



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DEL MATERIAL POLIESTIRENO
EXPANDIDO (EPS) RECICLADO EN AISLAMIENTO DE HORMIGÓN ARMADO
REFORZADO Y SUS BENEFICIOS**

César Steve Pernillo Chacón

Asesorado por el MSc. Ing. Edgar Fernando Clara Recinos

Guatemala, mayo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DEL MATERIAL POLIESTIRENO
EXPANDIDO (EPS) RECICLADO EN AISLAMIENTO DE HORMIGÓN ARMADO
REFORZADO Y SUS BENEFICIOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CÉSAR STEVE PERNILLO CHACÓN

ASESORADO POR EL MSC. ING. EDGAR FERNANDO CLARA RECINOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DEL MATERIAL POLIESTIRENO
EXPANDIDO (EPS) RECICLADO EN AISLAMIENTO DE HORMIGÓN ARMADO
REFORZADO Y SUS BENEFICIOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 14 de marzo de 2019.

César Steve Pernillo Chacón

Guatemala, 14 de marzo de 2019.

Director
Hugo Leonel Montenegro Franco
Escuela de Ingeniería Civil
Su despacho.-


Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Cesar Steve Pernillo Chacón** carné número **200819381**, quien optó la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Energía y Ambiente.

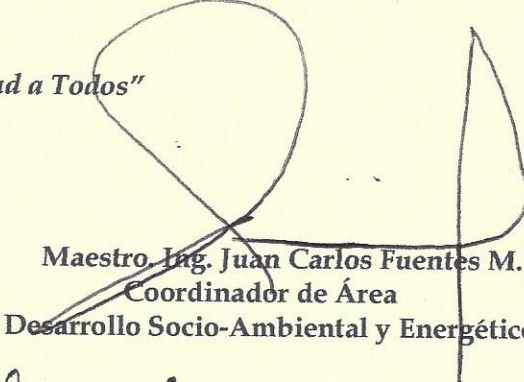
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este *Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011*, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

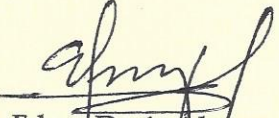
"Id y Enseñad a Todos"


Maestro. Ing. Edgar Fernando Clara Recinos
Asesor (a)

Edgar Fernando Clara Recinos
Ingeniero Civil Col. # 10,313
Maestro en Ingeniería Sanitaria


Maestro. Ing. Juan Carlos Fuentes M.
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético




Maestro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cot
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Cc archivo/L.Z.L.A.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesor MSc. Ing. Edgar Fernando Clara Recinos y del Coordinador del Área de Desarrollo Socio-Ambiental y Energético MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M. , al trabajo de graduación del estudiante César Steve Pernillo Chacón, titulado **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DEL MATERIAL POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) RECICLADO EN AISLAMIENTO DE HORMIGÓN ARMADO REFORZADO Y SUS BENEFICIOS** , da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo 2019

/mrrm.

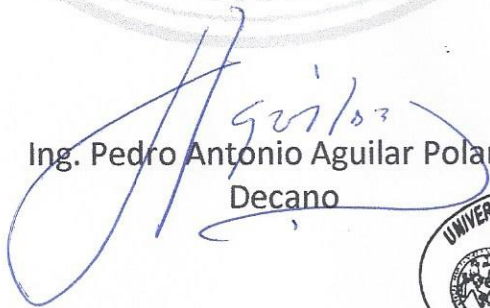




DTG. 214.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DEL MATERIAL POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) RECICLADO EN AISLAMIENTO DE HORMIGÓN ARMADO REFORZADO Y SUS BENEFICIOS**, presentado por el estudiante universitario: **César Steve Pernillo Chacón**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2019



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por apoyarme siempre y permitirme convertir en logros mis metas propuestas.

Mis padres

César Adolfo Pernillo Fuentes y Aura Marina Chacón Umaña, por sus enseñanzas, consejos, apoyo y confianza que han depositado en mí, por eso y mucho más mi eterno agradecimiento.

Mis hermanas

Paola Paz y Stephanie Pernillo, a quienes agradezco su apoyo y acompañamiento en cada momento de mi vida.

Mis abuelos

Soila Fuentes (q. e. p. d.), José María Chacón (q. e. p. d.) y María Elena Umaña (q. e. p. d.), a quienes agradezco por todas sus sabias enseñanzas y consejos que me regalaron.

Familia y amigos

Quienes en los momentos alegres y difíciles han estado ahí incondicionalmente.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el <i>alma mater</i> y casa de estudios que me permitió adquirir todos los conocimientos que me ayudaron en esta etapa de mi vida.
Facultad de Ingeniería	Por darme las herramientas y conocimientos que me ayudarán en el desarrollo de mi vida profesional.
Mi asesor	MSc. Ing. Edgar Fernando Clara Recinos, por sus consejos y guía en este trabajo de graduación.
Amigos en general	Por su amistad sincera y desinteresada.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Poliestireno expandido	19
7.1.1. Origen del poliestireno expandido y procesos de elaboración	19
7.1.2. Propiedades físicas	22
7.1.2.1. Aislación térmica.....	22
7.1.2.2. Resistencia mecánica.....	23
7.1.2.3. Propiedades de absorción	24
7.1.2.4. Propiedades ante las temperaturas	24

	7.1.2.5.	Propiedades dimensionales	24
	7.1.3.	Propiedades químicas	25
	7.1.4.	Propiedades biológicas	28
	7.1.5.	Ventajas y desventajas ambientales del uso del EPS	28
	7.1.6.	Impacto ambiental causado por productos hechos con EPS	29
	7.1.6.1.	Antecedentes del uso del poliestireno expandido.....	30
	7.1.7.	Contaminación en la producción, uso y desecho del EPS	31
	7.1.7.1.	Residuos y procesos de desecho.....	32
7.2.		Paneles de concreto prefabricados	33
	7.2.1.	Uso de paneles en la construcción.....	34
	7.2.2.	Características de los agregados	34
	7.2.2.1.	Concreto.....	34
	7.2.2.2.	Mortero.....	35
	7.2.2.3.	Arena.....	35
	7.2.2.4.	Fibras	35
	7.2.3.	Propiedades térmicas y físicomecánicas.....	35
	7.2.4.	Propiedades acústicas	37
	7.2.5.	Estándares y normas aplicables al fibrocemento	38
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	41
9.		METODOLOGÍA	45
	9.1.	Tipo de estudio.....	45
	9.2.	Fases del estudio	45
	9.2.1.	Fase 1: exploración bibliográfica	45
	9.2.2.	Fase 2: caracterización de los instrumentos	45

	9.2.2.1.	Disponibilidad de materiales en el mercado y vertederos	46
	9.2.2.2.	Disponibilidad de tecnología y maquinaria	46
	9.2.2.3.	Disponibilidad de equipo.....	48
9.3.		Fase 3: diseño y construcción de las planchas	49
9.4.		Fase 4: pruebas y ensayos.....	49
	9.4.1.	Consistencia de la mezcla	49
	9.4.2.	Contenido de aire	50
	9.4.3.	Resistencia a la compresión	51
	9.4.4.	Módulo de elasticidad	51
	9.4.5.	Peso específico y absorción	52
9.5.		Fase 5: análisis de datos	52
10.		TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	55
11.		CRONOGRAMA.....	57
12.		FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	59
13.		BIBLIOGRAFÍA	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Proceso de elaboración del EPS	21
2.	Capacidad de aislamiento térmico del poliestireno expandido	23
3.	Composición química del EPS	25
4.	Transformación de EPS 200, aplicaciones.....	31
5.	Aplicación de envases y embalajes fabricados con EPS	31
6.	Símbolo de reciclaje del EPS	33
7.	Esquema de realización de planchas de concreto	49

TABLAS

I.	Estabilidad química del EPS frente a la aplicación de solventes.....	26
II.	Resistencia del poliestireno expandido ante agentes químicos	27
III.	Significado de la simbología.....	28
IV.	Ventajas y desventajas causadas por uso del EPS	29
V.	Propiedades térmicas y fisicomecánicas.....	36
VI.	Valores de sistema constructivo STC (Sound Transmission Class) en sistemas constructivos	37
VII.	Valores comparativos entre Sound Transmission Class (STC) y <i>outdoor/indoor</i>	38
VIII.	Normas y especificaciones que cumple el fibrocemento	38
IX.	Maquinaria necesaria para los ensayos de laboratorio	46
X.	Equipo necesario para los ensayos de laboratorio	48
XI.	Análisis de la consistencia de la mezcla	52

XII.	Análisis del peso unitario y contenido de aire de la mezcla	53
XIII.	Peso unitario en estado endurecido.....	53
XIV.	Resistencia a la compresión de las muestras	53
XV.	Cargas aplicadas a las muestras	54
XVI.	Absorción en porcentaje (%) de masa	54
XVII.	Cronograma de trabajo	57
XVIII.	Presupuesto del proyecto	59

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cm	Centímetro
Cm²	Centímetro cuadrado
λ	Conductividad térmica
°	Grados
°C	Grados Centígrados
Kg	Kilogramo
Kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
Kg/cm³	Kilogramo por centímetro cúbico
m	Metro
%	Porcentaje
f'c	Resistencia del concreto

GLOSARIO

Aglomerante	Capacidad de unir varios fragmentos de una o varias sustancias dándoles cohesión por métodos físicos.
Agregado fino	Componente principal para la realización del concreto, en granulometría es el que pasa por el tamiz 3/8”.
Aislación	Colocar a un cuerpo fuera del alcance de la propagación de energía calorífica, sonora, entre otras.
Aligerar	Reducción de peso de una cosa o material.
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales).
Biodegradable	Que puede descomponerse por medio de sus agentes biológicos.
Cohesión	Acción o efecto de adherir materiales entre sí.
Compresión	Presión sometida a un cuerpo con el fin de reducir su volumen.
Concreto	Producto resultante de la mezcla de arena, grava, roca, agua y cemento.

Curado	Proceso de controlar y mantener contenido de humedad y temperatura del concreto durante su etapa de hidratación.
Disolvente	Sustancia o líquido capaz de disolver un cuerpo.
Dosificación	Cantidad adecuada que debe llevar una sustancia en cada etapa del proceso.
Ensayo	Prueba que se le realiza a un producto antes de darle el visto bueno.
EPS	Expanded polystyrene (Poliestireno Expandido).
Fraguado	Es el endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto.
Norma	Regla que debe ser respetada.
Poliestireno expandido	Material plástico espumado, derivado del poliestireno.
Polímero	Macromolécula formada por medio de la polimeración de moléculas elementales llamadas monómeros.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, titulado *Aplicación del material poliestireno expandido (EPS) reciclado en aislamiento de hormigón armado reforzado y sus beneficios*, es un análisis con base en comparaciones entre las mezclas convencionales contra una mezcla que busca sustituir parcial o totalmente el agregado fino por poliestireno expandido reciclado, más conocido como *duroport*, que es utilizado en el mercado en envases para contener alimentos y como embalaje para protección de productos delicados, para poder triturar los mismos e incorporarlos al mezclón.

Para la realización de dicho proyecto será necesario conocer las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de los materiales con los que trabajan las planchas de fibrocemento, al igual que sus aplicaciones en sistemas constructivos. Para dicha experimentación se realizarán morteros con diferentes mezclas, convencionales y con la mezcla reforzada con EPS reciclado y triturado, variando así la dosificación de las mezclas tradicionales para lograr determinar la mejor proporción por medio del ensayo de las diferentes muestras que serán evaluadas en probetas cilíndricas de medidas estándar. Con dichas pruebas se obtendrán datos con los diferentes ensayos como el análisis de consistencia de la mezcla, análisis de peso unitario y contenido de aire en la mezcla, peso unitario en estado endurecido, resistencia a la compresión, cargas aplicadas a las muestras y absorción en porcentaje de masa.

Con esta investigación se busca definir con base en los resultados si el EPS reciclado es apto para formar parte de la dosificación de los morteros, eligiendo así la muestra óptima, y también si cumple con los estándares de las

normas que rigen los ensayos. Además, se busca que dicha aplicación proporcione propiedades termoacústicas a los elementos que serán aplicados, llegando así a una conclusión viable y factible con base en los ensayos y el costo para la aplicación de este refuerzo en los morteros convencionales.

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país con crecimiento constante en el aspecto demográfico y poblacional, lo cual genera un incremento de la demanda de productos elaborados con poliestireno expandido, mismos que se destinan para la producción de artículos de contención de alimentos, para protección de productos frágiles e inclusive como elemento en la construcción. Por tal razón la producción de estos provoca desechos, luego de su utilización provoca contaminación ambiental, la cual en los últimos años se ha tornado en una problemática para la población. Muchos sectores se han interesado, desde el punto de vista ambiental y económico, en el reciclaje y la reutilización de los desechos de materiales como plásticos, papel, metales, entre otros, con los que se pueden generar nueva materia prima u otras variedades de productos. Lastimosamente no existe un manejo adecuado de desechos de productos elaborados con poliestireno expandido en el país. En su mayoría son utilizados para generación energética, ya que producen gases al ser quemados por combustión, y el resto son desechados en vertederos.

Por tal razón, y buscando aportar mejoras al medio ambiente, se presenta una propuesta para implementar los desechos de los productos elaborados con poliestireno expandido, para poderlos reutilizar por medio de un proceso de triturado e incorporarlos como elementos constructivos que no impliquen el soporte de esfuerzos estructurales de gran intensidad.

La aplicación del EPS puede aportar características similares al del agregado fino, aportando un menor peso al elemento en que se desee aplicar.

Además de ello su proceso incorpora propiedades termo acústicas, las cuales benefician en interiores habitacionales.

Para determinar sus propiedades físicas y mecánicas se realizarán ensayos de laboratorio que incluyen diferentes diseños de mezclas para la lechada de concreto Portland con la adición de EPS, con el fin de determinar su resistencia a la compresión.

En el capítulo 1 se hará una revisión bibliográfica de todos los fundamentos teóricos del poliestireno expandido, paneles de fibrocemento realizados con cemento Portland, agregados y la gestión de desechos sólidos actual en el país. En el capítulo 2 se explica el desarrollo experimental del diseño de mezclas y ensayos que se llevarán a cabo para los morteros que se tomarán como muestras, al igual que los paneles elaborados con el diseño de mezclas con mejores resultados. En el capítulo 3 se discutirán los análisis de resultados de los ensayos que serán realizados para poder determinar la resistencia de estos y los beneficios a obtener. Y, por último, se presentan conclusiones y recomendaciones del presente estudio.

2. ANTECEDENTES

En Guatemala el manejo de residuos sólidos ha sido un problema del diario vivir para la toda la población, basura en los ríos, lagos, océanos, calles, áreas verdes, desagües son escenarios del nivel de contaminación que se maneja en el país. En la capital el problema de la basura radica en que no existen leyes rígidas gubernamentales ni municipales para el manejo y control de los desechos, razón por la cual los guatemaltecos no le toman importancia al tema de los desechos sólidos y el gran daño ambiental que causa, aunado a esto el relleno sanitario actual de la capital no cubre la demanda y se encuentra en un punto de colapso.

Esta problemática también se refleja a nivel mundial, por ello su manejo se ha convertido en un interés de la comunidad científica con el objetivo de reducir, sustituir y aprovechar tales residuos en centros urbanos e industriales.

En la tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) (González Madariaga, 2005), con el tema *Caracterización de mezcla de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola, su uso en la construcción*, se documenta sobre el trabajo de investigación de incorporar EPS triturado reciclado y aplicarlo a materiales conglomerantes como el yeso y la escayola. Con el propósito de realizar ensayos con la fabricación de dos tipos de una placa constructiva similar a las placas de yeso estándar y un panel constructivo de aislante térmico, se realizaron diferentes ensayos, dentro de los que se puede mencionar:

1) El ensayo de absorción de agua por inmersión total de placa en donde se comprobó que la absorción es mayor 25% más a las probetas de referencia y las que son comerciales 2.5% más. 2) En el ensayo para determinar la densidad laminar de placa, en donde se confirmó su reducción de esta, mientras mayor sea su proporción de agua en la mezcla y de residuos de EPS, reduce su densidad de la mezcla a tratar. Estas pérdidas oscilan entre un 44.5% para las muestras que contienen residuos de EPS y el 23.1% de la muestra comercial. 3) En el ensayo de flexión de placa, se evidenció una reducción de los valores de carga máxima a la flexión que experimentan los cuerpos de yeso o escayola, dentro de las muestras formuladas con residuos de EPS, la mezcla No. 49 supera con 11% el mínimo requerido por la norma correspondiente a la placa de yeso laminado (210 N). De las otras mezclas, dos alcanzaron al 90 y 83% del valor requerido. 4) Ensayo de la resistencia al fuego en las planchas, en donde se evidenció la reacción que el fuego produce en los materiales que contienen residuos de EPS. 5) Para el ensayo de resistencia al impacto de placa, dentro de las 3 comparaciones de grupos de materiales durante el ensayo, los formulados con residuos de EPS son los más débiles al impacto. Mostrando huellas que exceden hasta un 15% a los diámetros permitidos. 6) Ensayos de compresión de panel, se evidencio la mejor resistencia a la compresión, hasta un 66% más. (González Madariaga, 2005, p. 178).

En la tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Catalunya (Cansario Pérez, 2005), con el tema *Sistema constructivo de paneles aligerados con poliestireno expandido y malla electrosoldada espacial. Estudio estructural y optimización*, se trata sobre paneles constructivos aplicando EPS como agregado y se muestra el comportamiento mecánico del elemento, determinando sus propiedades físicas mediante el uso de la herramienta teórica y experimental.

Se destaca el análisis de comportamiento de este sistema de tipo estructural, que cumpla con los requisitos para su aplicación a todo tipo de vivienda. Los resultados experimentales mostraron un comportamiento satisfactorio del elemento, la buena concordancia entre los resultados obtenidos a través del modelo y los resultados experimentales dieron cabida a simular numéricamente varios tipos de paneles, interponiendo variables de análisis que se ajustaran al modelo. El análisis se basó en la realización de paneles de pequeñas dimensiones, paneles esbeltos para una compresión simple y cumplir a efectos de flexión en una propuesta de un modelo bi-apoyado y otra para simular el comportamiento del panel en vertical y horizontal, válido por medio de los resultados obtenidos. Dicha investigación realizó un análisis de dichos paneles obteniendo resultados experimentales y numéricos, alcanzando satisfactoriamente los objetivos principales y específicos. (Cansario Pérez, 2005, p. 241).

En el libro *Energy buildings* (Dissanayake & Jayasinghe, 2014), se proporciona el tema sobre *Una comparación energética del análisis de una vivienda con poliestireno expandido aplicado en paneles para pared de concreto*, publicación en la cual el investigador trata de buscar una solución para la basura producida por el poliestireno expandido, aplicándolo directamente a paneles de concreto, los cuales serán utilizados para construcción de viviendas con un objetivo ambiental.

El estudio detallado se lleva a cabo para determinar la energía incorporada del hormigón celular ligero. El panel prefabricado con 50% de contenido EPS reciclado indicó un valor de 366MJ / m² o 545MJ por panel, cuando el espesor es de 100 mm. Cuando es 150 mm, los valores son 481MJ / m² o 716MJ por panel. Sin embargo, estos valores no se pueden comparar directamente con los otros materiales de construcción

principales como ladrillos de arcilla quemada y bloques de arena de cemento. Por lo tanto, se ha llevado a cabo un estudio de caso para una casa típica de una sola planta. Esto permitió una comparación adecuada con el trabajo de bloques de arena de cemento y ladrillo de arcilla quemada. Este estudio indicó que la casa de bloque de arena de cemento en 3.02 GJ / m² puede funcionar mejor que la casa de paneles prefabricados de hormigón celular. Esto a pesar de que la casa del panel prefabricado usa un volumen de material de desecho, sin embargo, un estudio más detallado sobre el uso de material individual y la energía incorporada asociada indicó que, aunque los bloques de arena de cemento parecen ser los mejores, todavía consume mucha arena escasa en Sri Lanka y también tiene que ser transportada largas distancias. Por lo tanto, aunque los bloques de arena de cemento funcionan bien con respecto a la energía incorporada, aún pueden tener muchos otros impactos relacionados con el medio ambiente. El estudio se extendió para determinar la emisión de carbono y también indicó bloques de arena de cemento para ser el mejor y el hormigón de espuma basado en sistema de paneles para acercarse en el rendimiento. El costo del sistema de paneles prefabricados de hormigón celular también es comparable con el trabajo de ladrillos de arcilla quemada y el trabajo de bloques de cemento. Cuando se consideran todos estos factores diferentes, es posible afirmar que el hormigón prefabricado de hormigón el sistema de paneles tiene el potencial de ser promovido como material de muros de corriente principal con 100 mm o 150 mm de espesor. Los paneles prefabricados descritos pueden funcionar mejor que los ladrillos de arcilla quemada cuando ambos, la energía incorporada y la emisión de carbono, están relacionadas al tener muchas construcciones relacionadas y ventajas como una construcción más rápida y la necesidad de menos trabajo. (Dissanayake & Jayasinghe, 2014, p. 7).

En la tesis de licenciatura de la Escuela Colombiana de Ingeniería, publicada en Bogotá (Zuluaga Molina, 2013), con el tema *Evaluación del comportamiento del concreto elaborado con desechos de ICOPOR*, se realiza el análisis de la incorporación de los productos hechos con poliestireno expandido y mezclarlos con concreto armado para obtener una serie de resultados con beneficios constructivos y ecológicos, realizando probetas con diferentes proporciones del EPS triturado, para luego someterlo a los diferentes ensayos.

Se obtuvieron resultados para el ensayo por asentamiento y se obtuvo valores aceptables, la mezcla mostró buena manejabilidad, sin mucha humedad y tampoco muy seca, y sin evidenciarse segregación de materiales. Para los ensayos con las probetas ya fraguadas con un curado de 28 días se practicaron ensayos. Para la resistencia a la compresión se evidenció que el total de las mezclas elaboradas en promedio alcanzaron el 50% de la resistencia requerida a los siete días de curado, a los catorce días la resistencia registrada era aproximada al 100% de la requerida y a los 28 días de endurecido la resistencia obtenida era superior a la solicitada. Las diferencias encontradas entre mezclas no son significativas y por tanto se concluye, a partir de estos resultados, que concretos elaborados con incluso 20% de reemplazo con icopor presentan una resistencia a la compresión similar que concretos tradicionales sin reemplazo alguno. (Zuluaga Molina, 2013, p. 37).

En la tesis de licenciatura de la Universidad Nacional de San Agustín, publicada en Arequipa, Perú (Bustamante Medina & Diaz Salcedo, 2014), con el tema *Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto alivianado con perlas de poliestireno expandido reciclado*, se presentan 3 tipos de ensayos a 3 mezclas diferentes, todos incluyen los elementos estructurales que incluyen las típicas mezclas como cemento, agregado fino de arena, agregado grueso de

pedrín, agregado aligerado del poliestireno expandido y un aditivo reductor de agua, realizando ensayos del método *slump* para 6" y obteniendo resultados positivos. Se evidenció que las muestras no debían tener exceso de agua, por lo que se utilizó un aditivo para la reducción de esta. También se realizaron pruebas de compresión y resistencia con un total de 28 ensayos, en muestras que fueron fraguadas con diferentes días de curado. Se denota que la agregación de aditivos a la mezcla permite que esta no se segregue y se mantenga unida. La aplicación del EPS reciclado permite un aligeramiento en las muestras, aumentando el aire ocluido en el mortero, porque el material debe ser triturado a un grado pequeño para evitar porosidades en la muestra y no permitir que disminuya su resistencia.

En ensayos de módulo de ruptura los resultados fueron menores a las de un concreto convencional, procediéndose a una mejora de la mezcla. Dentro de los resultados obtenidos se obtuvo que el aumento en la dosificación de EPS provoca un incremento del aire ocluido en el mortero en cantidades variables que dependen de la geometría de las partículas, en el caso de poliestireno reciclado estas presentan una geometría amorfa e irregular debido al proceso de trituración, esto provoca un incremento en su porosidad generando una disminución de la resistencia y trabajabilidad. La densidad del mortero fresco es reducida al momento de incrementar la proporción de poliestireno expandido y disminuye el tamaño de las partículas. Las temperaturas obtenidas se encuentran dentro de los límites permisibles, lo cual en condiciones normales indica que se obtendrá una buena resistencia a corto y largo plazo, ya que la temperatura del concreto condiciona la velocidad del proceso de endurecimiento inicial, un elevado calor de hidratación significaría una elevada resistencia a corto plazo y menor calor de hidratación significaría una mejor resistencia a largo plazo, a pesar de que la temperatura se encuentra dentro del rango aceptable se esperaba un

buen desarrollo de las resistencias de corto y largo plazo, aunque esta sea menor debido al contenido de agregado ligero. La resistencia a compresión disminuye al aumentar el contenido de EPS, siendo menor a la del concreto convencional, debido a su reducción en la densidad del mortero endurecido como de la su trabajabilidad, lo cual implica la obtención de morteros menos homogéneos y más disgregados. Esta se ve incrementada al momento de acrecentar la densidad del concreto. Los valores alcanzados no son adecuados para los requerimientos mecánicos de los morteros convencionales. Sin embargo, cumplen los requisitos para los morteros de revestimiento, enlucido y de albañilería. Los resultados obtenidos para el módulo de rotura muestran valores considerablemente menores a los de un concreto convencional. La presencia de EPS reduce significativamente la resistencia a flexión. El uso de aditivos no consigue mejorar esta propiedad, pero debido a que se trata de un concreto de menor peso los resultados obtenidos se consideran valores aceptables. En cuanto a la relación $MR/f'c$, se observa un comportamiento similar al de los concretos convencionales, es decir que la relación $MR/f'c$ va disminuyendo a medida que aumenta La resistencia a la compresión. (Bustamante Medina & Diaz Salcedo, 2014, p. 260).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los niveles de contaminación ambiental crecen al mismo tiempo que aumenta la población, en Guatemala la tasa de crecimiento poblacional es del 2.4 % anual. Mientras más personas haya, más grande es el consumismo de productos para el uso diario. Muchos de estos artículos son desechables, lo cual significa que una vez utilizados son desechados, contaminando con ello los suelos y el agua de lagos y mares.

Productos hechos con poliestireno expandido como platos, vasos, envases y protección de embalaje de productos delicados en la industria, son elaborados diariamente y desechados en su mayoría al ser utilizados, llevados a vertederos sin ningún tipo de tratamiento o reciclaje, a espera que sean biodegradados, lo cual lleva muchos años en realizarse.

El bajo costo de la materia prima para realizar productos hechos con poliestireno expandido y su peso liviano hace que tenga un gran consumo diario, generando así desechos de miles de toneladas por día. La preocupación por la cantidad de basura provocada por este material es grande, ya que es un material que no se biodegrada con facilidad. Al ser un producto derivado del petróleo, hoy no existe una manera ecológica para reciclarlo, ya que el reciclaje térmico genera gases y vapores que contaminan la atmósfera, por lo que las alternativas para la reutilización del EPS reciclado son de prioridad para el ambiente, implementarlas a sistemas de beneficio humano.

Esta problemática lleva a plantear la pregunta: ¿cuál es el diseño para realizar un aislamiento termoacústico en el hormigón utilizando como agregado poliestireno expandido reciclado triturado?

Para responder a esta interrogante se deberá considerar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál es el diseño de mezcla que incorpore todos los elementos estructurales y el poliestireno triturado para poder realizar planchas de concreto prefabricado?
- ¿Se logrará reducir los niveles de ruido y temperatura para crear ambientes herméticos y confortables dentro de los hogares?
- ¿Cuál es el beneficio ambiental que genera utilizar paneles de concreto armado mezclados con EPS reciclado?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de gestión ambiental de la Maestría de Energía y Ambiente. El principal aporte de este trabajo de investigación es que se promueve la reutilización del material poliestireno expandido (EPS), y la disminución de desechos que genera la producción y consumo de productos que son elaborados con el mismo. Dichos productos en su mayoría son de un solo uso y son desechados sin ningún tipo de tratamiento que conlleve su reutilización, recuperación o reciclaje, y depositados directamente en un vertedero, pero es necesaria una mejora en cuanto a este tipo de desechos y reutilizarlos para su uso en métodos constructivos para obtener beneficios ambientales y que a su vez brinden propiedades termoacústicas a las viviendas.

Se promueve reutilizar los desechos del poliestireno expandido como envases para alimentos, embalaje de productos frágiles, etc., por medio de un proceso de trituración, para poderlos incorporar a una mezcla de concreto armado reforzado con una malla de fibra de vidrio polimerizada, con el fin de producir planchas tipo *durock* de 2.20 metros de alto y 1.10 metros de altura, con la expectativa de generar tablas aligeradas respecto a su peso, brindarles propiedades termoacústicas y de buena resistencia a los momentos de compresión y flexión.

El beneficio será para toda la población, ya que el problema de manejo de desechos sólidos es algo que afecta directa o indirectamente a todo el país, en cierto grado toda la población aporta al consumismo de productos hechos con poliestireno expandido, y no lo desechan correctamente, ya que no existen leyes

que obliguen a clasificarlos para su reciclaje o reutilización. Por esta razón una gran proporción se tira en los basureros y es recolectada para dirigirla al vertedero municipal, en donde los restos son depositados a espera que se degraden, proceso el cual toma cientos de años.

Esta investigación se vincula a la temática ambiental, ya que promueve la reutilización de desechos para aplicarlos en el sistema constructivo, de tal manera que estas planchas de concreto armado puedan ayudar a personas y familias del país que sufren diariamente las consecuencias del mal manejo de desechos sólidos, aplicando este método en hogares de escasos recursos que han sido construidos con materiales de mala calidad, esperando lograr así efectos térmicos y acústicos para beneficio de la población.

5. OBJETIVOS

General

Promover la aplicación de planchas de hormigón armado con poliestireno expandido (EPS) reciclado, reforzado con una malla de fibra de vidrio polimerizada para brindar propiedades termoacústicas en interiores habitacionales.

Específicos

1. Diseñar un panel de concreto armado utilizando como agregado poliestireno expandido triturado reutilizado.
2. Reducir los niveles de ruido y temperatura en interiores para crear ambientes herméticos y confortables.
3. Crear un beneficio de impacto ambiental al reutilizar productos elaborados con EPS en un sistema constructivo de planchas de concreto armado.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La propuesta de investigación tiene como principal objetivo la elaboración y el desarrollo de un sistema de paneles prefabricados, los cuales serán aligerados por medio de la aplicación del reciclaje de productos elaborados con poliestireno expandido (EPS), el cual ya limpio de impurezas y triturado se incorporará a la mezcla para la elaboración de los paneles, que serán también reforzados con una malla de fibra de vidrio polimerizada.

Con este sistema de paneles se espera reducir los niveles de contaminación ambiental que generan el desecho de productos que son elaborados con el poliestireno expandido, como recipientes para contener alimentos y para protección de embalaje de productos frágiles, entre otros. Con la aplicación del EPS reciclado se busca la reducción de la contaminación auditiva dentro de habitaciones, generada por la urbe, de esta misma manera se espera una reducción en los niveles de temperatura para crear ambientes más cómodos.

La falta de un correcto manejo de desechos sólidos en Guatemala y la falta de rigidez en las leyes actuales han llevado al país a un colapso de los vertederos municipales, y esto lleva a un incremento en la contaminación de la atmósfera, suelos y subsuelos. Por tal razón la reutilización de los desechos sólidos para aplicarlos al beneficio de las personas crea un consumismo autosostenible. Es importante reciclar los desechos del poliestireno expandido triturado para incorporarlos a una mezcla con concreto armado, y luego fundirlos en moldes con dimensiones de 1.10x2.20 metros, para obtener paneles prefabricados de fácil instalación, de buena calidad y con beneficios termoacústicos.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Poliestireno expandido

Es un material de tipo plástico celular espumado y rígido el cual es derivado de perlas pre-expandidas de poliestireno presentando una estructura celular cerrada y rellena de aire aligerando el material, y cuya función es la producción de diversos productos por sus propiedades de baja densidad, aislamiento termoacústico, estabilidad dimensional y buen comportamiento frente al agua y vapor de agua. (Textos Científicos, 2018, p. 1)

7.1.1. Origen del poliestireno expandido y procesos de elaboración

El descubrimiento del estireno se dio en 1839 por el boticario Eduard Simón, nacido en Berlín, gracias al estoraque, el cual es la resina del árbol *Liquidambarorientalis*, que secreta una sustancia aceitosa llamada estiol. Luego de varios días este se espesó por presunta oxidación, convirtiéndose en una especie de gelatina llamada óxido de estireno (Styroloxyd). En 1845, John Buddle Blyth, jamaiquino, y el químico August Wilhelm Von Hofmann, alemán, mostraron que por falta de oxígeno en el estireno se llevaba a cabo la misma transformación, llamando a esta sustancia metastyrol. Marcelin Berthelot en 1866 identificó que la formación del metastyrol/Styroloxyd se crea por un proceso de polimerización. Experiencias que quedaron plasmadas solo en ensayos de laboratorio.

En 1920, el primero en destilar poliestireno en su laboratorio fue Hermann Staudinger, un alemán quien explicó este fenómeno y su teoría de cómo

polimerizarlo, diciendo así que al momento de calentarlo este produce una reacción en cadena de macromoléculas. (Scheirs & Priddy, 2003, p. 3).

En 1940, los científicos BASF y Dow desarrollaron una forma de fabricar el poliestireno en forma de gránulos, desarrollando independientemente el poliestireno expandido (EPS), basándose en el uso del pentano utilizándolo como agente espumante, en la posguerra fue el único poliestireno utilizado. Su demanda se disparó a fines del año 1960. (Textos Científicos, 2018, p. 1).

El proceso de transformación que sufre el poliestireno está compuesto por 3 fases:

- Fase de pre-expansión:

El proceso inicia con las perlas del EPS, las cuales contienen habitualmente pentano, el cual actúa como un agente expansivo, estas son calentadas con vapor de agua que está a una temperatura de 80-100 °C en maquinaria especial llamada pre-expansor. Estas disminuyen su densidad en función del tiempo y la temperatura.

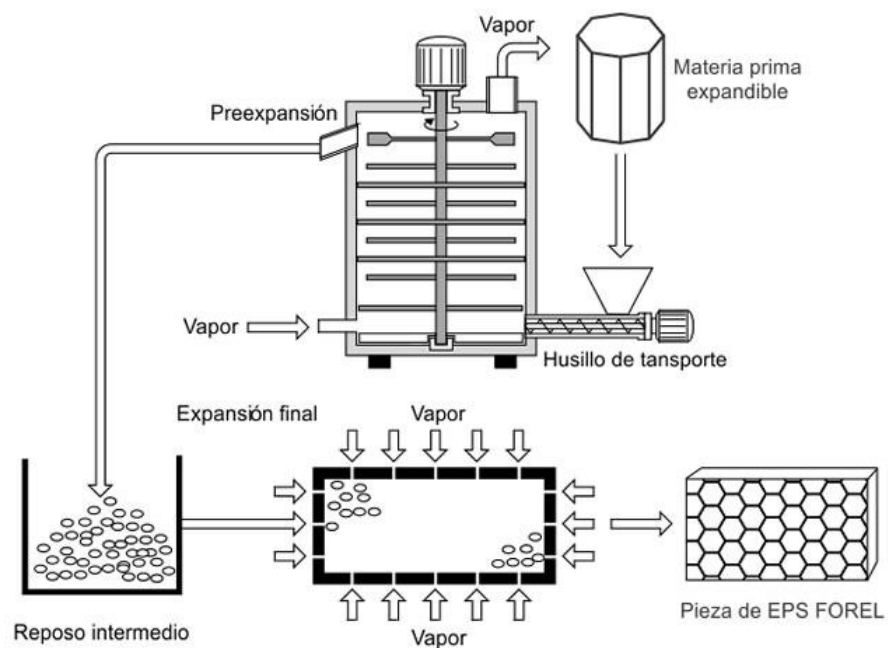
- Fase de estabilización y reposo intermedio:

Las partículas recientemente expandidas se mantienen en silos, en donde se provee aire por medio de penetración por difusión, para compensar el vacío creado en ellas. De esta forma las perlas logran alcanzar un mayor equilibrio mecánico e incrementan su capacidad expansiva.

- Fase de expansión y moldeo:

“Una vez las perlas parten del reposo ya pre-expandidas y estabilizadas son conducidas a maquinaria para su moldeo, acá se les aplica energía térmica, lo que hace que eleven su temperatura provocando una expansión de estas permitiendo la plastificación del polímero. El producto final se adapta al molde que lo contiene”. (Asociación Nacional del Poliestireno Expandido, 2018).

Figura 1. **Proceso de elaboración del EPS**



. Fuente: Grupo FOREL (2011) *Proceso de elaboración del EPS*. Recuperado de <http://www.forel.es/>.

7.1.2. Propiedades físicas

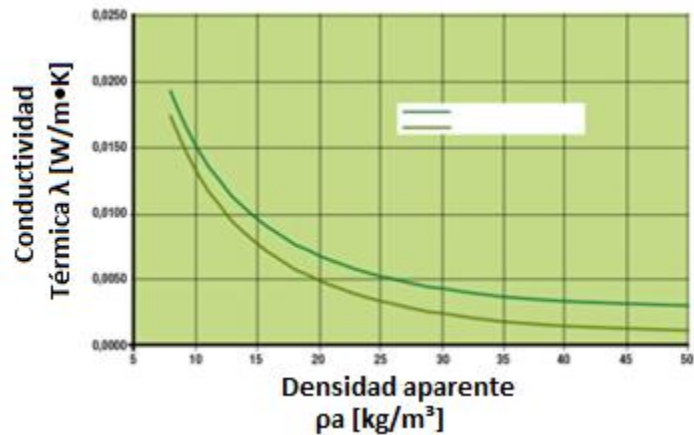
Son las características propias del material, diferenciándolos de los otros. El poliestireno expandido se ha diferenciado de otros materiales, por lo que su utilización es de gran versatilidad en los ámbitos doméstico, comercial, industrial y en la construcción.

7.1.2.1. Aislación térmica

En el mercado uno de los mejores materiales cotizados por sus características y propiedades de aislamiento a las altas y bajas temperaturas, al igual que por su capacidad de soporte a los impactos, es el poliestireno expandido, teniendo así una gran demanda en el sector constructivo.

Esta propiedad es gracias a que las perlas contienen en su interior aire en un 98%, y únicamente el 2% del material es sólido. Por lo que el aire contenido dentro permite una función de aislación térmica. Esta capacidad depende del coeficiente de conductividad térmica λ , que en el caso del poliestireno expandido varía en relación con su densidad aparente. La capacidad de aislamiento térmico está relacionada por el coeficiente de conductividad térmica versus la densidad aparente. Como muestra la gráfica. (Asociación Nacional del Poliestireno Expandido, 2018).

Figura 2. **Capacidad de aislamiento térmico del poliestireno expandido**



Fuente: Asociación Nacional de Poliestireno Expandido (2019) *Aislamiento térmico del poliestireno expandido*. Recuperado de <http://www.anape.es/index.php?accion=producto>.

7.1.2.2. Resistencia mecánica

La resistencia a esfuerzos mecánicos que sufren los productos elaborados con poliestireno expandido se evalúa en base a los factores dentro de los que podemos mencionar:

- Resistencia a su compresión
- Resistencia a la tracción
- Resistencia a la flexión
- Resistencia al esfuerzo por corte
- Fluencia a compresión (Asociación Nacional de Poliestireno Expandido, 2018).

7.1.2.3. Propiedades de absorción

El poliestireno expandido es un material higroscópico, lo que indica que su plasticidad está compuesta por átomos de carbono e hidrogeno cuando existe una ausencia de sus polos. Aun sumergido en agua en su totalidad el material presenta niveles de absorción bajos los cuales oscilan entre un 1% al 3% en volumen, según muestran ensayos realizados a 28 días de haber sumergido el material (Asociación Nacional del Poliestireno Expandido, 2018).

7.1.2.4. Propiedades ante las temperaturas

Este material tiende a sufrir variaciones en efecto de la acción térmica. Las limitantes del rango de temperatura de este material en su extremo inferior no se ven afectadas, exceptuando las variaciones dimensionales por contracción. En el extremo superior su límite de temperatura ondula en los 100 °C en períodos cortos, esto provoca que el producto se reblandezca lentamente y provoque efectos de contracción, en una temperatura mayor se crea el efecto de fundición, lo que produce gases inflamables (Asociación Nacional del Poliestireno Expandido, 2018).

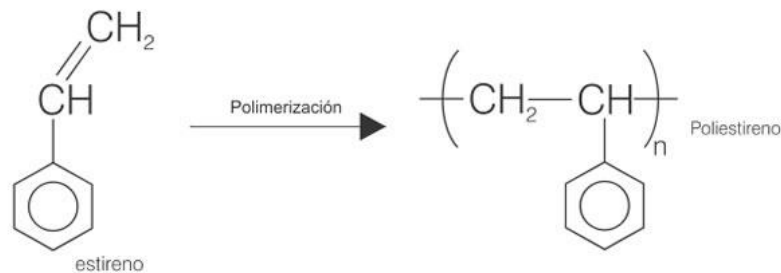
7.1.2.5. Propiedades dimensionales

El poliestireno expandido está sometido a variaciones en sus dimensiones, por lo que se expande y contrae según cambios de temperatura y presión. Estas variaciones son analizadas por medio del coeficiente de dilatación térmica, el cual para productos de poliestireno expandido tiene un rango de 0.05 y 0.07mm por metro de longitud y grados centígrados, es independiente de su densidad.

7.1.3. Propiedades químicas

La composición del poliestireno expandido lo hace estable ante muchos productos químicos. Sin embargo, sufre de ataques a su composición si se utilizan en el producto como disolventes de pintura, adhesivos y vapores concentrados. Los ácidos concentrados, disolventes orgánicos como la acetona, hidrocarburos asfálticos, aceite de diésel y carburantes son otras sustancias que afectan la estabilidad del EPS (Asociación Nacional del Poliestireno Expandido, 2018).

Figura 3. **Composición química del EPS**



Fuente: Grupo FOREL (2019) *Composición química del EPS*. Recuperado de <http://www.forel.es>.

La tabla de la página siguiente muestra la estabilidad del EPS respecto a diferentes solventes químicos que se le puedan añadir:

Tabla I. **Estabilidad química del EPS frente a la aplicación de solventes**

SUSTANCIA ACTIVA	ESTABILIDAD EN SU APLICACIÓN
Solución salina (agua de mar)	Es estable: no afecta ni se destruye el EPS para aplicaciones prolongadas.
Jabones y soluciones de tensioactivos	Es estable: no afecta ni se destruye el EPS para aplicaciones prolongadas.
Lejías	Es estable: no afecta ni se destruye el EPS para aplicaciones prolongadas.
Ácidos diluidos	Es estable: no afecta ni se destruye el EPS para aplicaciones prolongadas.
Ácido clorhídrico (35%), ácido nítrico (50%)	Es estable: no afecta ni se destruye el EPS para aplicaciones prolongadas.
Ácidos concentrados (sin agua) al 100%	No es estable: El EPS se disuelve o sufre de contracción.
Soluciones alcalinas	Es estable: no afecta ni se destruye el EPS para aplicaciones prolongadas.
Disolventes orgánicos (acetona, ésteres)	No es estable: El EPS se disuelve o sufre de contracción.
Hidrocarburos alifáticos saturados	No es estable: El EPS se disuelve o sufre de contracción.
Aceites de parafina, vaselina	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie
Aceite de Diesel	No es estable: El EPS se disuelve o sufre de contracción.
Carburantes	No es estable: El EPS se disuelve o sufre de contracción.
Alcoholes (metanol, etanol)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Aceites de silicona	Estabilidad media: en una aplicación prolongada, el EPS puede contraerse o afectar su superficie.

Fuente: Asociación Nacional de Poliestireno Expandido, (2018). *Estabilidad Química del EPS*.

La resistencia del comportamiento estable, poco estable o intermedia que presenta el poliestireno expandido respecto a diferentes agentes químicos es mostrada en la siguiente tabla:

Tabla II. **Resistencia del poliestireno expandido ante agentes químicos**

Agente aplicado	EPS de tipo estándar	EPS de difícil inflamación	EPS resistente a los aceites y diésel
Agua	+	+	+
Agua de mar	+	+	+
Ácido clorhídrico al 36%	+	+	-
Ácido sulfúrico al 95%	+	+	-
Ácido fosfórico al 90%	+	+	-
Ácido nítrico al 68%	+	+	-
Ácido fórmico al 80%	+	+	-
Ácido acético al 70%	+	+	-
Hidróxido sódico al 40%	+	+	+
Hidróxido potásico al 50%	+	+	+
Agua amoniacal al 25%	+	+	+
Alcohol metílico	+	+	+
Alcohol etílico	+	+	+ -
Alcohol propílico	+	+	+ -
Bencina y aceite de diésel	+	+	+ -
Carburante con benceno	-	-	+
Éter acético	-	-	-
Benceno	-	-	-
Tetracloruro de carbono	-	-	-
Éter y disolventes orgánicos	-	-	-

Fuente: Méndez Rossal, H; Cordova Recinos, O; Corado Bautista, J. (2015). *Evaluación de alternativas de reciclaje de poliestireno expandido (duroport)*.

El significado de la simbología de la tabla anterior se describe a continuación:

Tabla III. **Significado de la simbología**

SIGNO	SIGNIFICADO
+	Estable
+ -	Limitadamente estable
-	Inestable

Fuente: Méndez Rossal, H; Córdova Recinos, O; Corado Bautista, J. (2015). *Evaluación de alternativas de reciclaje de poliestireno expandido (duroport)*.

7.1.4. Propiedades biológicas

El EPS no contribuye en aspectos nutritivos para la proliferación de microorganismos debido a que no actúa como un agente transportador. Por lo que no permite que se pudra, enmohezca y se descomponga. Tampoco es atacado por bacterias que existen en los suelos. Este producto no es perjudicial para el medioambiente de manera que no afecta los mantos acuíferos (Solís, 2005).

7.1.5. Ventajas y desventajas ambientales del uso del EPS

El uso del poliestireno expandido a sido a lo largo del tiempo un producto que gracias a sus características y propiedades presenta una serie de aplicaciones para su uso en diversos campos, ya que gracias a su versatilidad y su producción en masa la preocupación ambiental crece. Se mencionan acá pros y contras causados por su utilización en el ámbito medioambiental:

Tabla IV. **Ventajas y desventajas causadas por el uso del EPS**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Uso termoacústico en construcciones como viviendas, edificios, etc.	Huella de carbono en todo el ciclo de vida, desde su producción hasta su terminación de uso.
Conserva la calidad de alimentos y embalaje de productos.	El material no es reciclable en su totalidad.
Al no utilizar gases tóxicos para la atmosfera no lastiman la capa de ozono	A pesar de ser de poco peso, ocupa mucho espacio por el proceso de expansión que sufre.
Material ligero para su transporte.	No es biodegradable.
Al no ser un material biodegradable no permite el cultivo de hongos y bacterias	Es un material con alto impacto para la vida marina.
No emite sustancias toxicas para el agua ya que es un material no soluble.	Es de uso desechable.

Fuente: elaboración propia.

7.1.6. Impacto ambiental causado por productos hechos con EPS

A nivel mundial, incluso en Guatemala, la problemática del manejo en gestión de residuos sólidos ha ido en aumento, debido a la demanda de producción de artículos y materiales que son usualmente hechos para un solo uso. El poliestireno expandido es uno de los productos a nivel mundial más vendidos y consumidos debido a su versatilidad como producto de contención y protección.

Según publicaciones realizadas por la Asociación Europea de Fabricantes de Poliestireno Expandido (EUMEPS), se realizó una consultoría a la empresa Price Water House Coppers/Ecobilan del ciclo de vida (ACV) de un embalaje de una televisión, cuyos objetivos eran identificar las fuentes de impacto ambiental causadas por el embalaje de EPS y cuantificar mejoras conseguidas mediante su reciclaje. Los resultados fueron:

- Las fases de producción con mayor grado de impacto ambiental están limitadas a la etapa de elaboración del material virgen y transformación del producto final, dichas etapas presentan mayores emisiones gaseosas.
- El EPS no produce deterioro en la capa de ozono.
- El impacto ambiental del transporte de materiales producidos con EPS es mínimo, ya que por el poco peso del material no representa esfuerzos en sus traslados.
- El poliestireno expandido no es biodegradable, por más que no tenga participación dentro de la contaminación ambiental y de aguas, su permanencia ocupacional es para siempre (ANAPE, 2001).

7.1.6.1. Antecedentes del uso del poliestireno expandido

A nivel mundial el EPS es utilizado en muchos aspectos en estructuras de grandes dimensiones, como en caminos, puentes, líneas de tren, edificios públicos y de oficinas, incluso en viviendas familiares, proveyéndolas de diversas e importantes funciones. Esto hace que el material disponga de una gran

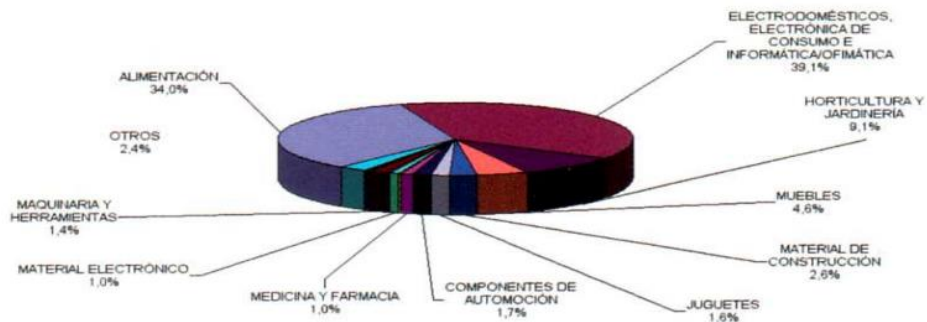
versatilidad, ya que también es usualmente utilizado como embalaje de productos delicados y recipiente de alimentos.

Figura 4. **Transformación de EPS 200, aplicaciones**



Fuente: Ferreira, B.; et al. (2008) *Situación de la gestión de residuos de envases de poliestireno expandido (EPS) en la comunidad de Valencia.*

Figura 5. **Aplicación de envases y embalajes fabricados con EPS**



Fuente: Ferreira, B.; et al. (2008) *Situación de la gestión de residuos de envases de poliestireno expandido (EPS) en la comunidad de Valencia.*

7.1.7. Contaminación en la producción, uso y desecho del EPS

El uso del poliestireno expandido genera un impacto ambiental durante todo su ciclo de vida, a comparación de otros productos es más amigable para el medio ambiente, puesto que existen diferentes procesos para reincorporarlo al proceso productivo.

7.1.7.1. Residuos y procesos de desecho

El EPS es un producto cuya materia prima es un polímero del estireno, el cual contiene un agente expansor, siendo este el pentano. Este es un derivado del petróleo, haciendo que los productos elaborados con estos materiales no sean biodegradables para el ambiente, por lo que se manejan diferentes gestiones de residuos del EPS, entre los que podemos mencionar:

- Reciclaje: uno de los procesos para reciclar el poliestireno expandido trata sobre triturar el material por medio de un proceso mecánico y luego ser mezclado con nueva materia para formar así productos que representen funciones semejantes a su origen.
- Existen otros tipos de tecnologías para realizar el reciclaje del Poliestireno, como la densificación mecánica, la cual consiste en aplicar energía térmica y mecánica, lo que genera una compactación de partículas de las perlas expandidas de fácil transporte.
- El símbolo que certifica que un poliestireno es apto para su reciclaje se identifica con un triángulo que en su interior lleva un número "6" y continuo las siglas "PS" (Méndez Rossal, Córdova Recinos, & Corado Bautista, 2015, p. 34.)

Figura 6. **Símbolo de reciclaje del EPS**



Fuente: ANAPE. (2001) *Símbolo del reciclaje de EPS*.

- Reutilización: esta alternativa trata de utilizar los residuos sólidos del EPS sin ser procesados químicamente.
- Recuperación energética: esta alternativa es recomendada cuando los desechos del EPS están altamente contaminados y se basa en la incineración de estos, por los que se obtienen gases con los que podemos generar energía por medio de la movilización de turbinas.
- Desechado: esta opción es de las menos recomendada, ya que por ser un material que no es biodegradable no se descompone con facilidad. Esta práctica se basa en verter los residuos en tiraderos y depósitos designados". (Méndez Rossal, Córdova Recinos, & Corado Bautista, 2015, p. 14).

7.2. Paneles de concreto prefabricados

Son un tipo de estructura flexible tipo pantalla utilizado en las construcciones. Son elaborados con lechada de hormigón, aditivos y agregado fino, prefabricados en forma rectangular. Su principal función es la disminución de tiempo en su colocación y su bajo peso, ya que son de fácil instalación según sea el diseño previsto, dotando a la edificación de una fachada estética. Dichos

paneles no proveen un factor estructural importante, ya que su principal propósito es la separación de áreas y renovación de espacios para obtener resultados arquitectónicos, auditivos y térmicos.

7.2.1. Uso de paneles en la construcción

Los paneles de concreto prefabricado pueden emplearse en diferentes áreas en una edificación, dependiendo de su uso y ubicación, así como en losas y muros que no representen un valor estructural como en:

- Viviendas
- Oficinas
- Hoteles
- Centros educativos
- Centros hospitalarios

7.2.2. Características de los agregados

La forma, textura, gradación, resistencia, módulo de elasticidad y la pureza de los agregados tienen un efecto significativo al momento de realizar mezclas, es por ello que se requiere de materiales en buenas condiciones para lograr una buena trabajabilidad y resistencia que establece el diseño de mezclas.

7.2.2.1. Concreto

La resistencia que requiere la compresión del concreto depende del elemento y la estructura que se aplicará, con un asentamiento no mayor a 3" en fundiciones horizontales y que para fundiciones verticales es de 6". Para su fraguado en fundiciones verticales debe ser en corto tiempo.

7.2.2.2. Mortero

El mortero es la mezcla de cemento, arena, cal y agua. Su proporción se debe al grado de resistencia que se quiera obtener.

7.2.2.3. Arena

Conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales en un tamaño pequeño. Se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0.063 y 2 milímetros. En su forma individual se le conoce como grano.

7.2.2.4. Fibras

Son filamentos delgados que pueden ser de diferente índole, tales como fibra de vidrio, filamentos del polipropileno, fibras de carbón y fibras orgánicas que sirven como refuerzo de la mezcla. Cuentan con parámetros numéricos que dependen de su proporción existente entre la longitud y el diámetro de la sección, los cuales se conservan entre 30 a 150. Estas fibras proporcionan al mortero una menor resistencia a la tensión que el asbesto, pero incrementan la resistencia al impacto en láminas corrugadas o planas. (Alfaro, 2004, p. 96.)

7.2.3. Propiedades térmicas y físicomecánicas

Las planchas de fibrocemento poseen propiedades térmicas y físicomecánicas que favorecen su uso en la construcción, las cuales están señaladas en la tabla V.

Tabla V. **Propiedades térmicas y fisicomecánicas**

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Coeficiente de expansión térmica lineal		
Paralela	cm/°C	6.9 E-6
Perpendicular	cm/°C	6.4 E-6
Conductividad térmica	W/m°C	0.2
Contenido de humedad	%	6.0 - 8.0
Densidad	g/cm ³	1.1
Incombustibilidad		
Propaganda de llama		0
Contribución al fuego		0
Desarrollo de humo		0
Módulo de ruptura		
Paralela	Mpa	10.2
Perpendicular	Mpa	9
Modulo elástico	Mpa	
Paralela	Mpa	4610
Perpendicular	Mpa	3926
Resistencia a la compresión	Mpa	
Paralela a la superficie Mpa 40.40	Mpa	40.4
Perpendicular a la superficie Mpa 26.70	Mpa	26.7
Resistencia a la tracción	Mpa	
Paralela Mpa 4.80	Mpa	4.8
Perpendicular Mpa 3.50	Mpa	3.5
Resistencia a la cortante Mpa 8.16	Mpa	8.16
Resistencia al impacto	Kg-m/cm	
Láminas de 11mm	Kg-m/cm	0.03
Láminas de 17mm	Kg-m/cm	0.03
Transmisión de vapor de agua	g/h-m ²	1.91
Variación lineal concambios de humedad de	%	
Paralela 30-90% H.R.	%	0.13
Perpendicular 30-90% H.R.	%	0.1

Fuente: Alfaro, P. Y. (2004) *Métodos para construcción de viviendas*.

7.2.4. Propiedades acústicas

Una de las principales propiedades de las planchas de fibrocemento es su función acústica, contando con dos sistemas, las STC, que determinan el aislamiento de una barrera para el sonido que es transportado por el aire, y las OITC, (clase de transmisión del aire libre hacia el interior) (Alfaro, 2004, p. 99).

Los valores de aislamiento de los sistemas que aplican opciones con planchas de fibrocemento cuentan con valores de aislamiento ya conocidos, algunos valores STC de sistemas de constructivos son:

Tabla VI. **Valores de sistema constructivo STC (Sound Transmission Class) en sistemas constructivos**

MATERIAL	STC
Lámina de vidrio de 6mm	25
Madera Plywood 19mm	26
Pared de foros de yeso de 13mm con estructura de madera de 5*10cm	33
Placa de acero 6mm	35
Muro de concreto armado 20cm	51
Muro de bloques de concreto 15 cm	42
Muro de bloques de concreto 30cm	53

Fuente: Alfaro, P. Y. (2004) *Métodos para construcción de viviendas*.

Según los valores anteriores se puede dar un análisis de los beneficios obtenidos por la aplicación en construcción de dichas planchas, estas se conforman por 2 planchas de 8 a 11 mm, debido a que este es el espesor mínimo utilizado tanto en exteriores como en interiores (Alfaro, 2004, p. 100).

Tabla VII. **Valores comparativos entre Sound Transmission Class (STC) y outdoor/indoor**

Tipo de Pared	STC	OITC
Pared 8-8mm sin aislamiento	39	24
Pared 8-8mm con aislamiento	46	30
Pared 8-11mm sin aislamiento	46	30
Pared 8-11mm con aislamiento	50	52

Fuente: Alfaro, P. Y. (2004) *Métodos para construcción de viviendas*.

7.2.5. Estándares y normas aplicables al fibrocemento

Las normas y estándares que debe cumplir un material aplicable a la construcción certifican la calidad de este, para esto es necesario someter el material o producto final a ensayos, otorgando parámetros y rangos de resistencia y durabilidad. Las normas que satisfacen las planchas de fibrocemento para utilizarse en la construcción son:

Tabla VIII. **Normas y especificaciones que cumple el fibrocemento**

PROPIEDADES	NORMA
Tolerancia de espesor y ancho	ISO 8336
Coefficiente de expansión térmica lineal	ASTM E-228
Coefficiente de reducción de ruido	ASTM C-423
Conductividad térmica	ASTM C-518
Congelamiento y descongelamiento	ASTM C-1185 y C-1186
Contenido de humedad	ASTM D-1037
Densidad	ASTM D-1037
Envejecimiento acelerado	ASTM E-773 y G-53
Expansión de llama	ASTM E-84
Desarrollo de humo	ASTM E-84

Continuación tabla VIII.

Contribución a la combustión y al calor en un ambiente de fuego	ASTM E-136
Módulo de ruptura	ASTM C-120
Módulo elástico	ASTM C-120
Prueba de agua tibia	ASTM C-1185 y C-1186
Prueba de calor - lluvia	ASTM C-1185 y C-1186
Resistencia a la compresión, 20% de deflexión	ASTM C-170
Resistencia a la tracción	ASTM D-209
Resistencia al agua	ASTM C-1185 y C-1186
Resistencia al cortante	ASTM D-732
Resistencia al impacto	ASTM D-256
Transmisión de vapor de agua	ASTM E-96
Variación lineal con cambios de humedad de 30% al 90% H.R.	ASTM C-1185
Aislamiento acústico	ASTM C-423-90a y ASTM E-90-90

Fuente: Alfaro, P. Y. (2004) *Métodos para construcción de viviendas*.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	I
ÍNDICE DE TABLAS	II
LISTA DE SÍMBOLOS	III
GLOSARIO	IV
RESUMEN	V
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	VI
OBJETIVOS	VII
RESUMEN DEL MARCO METODOLOGICO	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Poliestireno expandido	
1.1.1 Origen del poliestireno expandido y procesos de producción	
1.1.2 Propiedades físicas	
1.1.2.1 Aislación térmica	
1.1.2.2 Resistencia mecánica	
1.1.2.3 Propiedades de absorción	
1.1.2.4 Propiedades ante las temperaturas	
1.1.2.5 Propiedades dimensionales	
1.1.3 Propiedades químicas	
1.1.4 Propiedades biológicas	
1.1.5 Ventajas y desventajas del uso del EPS	
1.1.6 Impacto ambiental causado por productos hechos con EPS	
1.1.6.1 Antecedentes del uso del poliestireno expandido	

- 1.1.7 Contaminación en la producción, uso y desecho del EPS
 - 1.1.7.1 Residuos
- 1.1.8 Reciclaje y reutilización del EPS
 - 1.1.8.1 Propuestas de soluciones
- 1.1.9 Uso y aplicación actual del EPS en la construcción
 - 1.1.9.1 Aislamiento exterior e interior con planchas de EPS
 - 1.1.9.2 Muros
 - 1.1.9.3 Moldes
 - 1.1.9.4 Bovedillas

1.2 Paneles de fibrocemento

- 1.2.1 Uso y aplicaciones de paneles de fibrocemento en la construcción
- 1.2.2 Características de los materiales que lo constituyen
 - 1.2.2.1 Concreto
 - 1.2.2.2 Arena
 - 1.2.2.3 Fibras
- 1.2.3 Propiedades físicas y mecánicas
- 1.2.4 Propiedades termoacústicas
- 1.2.5 Estándares y normas aplicables al fibrocemento

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Primera etapa: elaboración de probetas

2.1.1 Mezclas

2.1.1.1 Materiales

2.1.1.1.1 Cemento

2.1.1.1.2 Cal

2.1.1.1.3 Agregado fino (arena)

2.1.1.1.4 Aditivos

- 2.1.1.1.5 EPS triturado
 - 2.1.1.2 Equipo
 - 2.1.1.3 Proceso
 - 2.1.2 Ensayos de mezclas
 - 2.1.2.1 Propiedades y características
 - 2.1.2.1.1 Resistencia
 - 2.1.2.1.2 Resistencia a la flexión
 - 2.1.2.1.3 Resistencia a la compresión
 - 2.1.2.2 Retracción
 - 2.1.2.3 Adherencia
 - 2.1.2.4 Durabilidad
 - 2.1.2.5 Penetración de humedad
- 2.2 Segunda etapa: elaboración de paneles
 - 2.2.1 Elección de mezclas
 - 2.2.2 Fundición de paneles en moldes
 - 2.2.3 Curado de paneles
 - 2.2.4 Ensayos de paneles
 - 2.2.4.1 Ensayo a flexión
 - 2.2.4.2 Ensayo a la compresión
 - 2.2.4.3 Ensayo de conductividad térmica
 - 2.2.4.4 Ensayo de reacción al fuego
 - 2.2.4.5 Ensayo de impacto de placas
 - 2.2.4.6 Ensayo de prueba de sonido
 - 2.2.4.7 Ensayo de absorción de agua

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 3.1 Obtención de datos de laboratorio
 - 3.1.1 Análisis de materiales
 - 3.1.2 Análisis e interpretación de ensayos y muestras

3.1.3 Comparación de resultados

3.1.3.1 Dosificación tradicional

3.1.3.2 Dosificación con refuerzo de EPS reciclado

3.1.4 Comparación y análisis de costos

3.1.4.1 Costos de dosificación tradicional

3.1.4.2 Costos por dosificación con refuerzo de EPS reciclado

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

Esta es una investigación cuantitativa exploratoria, pues considera evaluar una alternativa al reusar los desechos del poliestireno expandido triturados, para incorporarlos en una mezcla de concreto Portland para utilizarla como aislamiento en métodos constructivos.

9.2. Fases del estudio

Este proyecto se realiza con diferentes fases de estudio que ayudaran a elaborar una completa investigación.

9.2.1. Fase 1: Exploración bibliográfica

En dicha fase se revisará toda la bibliografía respectiva para explicar el tema de estudio y todos sus componentes. Con esta información se establecerá la base para el diseño de muestras de planchas de concreto armado, mezcladas con productos reutilizados hechos a base de poliestireno expandido que beneficie al medio ambiente.

9.2.2. Fase 2: Caracterización de los instrumentos

Para la recolección de datos del caso de estudio se realizarán diversas etapas, dentro de las cuales es posible mencionar:

9.2.2.1. Disponibilidad de materiales en el mercado y vertederos

Se debe tomar en cuenta que para esta investigación se cuenta con una cantidad de materia prima en grandes cantidades:

- Cemento Portland (densidad de 2400 kg/m³)
- Agregados finos (arena fina)
- Poliestireno expandido triturado y limpio de contaminantes
- Agua
- Aceite para el desencofrado de cilindros de prueba
- Cal

9.2.2.2. Disponibilidad de tecnología y maquinaria

En el estudio se debe tomar en cuenta la tecnología y la maquinaria necesaria para obtener los datos con los resultados esperados. Dentro de las que podemos mencionar

Tabla IX. **Maquinaria necesaria para los ensayos de laboratorio**

MAQUINARIA	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	IMÁGENES
Máquina universal para la compresión	Capacidad 100kN Carrera pistón 125mm Accionamiento: electrohidráulico Velocidad ensayo: 120mm/min	

Continuación tabla IX.

<p>Pileta de inmersión de probetas</p>	<p>Dimensiones de 5x5x1m</p>	
<p>Mezcladora de concreto</p>	<p>Motor 8-9 HP a 1800RPM Diésel Capacidad: 6pie³ Ángulo de cargue: 45° Dimensiones: 1.3x1.7x1.9</p>	
<p>Cono de Abraham</p>	<p>Pisón de arena Probeta graduada Fiola 500ml</p>	

Fuente: elaboración propia.

9.2.2.3. Disponibilidad de equipo

Es necesaria la utilización de equipo que facilite la elaboración del proyecto, por ejemplo:

Tabla X. **Equipo necesario para los ensayos de laboratorio**

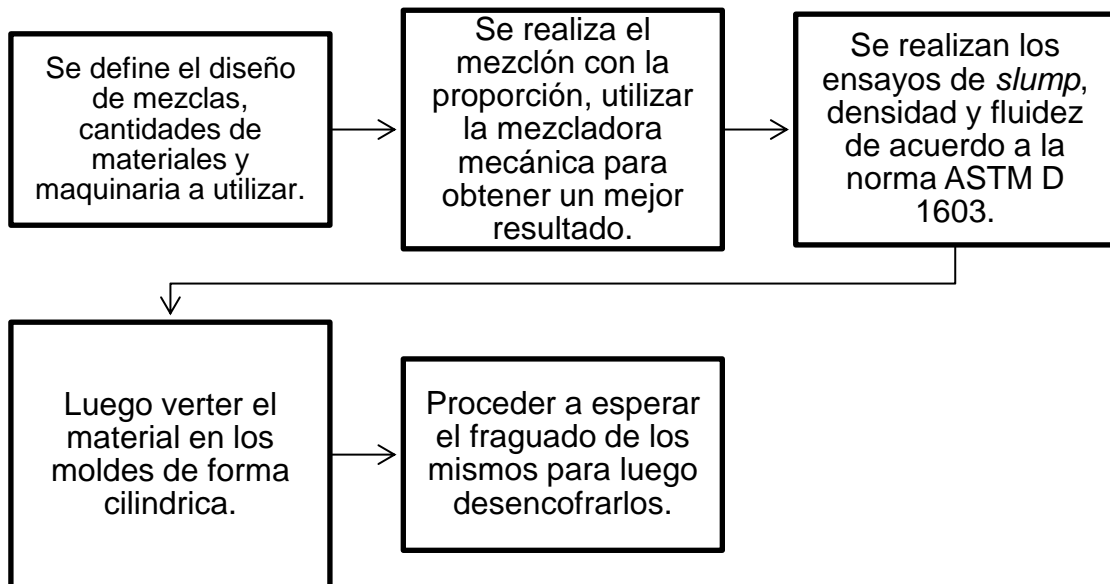
 <p>Balanza eléctrica</p>	 <p>Tamices</p>	 <p>Tara</p>
 <p>Charola</p>	 <p>Espátula</p>	 <p>Brocha</p>
 <p>Cinzel y martillo</p>	 <p>Nivel</p>	 <p>Metro</p>

Fuente: elaboración propia.

9.3. Fase 3: diseño y construcción de las planchas

A continuación, se presenta esquema de diseño y construcción:

Figura 7. Esquema de realización de planchas de concreto



Fuente: Zuluaga Molina, (2013). *Esquema de realización de planchas de concreto.*

9.4. Fase 4: pruebas y ensayos

A continuación, se presenta la propuesta de pruebas y ensayos realizados a las diferentes mezclas:

9.4.1. Consistencia de la mezcla

El ACI y las normas ASTM no prevén ensayos de fluidez para concreto ligero con base en Poliestireno expandido. El presente estudio considera adecuados realizarlos, por cuanto se trata de un material que va a ser utilizado

para elaborar bloques de concreto ligero, debiendo cumplir con determinados requerimientos. El concreto ligero a base de poliestireno expandido posee características similares a los materiales de baja densidad y resistencia controlada, productos bastante estudiados que cuentan con abundante información y normativas, de forma que pruebas de laboratorio que normalmente se aplican a estos materiales, de baja densidad y resistencia controladas, se pueden aplicar, con ciertas restricciones, a los concretos ligeros.

Por facilidad y costumbre se utiliza con mucha frecuencia el método alternativo de ensayo conforme la norma ASTM C 143-2015. Asentamiento de concreto de cemento Portland, el método del cono de asentamiento o cono de Abrams, molde metálico troncocónico de 300 mm de alto, 100 mm de diámetro superior y 200 mm de diámetro inferior, que evalúa la consistencia cuando se esperan revenimientos menores a 200 mm que se enmarcan en los siguientes parámetros:

- Baja fluidez: 150 mm o menos
- Fluidez media: 125 -200 mm
- Alta fluidez: superior a 200 mm

9.4.2. Contenido de aire

Existen varios métodos para determinar el aire incorporado en el concreto convencional fresco: ASTM C 173-2014 (Método Volumétrico), ASTM C 138-2015 (Método Gravimétrico), ASTM C 231-2014 (Método de Presión), entre otros. Para el presente estudio se tomará el método de ensayo ASTM D 6023-2007. Método de Ensayo para Peso Unitario, Contenido de Aire y Rendimiento en Material de Baja Resistencia Controlada, basado en el ensayo ASTM C 138-2015 de peso unitario, rendimiento y contenido de aire del concreto fresco, que cubre

el proceso para determinar el contenido de aire de una muestra elaborada con cualquier tipo de agregado, sea denso, celular o liviano. Se mide el contenido de aire de la fracción del mortero, independiente del aire que pudiera estar presente en las partículas del agregado.

9.4.3. Resistencia a la compresión

Para determinar la resistencia a compresión del concreto ligero el ACI indica que se debe seguir los requisitos de la norma ASTM C 495-2012. Método Normalizado para Determinar la Resistencia a la Compresión en Concretos Livianos. Esta norma establece que las muestras representativas para el ensayo a compresión se toman en moldes cilíndricos de 75 mm de diámetro por 150 mm de longitud.

9.4.4. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad de un material es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. La elasticidad es la propiedad mecánica que hace que los materiales sufran deformaciones variables por la acción de las fuerzas exteriores que actúan sobre los cilindros y cubos de prueba, varía por la forma y dimensión de un cuerpo. Estos fallan cuando el material supera las fuerzas internas de cohesión.

Es importante el módulo de elasticidad, ya que influye en las deflexiones, derivas y rigidez, se puede conocer el acortamiento por carga axial de un elemento estructural a más de que se puede tener una noción para diseñar con mayor seguridad y evitar grandes deformaciones. Este ensayo se realiza según la norma ASTM C 469-2014 para el concreto convencional.

9.4.5. Peso específico y absorción

El peso específico es uno de los parámetros importantes en el concreto, ya que influye en los cálculos principales de diseño estructural, control de calidad del hormigón en obra, entre otros. Las densidades aparentes propuestas inicialmente en este estudio fueron de 1200, 1400 y 1600 [kg/cm³], estos valores son referenciales, para saber a qué pesos específicos finalmente se llegó en este estudio. (González Madariaga, 2005, p. 225).

9.5. Fase 5: análisis de datos

El análisis de datos es el siguiente paso luego de haber realizado todas las pruebas y ensayos a las probetas que se realizaron con el mezclón, en esta etapa se estudiaron las propiedades del poliestireno expandido triturado y su mezcla con el concreto. Por medio de tablas, fotos y gráficos se deben presentar los análisis de los ensayos.

Tabla XI. **Análisis de la consistencia de la mezcla**

Densidad aparente	No. de tabla	Relación (a/c)	Diámetro de dispersión (cm)

Fuente: Ramírez Guzmán, (2012). *Análisis del peso unitario y contenido de aire de mezcla*

Tabla XII. **Análisis del peso unitario y contenido de aire de mezcla**

Densidad aparente	No. de tabla	Peso unitario (Kg/m ³)	Densidad teórica (Kg/m ³)	% de aire incorporado

Fuente: Ramírez Guzmán, (2012). *Análisis del peso unitario y contenido de aire de mezcla*

Tabla XIII. **Peso unitario en estado endurecido**

Densidad aparente	Peso unitario (Kg/m ³)	Promedio P.U (Kg/m ³)

Fuente: Ramírez Guzmán, (2012). *Peso unitario en estado endurecido*

Tabla XIV. **Resistencia a la compresión de las muestras**

Edad	Resistencia promedio de muestra tradicional (Kg/cm ²)	Resistencia promedio de muestra reforzada con poliestireno expandido (Kg/cm ²)
Un día		
Tres días		
Siete días		
Veintiocho días		

Fuente: González Pérez, (2017). *Resistencia a la Compresión de las muestras*

Tabla XV. **Cargas aplicadas a las muestras**

Edad	Carga promedio de muestra tradicional (Kg)	Carga promedio de muestra reforzada con poliestireno expandido (Kg)
Un día		
Tres días		
Siete días		
Veintiocho días		

Fuente: González Pérez, (2017). *Carga aplicadas a las muestras*

Tabla XVI. **Absorción en porcentaje (%) de masa**

No.	Masa saturada de superficie seca (kg)	Masa seca al horno (kg)	%de absorción	Promedio %
1				
2				

Fuente: González Pérez, (2017). *Absorción en porcentaje de masa*

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se utilizan para realizar el análisis de la información obtenida de los diferentes ensayos, para compararlos con las diferentes normativas de ensayos de materiales.

Las herramientas que se utilizarán serán:

- Tabla de datos de caracterización del EPS reciclado
- Tabla de datos de cuantificación del EPS reciclado
- Tabla de diseño de mezclas y resistencia a la compresión
- Tabla de peso de materiales
- Tabla de módulo de elasticidad
- Diafragma de curva de esfuerzo versus deformación unitaria
- Tabla de resistencia a la flexión
- Tabla de flexión de paneles
- Tabla de reacción al fuego
- Tabla a la resistencia al impacto de placas
- Tabla de absorción de agua por inmersión total de paneles

Herramientas de estadística:

- Promedio y desviación estándar: para todos los datos recolectados por los ensayos de las muestras, respectivos al progreso de días en inmersión de agua para su fraguado.
- Diagrama de dispersión: para la determinación de impactos en la temperatura contra el tiempo.

- Gráficas de control para comparación de ensayos.
- Plan de muestreo para el análisis de datos.

11. CRONOGRAMA

Tabla XVII. Cronograma de trabajo

ACTIVIDADES	OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
FASE 1: Exploración Bibliografica	■	■	■																					
FASE 2: Recolección de Datos y casos				■	■	■	■	■	■	■	■	■												
FASE 3: Experimentación científica													■	■	■	■	■	■	■	■				
FASE 4: Analisis de Datos de Laboratorio																					■	■	■	
FASE 5: Propuesta de Metodos y Usos																								■

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Gastos que incurren en la realización del mezclón, alquiler de maquinaria, transporte y aporte de asesoría se presentan en la siguiente tabla:

Tabla XVIII. Presupuesto del proyecto

RECURSOS	CANTIDAD	UNIDAD	P.U	TOTAL
Materiales de construcción:				
Cemento	7	Sacos	Q71.00	Q497.00
Arena	0.5	m ³	Q82.00	Q41.00
Poliestireno Expandido Reciclado	40	Bolsas	Q5.00	Q200.00
Alquiler de Maquinaria				
Trituradora de Duroport	2	Día	Q200.00	Q400.00
Mezcladora de concreto	2	Día	Q150.00	Q300.00
Transporte	2	Día	Q300.00	Q600.00
Asesor	1	Persona	Q2,500.00	Q2,500.00
Total				Q4,538.00

Fuente: elaboración propia.

El proyecto de investigación para la tesis *Aplicación del material poliestireno expandido (EPS) reciclado en aislamiento de hormigón armado reforzado y sus beneficios* es viable y no incurre en grandes gastos para su realización.

13. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Asociación Nacional de Poliestireno Expandido. (10 de 10 de 2018). *Propiedades del EPS*. Obtenido de Ficha 73: Recuperado de <http://www.anape.es/pdf/ficha73.pdf>
- 2) Alfaro, P. Y. (2004). *Metodos para construcción de viviendas, utilizando materiales tecnologicos actuales: Electropanel, Tabla Yeso, Fibrocemento y Fibroyeso*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- 3) ANAPE. (2001). *Analisis de ciclo de vida de un Embajale de Televisor*. Recuperado de <http://www.anape.es/pdf/acv.pdf>
- 4) Asociación Nacional del Poliestireno Expandido. (10 de 10 de 2018). *Características y propiedades del EPS*. Recuperado de <http://www.anape.es/index.php?accion=producto>
- 5) Bustamante Medina, D. M., & Diaz Salcedo, C. A. (2014). *Evaluación de las Propiedades Mecánicas del Concreto Alivianado con Perlas de Poliestireno Expandido Reciclado*. Universidad Nacional de San Agustin. Arequipa, Peru: Facultad de Ingenieria de Procesos.
- 6) Cansario Pérez, M. d. (2005). *Sistema constructivo de paneles aligerados con poliestireno expandido y malla electrosoldada espacial: estudio estructural y optimización*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelon, España.

- 7) Dissanayake, D., & Jayasinghe, C. (2014). *Una comparación energética del análisis de una vivienda con poliestireno expandida aplicado en paneles para pared de concreto*. Shangai, China: Elsevier Ltd.
- 8) Ferreira , B., Hortal, M., Cordero, P., & Candela, A. (2008). *Situación de la gestión de residuos de evases de Poliestireno Expandido (EPS) en la comunidad de Valencia*. REDISA, 11.
- 9) Gonzáles Madariaga, F. J. (2005). *Caracterización de mezcla de residuos de Poliestireno Expandido (EPS) conglomerados con Yeso o Escayola, su uso en la Construcción*. (Tesis Doctoral), Universidad Politecnica de Catalunya, Barcelona, España.
- 10) González Pérez, S. E. (2017). *Comparación de las propiedades mecánicas y características físicas de bloques de concreto y bloques de concreto con adición de poliestireno expandido*. (Tesis de Pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.
- 11) Méndez Rossal, H., Córdova Recinos, O., & Corado Bautista, J. (2015). *Evaluación de Alternativas de Reciclaje de Poliestireno Expandido (DUROPORT)*. (Tesis de pregrado), Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Guatemala.
- 12) Ramírez Guzmán, M. L. (2012). *Comparación entre mezclón tradicional y mezclón reforzado con poliestireno expandido*. (Tesis de pregrado), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.
- 13) Rodríguez Prada, E. (s.f.). *Construcción con paneles prefabricados en concreto*. CONSTRUDATA. Recuperado de <http://www.construdata.com>

- 14) Scheirs, J., & Priddy, D. (2003). Historical Overview of Styrenic Polymers. *Modern Styrenic Polymers*, 3-4.
- 15) Solís, C. *Distribuido de Alimentos Varios S.A.* Recuperado de <http://www.davsa.com>.
- 16) *Textos Cientificos*. Recuperado de <https://www.textoscientificos.com>.
- 17) Zuluaga Molina, J. Z. (2013). *Evaluacion del comportamiento del concreto elaborado con desechos de icopor.* (Tesis de postgrado), Escuela Colombiana de Ingenieria, Facultad de Ingenieria, Bogota, Colombia.

