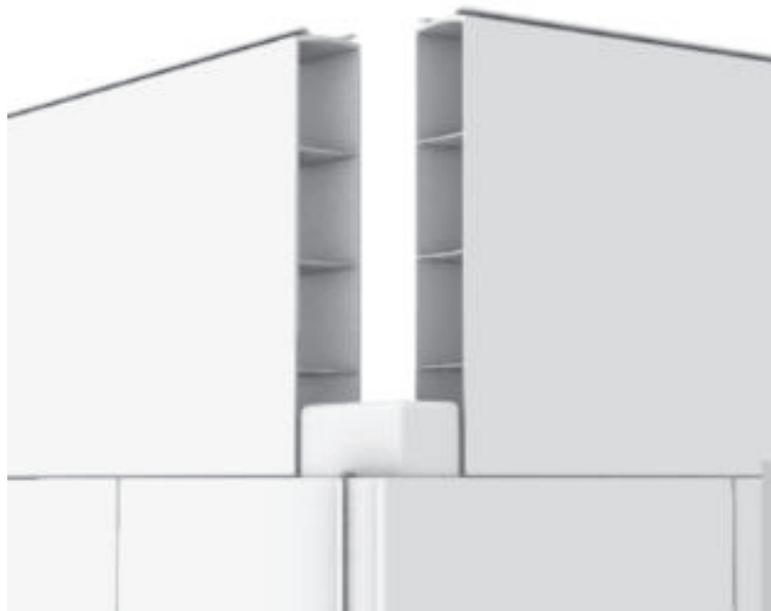


Figura 70.- Colocación de conector en "U".

- Conector en "L": se puede observar en la Figura 71, está propuesta dio un mejor resultado, sin embargo, el canto de uno de los muros, así como las esquinas superiores quedaban expuestas, por lo que esta tampoco fue la solución.

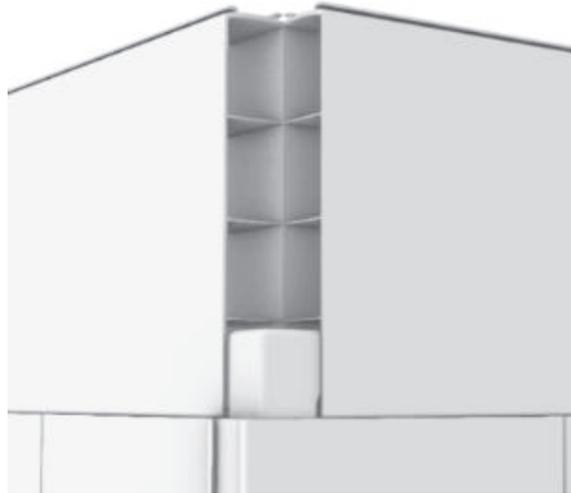


Figura 71.- Ejemplo de funcionamiento de conector en "L".

- Conector de "tripie": Esta propuesta presentó una solución para las esquinas de los muros, permitiendo de este modo conectar muros perpendiculares, sin embargo, como se puede observar en la Figura 72, los cantos de los paneles aún se mantienen expuestos, aún así fue la propuesta más viable.



Figura 72.- Conector "tripie".

En la Figura 73 se puede apreciar el panel de PVC visto en corte longitudinal

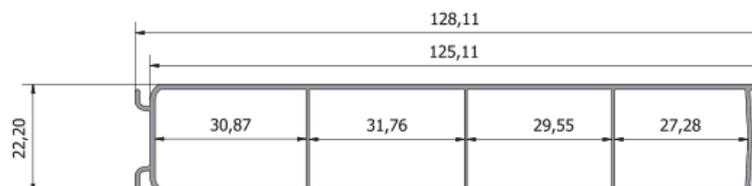


Figura 73.- Diseño de PVC W22 (modificado) vista A.

En la Figura 74 se aprecia un esquema con la clasificación del panel conteniendo diferentes proporciones de rellenos de plástico de reciclaje. En la Figura 75 se realizó un esquema con las diferentes medidas que componen el ensamble de la tableta de PVC.

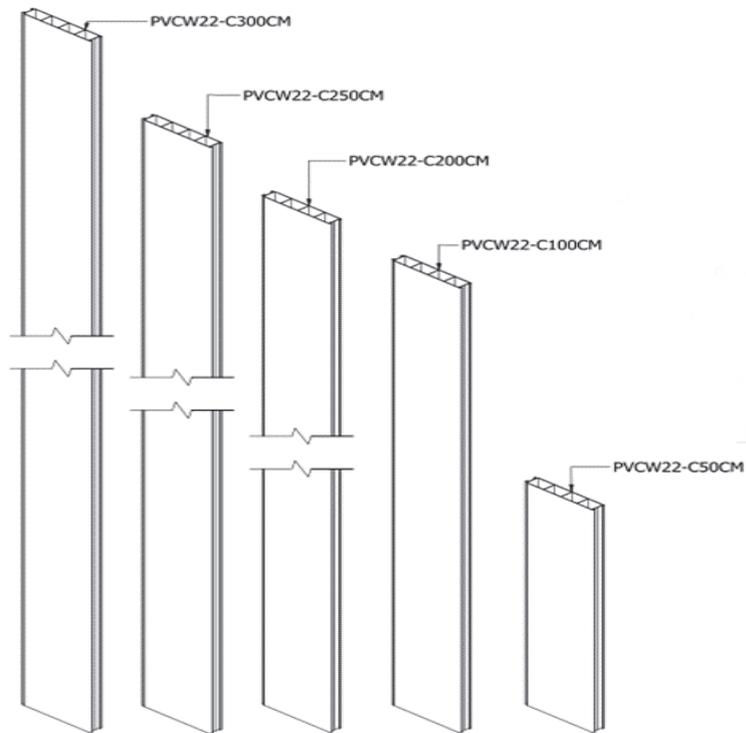


Figura 74.-Diseño de PVC W22 (modificado) vista B.

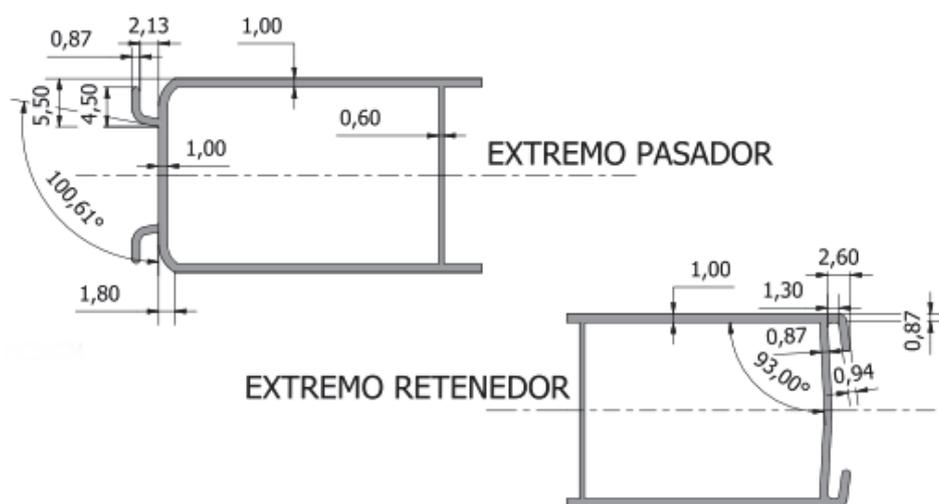


Figura 75.- Tipos de perfil en planta.

Tipos de perfil

Tabla 9.- Diferentes configuraciones de panel de PVC relleno de pellets.

| | |
|---|--|
| <p>Tipo A Perfil Pesado (100%)</p>  | <p>Perfil dispuesto para dar resistencia a áreas de carga, como puertas, ventanas, correderas, etc.</p> |
| <p>Tipo B Perfil soporte (50%)</p>  | <p>Perfil dispuesto para soporte de muro continuo y dar rigidez a muros de gran extensión.</p> |
| <p>Tipo C Perfil castillo abierto(25%)</p>  | <p>Perfil dispuesto para crear castillos del lado de broche en esquineros simples. Para brindar resistencia a muros livianos</p> |
| <p>Tipo D Perfil castillo cerrado(25%)</p>  | <p>Perfil dispuesto para crear castillos del lado de cierre en esquineros simples. Para brindar resistencia a muros livianos</p> |
| <p>PERFIL ESQUINERO DOBLE</p>  | <p>Perfil dispuesto de para derivar secciones de muros y creación de cubículos</p> |
| <p>PERFIL ESQUINERO SIMPLE</p>  | <p>Perfil dispuesto para dar acabado a las esquinas y castillos de refuerzo al muro</p> |

Tabla 10.- Diferentes Longitudes de panel de acuerdo a los cortes realizados.

| Tabla de componentes | | | | |
|----------------------|--------|---------------|----------|----------|
| Dado | Modelo | tipo | Longitud | Material |
| PVCW22 | C50CM | Perfil Lineal | 50cm | PVC |
| PVCW22 | C100CM | Perfil Lineal | 100cm | PVC |
| PVCW22 | C200CM | Perfil Lineal | 200cm | PVC |
| PVCW22 | C250CM | Perfil Lineal | 250cm | PVC |
| PVCW22 | C300CM | Perfil Lineal | 300cm | PVC |

Configuración de esquineros y perfiles

La Figura 76 muestra las diferentes composiciones de plástico de reciclaje que se insertaron en la tableta, cabe destacar que estos resultados no resultaron favorables, pues deformaban la tableta y le adicionaban peso al sistema constructivo.

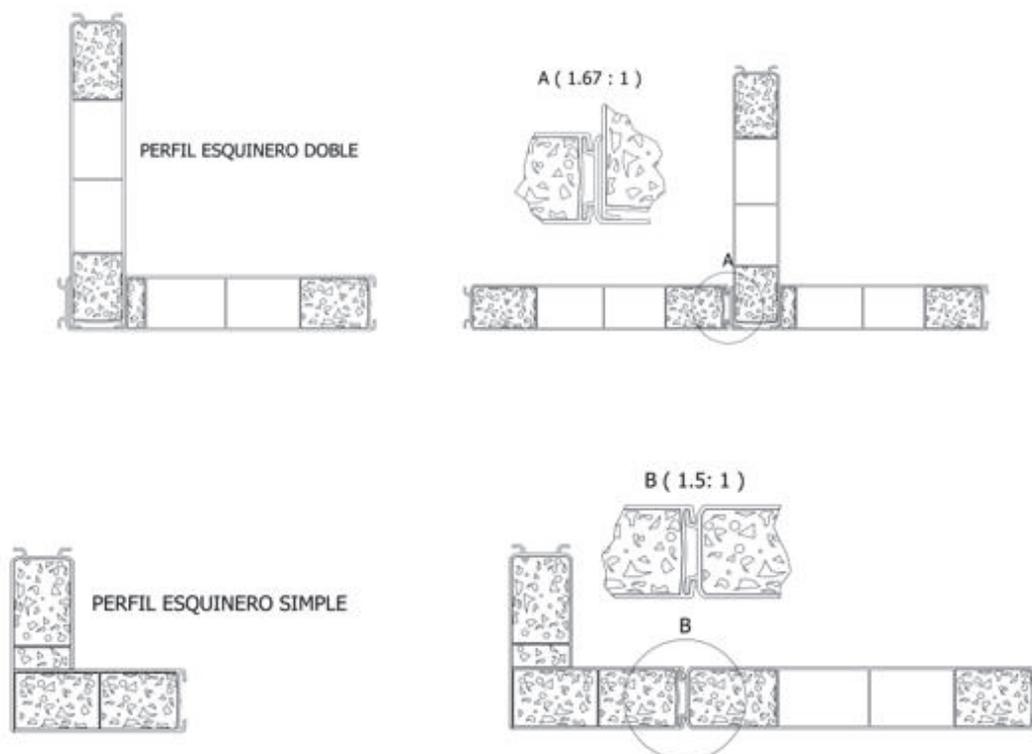


Figura 76.- Diagrama de panel de PVC relleno de diferentes composiciones de pellets y sus uniones.

En la Figura 77 se observa cómo fue el ensamble con las diferentes tabletas rellenas con plástico reciclado, para poder definir mejor el comportamiento del material se necesitaría otro tipo de pruebas que ya no se presentan en el presente trabajo.

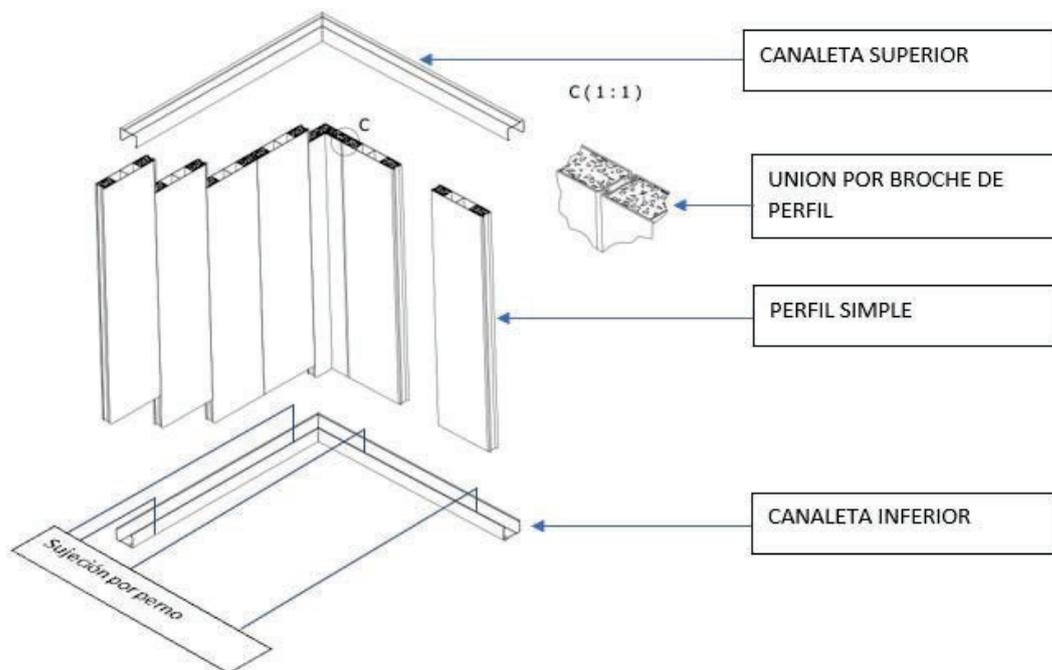
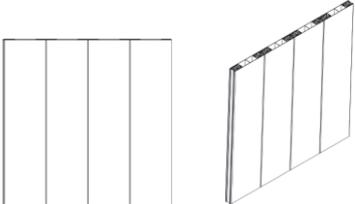
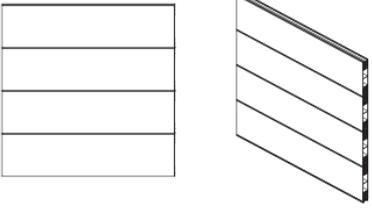
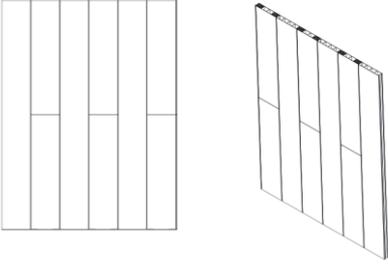
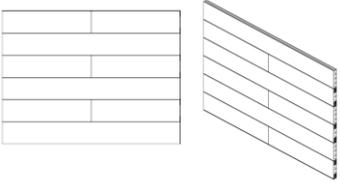


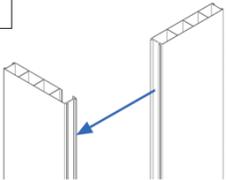
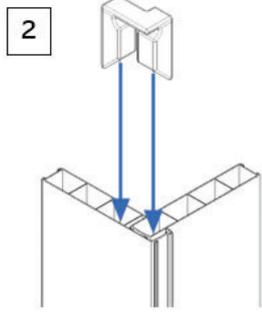
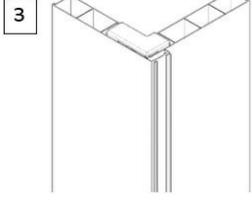
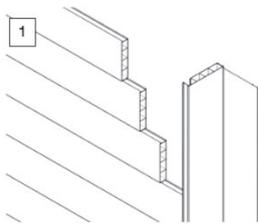
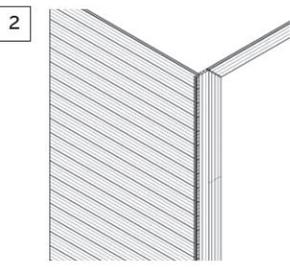
Figura 77.- Diagrama de ensambles de sistema constructivo a base de tabletas de PVC con relleno de plástico reciclado.

Configuraciones de ensamblaje

Tabla 11.- Diferentes tipos de ensambles de muro colocados en el centro tecnológico de la Fes Aragón.

| Configuración vertical normal | | |
|---|--|--|
|  |  | <p>Configuración vertical simple que permite construir muros rápidos y sencillos</p> |

| | | |
|---|--|--|
| <p>Configuración horizontal normal</p>  |  | <p>Configuración horizontal simple que permite abarcar más longitud en espacios cerrados</p> |
| <p>Configuración vertical intercalado</p>  |  | <p>Configuración vertical intercalada que permite armar en espacios cerrado</p> |
| <p>Configuración horizontal intercalado</p>  |  | <p>Configuración horizontal intercalada que permite armar en espacios cerrado</p> |

| | | |
|---|---|--|
| <p>Configuración 45 intercalado</p>  |  | <p>Configuración de 45° intercalada que permite un diseño estético, pero requiere preensamblare</p> |
| <p>Como armar las esquinas entre 2 muros verticales.</p> <p>1</p>  <p>2</p>  <p>3</p>  | <p>Como armar las esquinas entre 1 muro vertical y uno horizontal.</p> <p>1</p>  <p>2</p>  <p>3</p>  | <p>Las uniones de muros no se limitan a solo unir muros del mismo tipo entre sí, como se puede ver en la figura, se pueden unir muros verticales con horizontales.</p> <p>Se trabajó en una configuración que combinase paneles horizontales y verticales, esta configuración nos permite la creación de espacios para ventanas y puertas, cabe mencionar que se tuvieron que hacer cortes diagonales en algunos paneles para permitir la unión de los paneles, sujetándose entre sí a través de sus rieles.</p> |

Conclusiones

El desarrollo de la presente investigación permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- Fue posible realizar la fabricación y el montaje de muros divisorios (en escala 1:1) utilizando paneles de PVC cuyo componente interno es polietileno de alta densidad reciclado.
- Se logró diseñar un segundo modelo de panel elaborado a base de polietileno reciclado, aunque este no fue posible fabricarlo escala 1:1.
- Los diseños desarrollados cumplen con el objetivo de introducir nuevos materiales al mercado constructivo, materiales que obedezcan a la demanda de necesidades requeridas por el consumidor como: poseer una fácil instalación y desmontaje, tener una estética que no requiera de acabado final, ser livianos y permitir su transportación de manera sencilla.
- El panel de PVC resulto el más viable para ser fabricado.
- La viabilidad del diseño basado en paneles de PVC se pudo corroborar cuantitativamente, ya que las pruebas experimentales que se le aplicaron al material arrojaron que tienen un efecto de aislante tanto acústico como térmico.
- Las pruebas de relajación de esfuerzos muestran que el material no relajara en tiempos prolongados lo que es bueno para la aplicación del muro.
- El diseño final construido del muro muestra que permite la reutilización del sistema constructivo, pues su almacenamiento y traslado son posibles sin la necesidad de desechar o deformar sus componentes. Esto es ideal para la división de espacios comerciales.
- El sistema de unión de los elementos del muro fue mejor de lo esperado, ya que permite armar diferentes configuraciones como sistemas tipo oficina.
- El diseño del muro en un futuro próximo puede ser comercializado, debido a que se comprobó su funcionamiento a escala real.

Sin embargo, las desventajas de este sistema son:

- El muro tiene poca resistencia pues requiere de una estructura robusta para su colocación, este punto ya no se logró concretar en el presente trabajo de investigación.

Referencias

- Alicia, O. G. (01 de Junio de 1997). *Revista de filosofía*. Recuperado el 23 de Mayo de 2021, de <http://serbal.pntic.mec.es/~cmunoz11/techne.html#Inicio>
- Amar, J. J. (2001). El impacto de la globalización y la construcción, de una educación para la ciudadanía. *Tarbiya*, 33.
- Arq. Andrés Peña, I. C. (20 de Mayo de 2016). Impacto de la globalización en la industria de la construcción, hacia un nuevo escenario competitivo. Buenos Aires: Fondo para el desarrollo de la construcción.
- Arqui México. (30 de Noviembre de 2012). *Arqui México*. Recuperado el 27 de Enero de 2021, de Arqui México: <http://arqui-mexico.blogspot.com/2012/11/>
- Arquitectos Sein Fronteras. (2011). *Manual construcción ecoladrillos*. Recuperado el 15 de 12 de 2020, de <https://es.scribd.com/document/419540442/Manual-construccion-Ecoladrillos>
- Arturo, F. C., Lema Ize, I., & García Gavilán, A. (2003). La situación de los envases de plástico en México. *Gaceta ecológica*, 82.
- Association of Postconsumer Plastic Recyclers. (2012). The Association of Postconsumer Plastic Recyclers. Carolina del norte: Association of Postconsumer Plastic Recyclers.
- Beltrán Rico, M., & Marcilla Gomis, A. (2012). *Tecnología de Polímeros, procesado y propiedades*. Alicante: UNE.
- Bijker, W. E. (1987). The Social Construction of Technological Systems. En W. E. Bijke. Cambridge, MA: MIT Press.
- Bolden, J., Taher, A.-L., & Fini, E. (2013). Utilization of Recycled and waste materials in various construction application. *American Journal of Environmental Science*, 24.
- Br. José Ismael Ñurinda Martínez, B. J. (Julio de 2016). Diseño y desarrollo experimental de un panel a base de botellas PET, para ser utilizado en construcciones de muros en viviendas. Nicaragua: Facultad de ciencias e Ingeniería, departamento de construcción.
- Cabello, S. (2014). *Relajación de esfuerzos: definición, mecanismos de actuación, y modelos matemáticos aplicables*. Valencia Venezuela: Revista de ingeniería UC.
- Carmona Araos, F. A. (2010). *Estimación de la energía consumida en la construcción de obra gruesa de 3 edificios de altura media en la ciudad de Santiago de Chile*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Carrager, R. B. (1995). *Introducción a la Química de los polímeros*. Barcelona: Reverté.
- Castillejos Cuevas Carla María, C. B. (18 de Febrero de 2014). Construcción de casa Habitación con material pet. Oaxaca: Universidad Nacional Autónoma de México.
- CCi. (15 de diciembre de 2021). <https://ccidi.mx/productos>. Obtenido de <https://ccidi.mx/productos>
- Centro de Enseñanza sobre el Desarrollo, del Banco Mundial, en Tokio. (20 de Septiembre de 2018). *Banco Mundial BIRF + AIF*. Recuperado el 16 de Mayo de 2020, de

<https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>

- Chiñas Blas , B. B., López, V. B., & Castillejos Cuevas, C. M. (2014). *Construcción de casas habitación cn material PET*. Oaxaca: Cruz azul, campos lauga Oaxaca.
- Chioino, S. A. (Septiembre de 2016). Hormigón Fibro-reforzado , fibras obtenidas de envases post consumo vs fibras sintéticas comerciales. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República de Uruguay.
- Cintia Elizabeth López Cascante, J. A. (Mayo de 2016). Diseño y construcción de un compactador de latas y envases. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesianadel Ecuador.
- Cinzia Burattia, E. B. (2016). Sustainable panels with recycled materials for building applications:.. En E. B. Cinzia Burattia. Italia: Elsevier.
- CIT- Centro de Información Técnica. (2017). Plásticos en la construcción, su contribución a la salud y medio ambiente. Buenos Aires, Argentina: Plastivida.
- Coexport. (10 de Enero de 2009). *COEXPORT, GREMIAL DE LOS EXPORTADORES DEL SALVADOR*. Recuperado el 21 de Noviembre de 2021, de <https://coexport.com.sv/>
- CONSTRUMÁTICA. (15 de diciembre de 2021). *Metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción*. Obtenido de Metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción: <https://www.construmatica.com/>
- Cordoví Socarrás, Y., & Vidaud Quintana, I. N. (2017). Desde la tecnología de la prefabricación actual, hasta la prefabricación contra pedido. *Centro de Información y Gestión Tecnológica de Sntiago de Cuba*, 115.
- Cristian, P. S. (2010). Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elemntos prefabricados de hormigón. *Departamento de resistencia de materiales y estructuras de ingeniería*, 7.
- D.H, M. J. (1991). *Polymer Proccesing*. Londres: Chapman y Hall.
- Elias, H. G. (1993). *An introduction to plastics*. Weinheim: VCH.
- G. Wadell, J. A. (2010). La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales. *Informes de la construcción*, 51.
- Gaggino, R. (2008). Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción. *INVI*, 163.
- García Becerril, D. (2005). *Estudio del comportamiento mecánico del polietileno de alta densidad empleado para la fabricación de tubos para drenaje*. Estado de México: UNAM.
- García Navarro Justo, G. D. (2013). Cortes de cosntrucción y consumos de energía en la rehabilitación energética de un edificio de viviendas situado en Madrid España. *Revista de la construcción*, 75.
- Garduño, A. J. (Noviembre de 2017). Componentes ligeros: Plásticos reforzados con fibra de carbón en la Arquitectura. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Geoplast. (2003). *Geoplast productos*. Recuperado el 05 de Enero de 2021, de <https://www.geoplastglobal.com/es/productos/>
- Geoplast. (15 de 12 de 2021). *Geoplast S.p.A.* Obtenido de Geoplast: <https://www.geoplastglobal.com/es/>
- Global Rubber Corporation. (15 de Enero de 2021). *Global Rubber Corporation*. Obtenido de Global Rubber Corporation: <https://globalrubbercorporation.com/blog/119-historia-del-caucho>
- Gómez Azpeitia Gabriel, B. M. (2007). *El confort térmico, dos enfoques teóricos enfrentados*. Cóloma México: Palapa.
- Graham J. Treloar, H. G. (2003). *An analysis of factors influencing waste minimisation and use of recycled materials for the construction of residential buildings*. Australia: Emerald.
- Graham J. Treloar, H. G., & E.D. Love, B. N. (2003). *Un análisis de los factores que influyen en la minimización de residuos y uso de materiales reciclados para la construcción de edificios residenciales*. Australia: Emerald.
- Historia de los empaques. (8 de Junio de 2014). *Historia de los empaques*. Obtenido de Historia de los empaques: <https://historiasdeempaques.wordpress.com/tag/nathaniel-wyeth/>
- Historia de los empaques. (8 de Junio de 2014). *Wordpress.com*. Recuperado el 16 de Mayo de 2020, de <https://historiasdeempaques.wordpress.com/tag/tereftalato-de-polietileno/>
- Incarroca, B. F. (2014). Láminas de tereftalato polietileno, pet reciclado. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Isabel, O. p. (mayo de 2018). Evaluación de viabilidad para la fabricación, análisis de sustentabilidad y comportamiento estructural de paneles con plásticos reciclados. *Evaluación de viabilidad para la fabricación, análisis de sustentabilidad y comportamiento estructural de paneles con plásticos reciclados*. San Pedro Tlaquepaque, Jalisco, México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- J., G. C. (1998). *Técnicas de Investigación en Sociedad, cultura y comunicación*. México: Editorial Lasna Graffhic.S.A.
- José Luis Maure, M. C. (Mayo de 2018). Fabricación de ladrillos a base de polímeros PET y virutas metálicas. Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá.
- Karina Nedyibe Albarrán Ochoa, B. R. (11 de Febrero de 2013). Fabricación de paneles ecológicos. México D.F: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Luis Arnal Simón, M. B. (2066). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. México: Trillas.
- Luna, J. A. (4 de Noviembre de 2015). La arquitectura que desaparece y su fragilidad, un análisis 1852 - 1902. *Cincuenta años de arquitectura doméstica, comercial e industrial en las Palmas de la Gran Canaria*. Las Palmas de Gran Canaria, España: Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
- Mohan, A. M. (6 de Agosto de 2019). *Mundo PMMI*. Recuperado el 08 de 10 de 2020, de <https://www.mundopmmi.com/empaque/sustentabilidad/article/14037742/nuevas->

tecnologías-para-procesamiento-de-pet-que-permiten-obtener-contenido-reciclado-y-reciclar

- Morales Guzmán, C. C. (2011). Sistemas de diseño para vivienda. *Revista de arquitectura*, 127.
- Muñoz C. Zaror, S. G. (2012). Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante las fases de construcción Caso estudio: vivienda tipología social. Región del Biobío Chile. *Revista de la construcción*, 145.
- Olavarrí, A. H. (15 de Enero de 2019). *Arquitectura Reciclada, residuos como nuevos materiales de construcción*. Madrid: Escuela técnica superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid.
- Palapa, A. C. (9 de Diciembre de 2013). El pet como sistema alternativo para la construcción de vivienda. *Tesis para optar por el grado de maestría en diseño. Línea de investigación Arquitectura Bioclimática*, 83. México D.F: Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.
- Párraga Velásquez, M. d., & Teonila, G. Z. (2005). *El ruido y el diseño de un ambiente acústico*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Partida, I. I. (Mayo de 2018). Evaluación de la viabilidad para la fabricación, análisis de sustentabilidad y comportamiento estructural de paneles con plásticos reciclados. Jalisco: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- Pérez Muñoz, L. (noviembre de 2012). Estudio del uso del polietileno tereftalato (PET) como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga. *Estudio del uso del polietileno tereftalato (PET) como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga*. Distrito Federal, D.F, México: UNAM.
- Pérez, L. M. (Noviembre de 2012). Estudio del uso del polietileno tereftalato (pet) como material de restitución en suelos con baja capacidad de carga. 120. México D.F: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Pérez, S. C. (2010). "EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADOS A BASE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS. *Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras a la Ingeniería*, 7.
- Plabs 3D-Impresión 3D. (15 de enero de 2022). *Plabs 3D, Impresión 3D FMD*. Obtenido de Plabs 3D, Impresión 3D FMD: <https://recicla3dplabs.wordpress.com/tratamiento/>
- Plastics Technology MÉXICO. (12 de 01 de 2016). *PT Plastics Technology MÉXICO*. Recuperado el 09 de 10 de 2020, de <https://www.pt-mexico.com/articulos/el-reciclaje-de-pet-en-mexico-es-caso-de-xito>
- Ramírez, R. T. (7 de Octubre de 2020). *INMOBILIARE*. Recuperado el 9 de 10 de 2020, de <https://inmobiliare.com/new-normal-de-las-tiendas-departamentales/>
- Revista arch daily. (30 de Noviembre de 2015). *arch daily*. Obtenido de arch daily: <https://www.archdaily.mx/mx/776858/materiales-syntheon>

Reyes Palapa, C. (9 de diciembre de 2013). El PET como sistema alternativo para la construcción de muros en la vivienda. *El Pet como sistema alternativo para la construcción de muros en la vivienda*. Ciudad de México, Azcapotzalco, México: UAM.

Rosales María Alejandra, R. F. (2016). *Relación entre arquitectura, ambiente y principios de sustentabilidad*. Venezuela: Multiciencias.

Salvaplastic. (28 de Septiembre de 2009). <http://www.salvaplastic.com/sv/historia.php>. Recuperado el 21 de Noviembre de 2021, de <https://store.salvaplastic.com/sv/mstore/>

Sáseta, R. S. (2012). *La arquitectura del comercio y del consumo en la historia y en la ciudad contemporánea*. Sevilla, España: Departamento de Historia, Teoría y Composición Arquitectónica. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla .

Anexos

A-01 Visita a planta de reciclaje en Querétaro

Para efecto del trabajo de investigación, se realizó una visita a una planta recicladora ubicada en el estado de Querétaro. Esta empresa trabaja con un proceso de reciclaje mecánico en el cual se hace una recolección de polietileno de baja y alta densidad. El primer paso para reciclar consiste en comprar a los basureros materiales como envases de champú, bidones de jabón, manguera de riego, bolsas de basura etc.; estos son almacenados en grandes pacas dentro de las instalaciones.



Figura 78.-Pacas de envases de polietileno enviadas a la planta de reciclaje desde un basurero municipal.

El segundo paso consiste en la selección de material, aunque se compra solo cierto tipo de plástico a los basureros, este todavía viene contaminado.



Figura 79.-Separación de envases de polietileno en banda transportadora.

El tercer paso consiste en el lavado del material para retirar algo de la suciedad acumulada, se debe de tomar en cuenta que estos contenedores y envases no tuvieron una buena gestión en su proceso de reciclado, por lo que se contaminaron con basura orgánica e inorgánica de diversos tipos, es por ello que son cuestionables los procesos de separación de basura a nivel nacional, pues todavía tienen grandes carencias en sus métodos.



Figura 80.- Rodillo para lavado de plástico.

Después de la limpieza se procede a la trituración del material por medio de maquinaria especializada.



Figura 81.- Proceso de triturado de plástico.

El material es separado por densidades, por medio de fundición se saca una pasta que posteriormente se convertirá en el pellet.



Figura 82.- Separación por densidades de plástico.



Figura 83.-Pasta obtenida de un proceso de fundición de polietileno de alta densidad.



Figura 84.- Proceso de lavado de pellet.

Al final el pellet queda dividido en alta y baja densidad, dependiendo de la clasificación diferentes empresas lo compran para convertirlo sobre todo en tubería para obra civil.

A-02 Visita a planta de extrusión de plástico

Extrusión

Este consiste en un moldeo a temperatura y presión constante con una producción de longitudes continuas en materiales termoplásticos con selección transversal, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la imagen de una extrusora de doble husillo.

Las etapas del proceso de extrusión son:

1. Plastificación del material de partida (granza o polvo).
2. Hacer pasar el material plastificado a través de una boquilla que le dé forma deseada.
3. Solidificación con la forma deseada.
4. Bobinado o bien cortado en unidades.



Figura 85.-Máquina extrusora.

Existen dos métodos de extrusión: por pistón y por husillo. En la extrusión por pistón el material se extruye a través de una boquilla al ser empujado por un pistón. Su empleo queda limitado a la extrusión de algunos plásticos fluorados y de materiales muy sensibles al calor tales como el nitrato de celulosa.

La extrusora de husillo consiste en un tornillo que gira en el interior de un cilindro caliente. La grana de termoplástico se alimenta por una tolva situada en uno de los extremos y se desplaza a lo largo del cilindro por acción del giro del tornillo. La grana va fundiendo a medida que se desplaza a lo largo del tornillo por contacto con las paredes calientes del cilindro y por acción del calor generado por fricción en el fundido viscoso. La acción final del tornillo consiste en presionar al polímero fundido forzándolo a atravesar la boquilla que va a determinar su forma final" (Artiaga, et al; 1997, p. 1).

Para tener una mejor comprensión de los procesos de transformación del plástico se realizó una visita a una planta extrusora y de moldeo para polímeros.

En esta visita se recolectó información del proceso que se requiere para transformar la materia prima en tabletas, paneles, empaques, tubos, protecciones, etc.

El primer paso para iniciar el proceso es tener el diseño de lo que se va a transformar, en este caso la investigación se centra en la fabricación de paneles para la construcción de un muro divisorio.

Cabe mencionar que se tenían diferentes propuestas de diseños para solucionar el

sistema constructivo, pero al final se eligió un modelo comercial, esta elección fue resultado de un presupuesto asignado para la fabricación, ya que las otras dos opciones resultaban incosteables para poder fabricar los modelos escala 1:1; así que solamente se realizaron impresiones 3D para su mejor comprensión, hay que recalcar que ambos modelos fueron cotizados por la empresa extrusora de plástico.

El primer modelo tenía el inconveniente de que las uniones no estaban diseñadas con ajustes para su correcto ensamble y deslizamiento, además de que los barrenos eran pequeños y no alcanzaban a ajustar con los postes que se tenían propuestos.

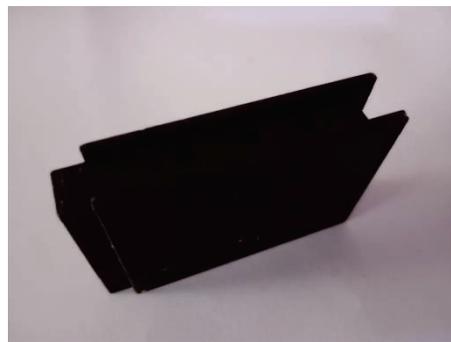


Figura 86.- Diseño 1 de panel, este modelo fue descartado pues tenía diversos inconvenientes.

Se realizaron mejoras en el diseño para ajustar los ensambles, se hizo un modelado en solidworks con las medidas necesarias para recibir los postes y poder montar y desmontar los paneles sin sufrir deformaciones significativas. Sin embargo, esta segunda propuesta tiene la desventaja de consumir una gran cantidad de materia prima en su elaboración, eso sin mencionar que se requiere de un método de compresión para poder fabricar el panel, por lo que se tiene hacer un molde a medida.



Figura 87.-Diseño 2 de panel con mejoras en ensambles y barrenos.

Se realizó una tercera propuesta de diseño disminuyendo el volumen del panel, sin embargo, esto afectó en las medidas del poste que se tenían contempladas, en este tercer diseño se optó por utilizar un modelo comercial de tableta de PVC y mejorar sus características por medio de rellenos a base de material reciclado.



Figura 88.-Diseño 3 de panel con un menor volumen en su fabricación.

Una vez que se eligió la viabilidad de fabricar un modelo de tableta, se tiene que seleccionar la materia prima, en este caso lo ideal hubiese sido utilizar material de PVC 100% de desecho, esto no fue posible debido a que la empresa extrusora no se arriesga a introducir materiales contaminados a sus máquinas. El argumento radica en que es muy costoso una reparación de las piezas si se dañasen en el proceso.

Existe una forma de recuperar material de desecho directamente de las fábricas; esta consiste en recolectar la merma de algunos procesos de transformación de plástico y evitar que se revuelvan o contaminen en los basureros, para esto se tiene que tener un conocimiento del lugar y permiso para hacer directamente la selección en cuanto esta merma va saliendo de la producción.



Figura 89.- Pellets de PVC reciclado.

Teniendo el diseño y la materia prima el siguiente paso es la fabricación de un dado a base de acero, básicamente este será el molde para dar forma las piezas. Cabe mencionar que la adquisición de esta pieza oscila entre los \$50,000.00 a los \$150,000.00 pesos mexicanos.

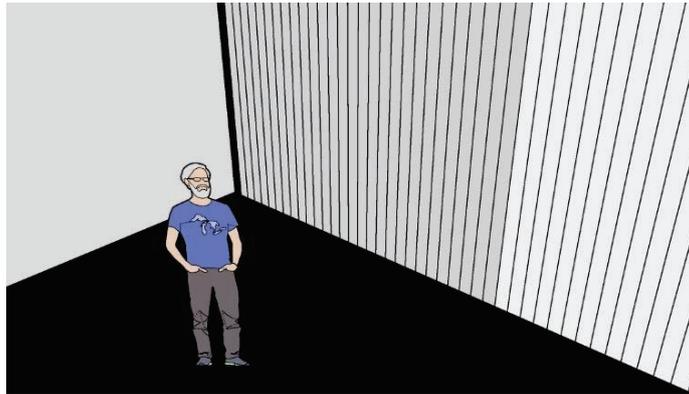


Figura 90.- Diseño seleccionado para la instalación del muro.



Figura 91.-Dado de acero para método de transformación de plástico por extrusión.

El proceso de extrusión fue descrito con anterioridad, básicamente lo que resta es la colocación de la materia prima para su transformación por medio de presión y calor.



Figura 92.- Mantenimiento a una máquina extrusora.

Apéndice

Entrevistas disponibles en la web

Otra actividad extracurricular fueron las entrevistas realizadas a usuarios de locales comerciales y a propietarios de espacios para rentar. Estas entrevistas ayudaron a reforzar varias ideas que se tenían con respecto a la utilidad del sistema constructivo que se está proponiendo. Están disponibles en la plataforma Vocaroo para poder escucharlas.





Programa de Maestría y Doctorado
en Arquitectura