



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS I

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

*“DISEÑO DE PANELES DE CONCRETO LIGERO A BASE DE EPS RECICLADO Y
SU PROCESO CONSTRUCTIVO”*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN
CONSTRUCCIÓN**

PRESENTA

ING. CESAR AUGUSTO LAGUNA TORRES C120158

DIRECTOR DE TESIS

DR. FRANCISCO ALBERTO ALONSO FARRERA

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, OCTUBRE 2020





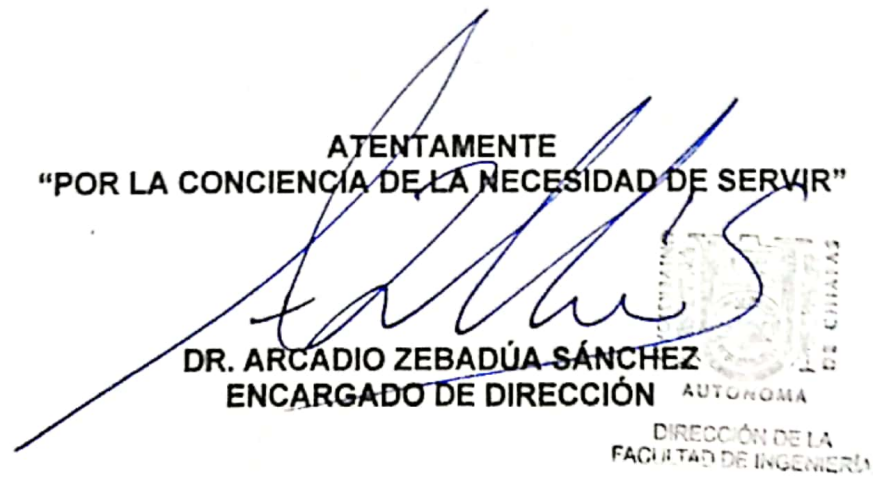
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
21 de octubre de 2020.
Oficio No. F.I.01.0556/2020.

ING. CESAR AUGUSTO LAGUNA TORRES
ALUMNO DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON
FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN
P R E S E N T E:

Por este medio comunico a usted, que se autoriza la impresión de su trabajo de tesis denominado: *"Diseño de paneles de concreto ligero a base de EPS reciclado y su proceso constructivo"* para que pueda continuar con los trámites de titulación para la obtención del grado.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"



DR. ARCADIO ZEBADÚA SÁNCHEZ
ENCARGADO DE DIRECCIÓN

AUTÓNOMA
DIRECCIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

C.c.p. Dra. Daisy Escobar Castillejos. Coordinadora de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería.
C.c.p. Archivo/minutario
AZS/DEC/amj



Código: FO-113-09-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Cesar Augusto Laguna Torres,
Autor (a) de la tesis bajo el título de “Diseño de Paneles de Concreto Ligero a Base de EPS Reciclado y su Proceso Constructivo”,
presentada y aprobada en el año 2020 como requisito para obtener el título o grado de Maestro en Ingeniería con formación en Construcción, autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 04 días del mes de Enero del año 2021.

Cesar Augusto Laguna Torres

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	4
INDICE DE TABLAS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. ANTECEDENTES	11
2.1 Estado del arte	11
2.1.1 Concreto ligero	11
2.1.2 Desarrollo histórico	12
2.1.3 Importancia del concreto ligero.....	16
2.1.4 Agregados	18
2.1.5 Clasificación de los concretos ligeros	22
2.1.6 Ventajas y desventajas del concreto ligero.....	27
2.1.7 Poliestireno Expandido	29
2.1.8 Impacto Ambiental	30
2.1.9 Paneles Prefabricados.....	31
2.1.10 Viviendas modulares	34
2.2 Objetivos	37
2.2.1 Objetivos secundarios	37
2.3 Hipótesis	37
2.4 Preguntas de investigación	37
2.5 Metodología	38
III. Desarrollo del tema	41
3.1 Recolección, selección y trituración del Poliestireno Expandido	41

3.2	Caracterización de los materiales	42
3.2.1	Agregado fino	42
3.2.2	Agua	44
3.2.3	Cemento	44
3.2.4	Perlas de poliestireno expandido.....	44
3.3	Diseño de prototipos de paneles	44
3.3.1	Prototipo A de panel prefabricado	45
3.3.2	Prototipo B de panel prefabricado	45
3.3.3	Prototipo C de panel prefabricado	46
3.3.4	Prototipo D de panel prefabricado	46
3.4	Mezcla de concreto	47
3.4.1	Dosificación de la mezcla	47
3.4.2	Elaboración de la mezcla.....	48
3.5	Pruebas a compresión	49
3.6	Resistencia a la flexión.....	50
3.7	Prueba de carga y descarga en paneles.....	51
IV.	Resultados obtenidos.....	55
4.1	Análisis granulométrico	55
4.2	Módulo de finura	56
4.3	Peso volumétrico.....	56
4.4	Gravedad específica	57
4.5	Absorción de la arena	57
4.6	Resistencia a compresión	58
4.7	Resistencia a la flexión.....	60
4.8	Carga y descarga	60

V. Proceso Constructivo de paneles de concreto ligero a base de EPS reciclado para construcciones modulares.....	62
5.1 Preliminares	64
5.2 Cimentaciones	65
5.3 Albañilería	65
5.4 Instalaciones	66
5.5 Herrería, balconería y aluminio	66
5.6 Acabados	66
5.7 Ajustes Electromecánicos	66
5.8 Obra exterior y jardinería.....	67
VI. Conclusiones y líneas futuras de investigación.....	71
Referencias	73

INDICE DE FIGURAS

Figura II.1 Clasificación de Concretos de agregados ligeros	23
Figura II.2 Distintos tipos de concretos ligero	26
Figura III.1 Proceso de transformación del EPS en material para la construcción	41
Figura III.2 Curva granulométrica de la arena	43
Figura III.3 Prototipo A de los paneles prefabricados propuestos	45
Figura III.4 Prototipo B de los paneles prefabricados	45
Figura III.5 Prototipo C de los paneles prefabricados	46
Figura III.6 Prototipo D de los paneles prefabricados	46
Figura III.7 Materiales en la revolvedora para ser mezclados	49
Figura III.8 Llenado de probetas cilíndricas	49
Figura III.9 Ensayo a compresión de cilindros	50
Figura III.10 Ensayo de resistencia a la flexión en viga	51
Figura III.11 Colocación del panel sobre los apoyos	52
Figura III.12 Primer ciclo de prueba de carga y descarga	53
Figura III.13 Segundo ciclo de prueba de carga y descarga	53
Figura III.14 Carga máxima de soportada de la prueba de carga y descarga	54
Figura IV.1 Corte transversal de muestra de mortero convencional	58
Figura IV.2 Corte transversal de muestra EPS de desecho	58
Figura IV.3 Corte transversal de muestra de EPS comercial	59
Figura IV.4 Gráfica de resistencia promedio de compresión en cilindros	59
Figura IV.5 Gráfica de No. de ciclos y carga soportada	61
Figura V.1 Propuesta de proceso constructivo de paneles en horizontal vista 1...	62
Figura V.2 Propuesta de proceso constructivo de paneles en horizontal vista 2...	63
Figura V.3 Propuesta de proceso constructivo de paneles en horizontal vista 3...	63
Figura V.4 Propuesta de proceso constructivo de paneles en horizontal vista 4...	64
Figura V.5 Propuesta de proceso constructivo 2 ensamble de paneles en vertical vista 1	67
Figura V.6 Propuesta de proceso constructivo 2 ensamble de paneles en vertical vista 2	68

Figura V.7 Propuesta de proceso constructivo de paneles en vertical vista 1..... 68
Figura V.8 Propuesta de proceso constructivo de paneles en vertical vista 2..... 69
Figura V.9 Propuesta de proceso constructivo de paneles en vertical vista 3..... 69
Figura V.10 Propuesta de proceso constructivo de paneles en vertical vista 4..... 70

INDICE DE TABLAS

Tabla II.1 Distintos tipos de concretos ligeros.	26
Tabla III.1 Propiedades físicas de la arena del Rio Santo Domingo, Chiapas.	43
Tabla III.2 Dosificación de materiales de los diseños de mezcla para 1m ³	47
Tabla III.3 Proporcionamiento para la mezcla de concreto ligero a base de EPS de desecho.....	48
Tabla IV.1 Resultados de la prueba granulométrica de la arena.....	55
Tabla IV.2 Resultados de la prueba granulométrica del EPS.....	55
Tabla IV.3 Resultados del Módulo de finura de la arena.....	56
Tabla IV.4 Resultados del Módulo de finura del EPS.....	56
Tabla IV.5 Propiedades del recipiente de prueba para el peso volumétrico.....	56
Tabla IV.6 Resultados del Peso Volumétrico seco suelto y compactado de la arena	57
Tabla IV.7 Resultados del Peso Volumétrico seco suelto y compactado del EPS	57
Tabla IV.8 Resultados de gravedad específica de la arena	57
Tabla IV.9 Resultados de la absorción de la arena	57
Tabla IV.10 Resultados promedio de compresión en cilindros.....	59
Tabla IV.11 Resultados de resistencia a la flexión en vigas.....	60
Tabla IV.12 Resultados de ensayo de paneles a carga y descarga.....	61

RESUMEN

En la actualidad la mejora de los procesos, productos y servicios son aspectos relevantes en la innovación tecnológica, en este sentido, la propuesta del proyecto es implementar sistemas innovadores de muros y losas de entrepiso más ligeros por lo que se realizaron diferentes mezclas sustituyendo el agregado grueso por Poliestireno Expandido (*EPS por sus siglas en inglés*) de desecho, evaluando el efecto de la granulometría y la proporción de EPS en una mezcla típica de concreto para convertirse en un material con potencial para su aplicación como aislante acústico y de bajo peso comparado con los sistemas convencionales.

Los valores obtenidos de resistencia a compresión en los diseños de mezcla fueron superiores a 100 kg/cm².

Esta investigación es de alto impacto por el hecho de contribuir con el medioambiente y con potencial de ser comercializado, permitiendo la transformación del EPS de desecho en un material para la construcción.

ABSTRACT

Currently, the improvement of processes, products and services are relevant aspects in technological innovation, in this sense, the objective of this project is to implement new construction systems using lightweight concrete walls and slab systems, so different mixtures were made, partially replacing the coarse aggregate by Recycled Expanded Polystyrene (EPS). The effect of granulometry and the proportion of EPS was evaluated in a typical concrete mix to become a material with potential for application as both acoustic and low insulation weight compared to conventional systems.

The values of compressive strength obtained in the mix designs were greater than 100 kg/cm².

This research is of high impact due to the fact that it contributes to the environment and has the potential to be commercialized, allowing the transformation of waste EPS into a construction material.

I. INTRODUCCIÓN

Debido a los serios problemas de espacios de la vivienda y aunado con la inestable situación económica que presentamos hoy en día, se hace necesaria la búsqueda de nuevas formas de proporcionar espacios de viviendas en las que el proceso constructivo sea cada vez más rápido, que sean económicas y congraciantes con el medio ambiente; por lo cual es de suma importancia la investigación de nuevas maneras de construcción de viviendas modulares en las que se procuré reducir el tiempo y los costos de construcción.

Una alternativa de vivienda modular o prefabricada en la que se emplea materiales reutilizables, es una manera de evitar la sobreexplotación, el transporte y la elaboración de nuevas materias primas, lo que conlleva una disminución importante de residuos.

Actualmente, los problemas ambientales ocupan la agenda internacional, entre los que destacan la contaminación del agua y degradación del suelo; y siendo el EPS uno de los materiales que se producen en grandes cantidades, para empaques de electrodomésticos, equipos de cómputo, etc., propiciando el deterioro de las características de estos recursos, se convierte en un material con un potencial altamente aprovechable, especialmente para la industria de la construcción, misma industria donde ya abarca un gran espacio como un material aligerantes para losas de concreto, aislante térmico y acústico por mencionar solo algunos, sin embargo, no hay gran campo de acción para éste como un agregado verdaderamente funcional para concretos estructurales, que soporten grandes cargas, debido en gran medida a sus pobres propiedades mecánicas y existen aún menos estudios que nos hablen de cómo utilizar los desechos producidos por EPS (López Avila, 2013).

El uncel o poliestireno expandido (EPS) es un plástico rígido celular que se encuentra en una multitud de formas y aplicaciones, fue creado en el año de 1954 y es conocido en México comercialmente como uncel. Actualmente el uncel se recicla a nivel mundial en donde participa América Latina, y existen centros de acopio y reciclaje de uncel post consumo. Datos de la Secretaría de Medio

Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) arrojan que del volumen total de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) reciclados, el porcentaje más alto corresponde a papel, cartón y productos de papel en un 42.2%, seguido por vidrio con 28.6%, metales con 27.8% y plásticos solamente con el 1.2%.

El presente trabajo de investigación consta de cinco capítulos los cuales se estructuraron como se describe a continuación:

Capítulo I “INTRODUCCIÓN”, este capítulo es únicamente de carácter informativo y está relacionado con la inestable situación económica que se vive hoy en día, la carencia de espacios de viviendas y su poca accesibilidad, la búsqueda de nuevas alternativas para procesos constructivos económicos y eficientes, el uso del EPS poliestireno expandido y el impacto que este tiene en el medio ambiente, así como también una reseña del contenido general del trabajo.

Capítulo II “ANTECEDENTES”, en este capítulo se presenta la información de una búsqueda exhaustiva de artículos, libros, tesis, revistas etc., que corresponden al concreto ligero, agregados, procesos constructivos y definiciones de algunos términos básicos para la realización de este trabajo. Así mismo se muestran los objetivos e hipótesis de este proyecto de investigación.

Capítulo III “DESARROLLO DEL TEMA”, en este capítulo se muestra el proceso y desarrollo seguido de la investigación, la caracterización de los materiales, la dosificación de las mezclas con sustitución del agregado grueso por EPS poliestireno expandido, las normas seguidas para la elaboración de los especímenes y mezclas de concreto ligero, así como también los ensayos realizados a los cilindros, vigas y paneles, y el proceso constructivo de una vivienda modular con paneles de concreto ligero a base de EPS de desecho.

Capítulo IV “RESULTADOS OBTENIDOS”, en este capítulo se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los cilindros, vigas y paneles elaborados, presentándolo por medio de tablas y gráficas, así como una explicación de lo resultados finales.

Capítulo V “PROCESO CONSTRUCTIVO”, para este capítulo se presentan dos propuestas del proceso constructivo de paneles de concreto ligero a base de EPS reciclado para construcciones modulares, para el cual en la primera propuesta se considera una colocación de forma horizontal de los paneles ensamblados con perfiles metálicos, y como una segunda propuesta se considera su colocación de manera vertical ensamblados de igual manera a los perfiles metálicos.

Capítulo VI “CONCLUSIONES”, en este capítulo se desarrollan las conclusiones del proyecto para cada objetivo propuesto, y se menciona en que no existe una normativa específica para la fabricación de concretos ligeros a base de EPS, y que los concretos producidos con agregados de EPS cumplen con los requisitos técnicos que permite clasificarlo como concreto ligero, asimismo se menciona que el poliestireno expandido en la construcción representa una opción de proceso constructivo destinado a un nuevo material, un proceso constructivo más eficiente y amigable con el medio ambiente.

II. ANTECEDENTES

2.1 Estado del arte

El concreto ligero, al igual que los concretos ordinarios, es un material artificial compuesto de agregados pétreos, mortero y agua. Con diferencia de los concretos usuales, este material es de peso reducido y por lo general de baja resistencia; sin embargo, se le ha dado diversas aplicaciones en diferentes tipos de estructuras, como casas, apartamentos, escuelas, edificios de oficina, etc. Lugares donde no se requiere de un concreto de alta resistencia. Su uso se ha difundido extensamente en la industria de la construcción de numerosos países, en virtud de los beneficios que son factibles de obtener por sus aplicaciones. Para contar con una mejor idea de cuál es el comportamiento del concreto con diferentes tipos de agregados, se han realizado diferentes revisiones bibliográficas de trabajos de investigación previos que sirven como soporte referencial para la realización de este proyecto.

2.1.1 Concreto ligero

Se denomina concreto ligero a todo aquel que tiene un peso volumétrico fresco menor de 1,900 kg/m³. Por lo general estos concretos ofrecen un mejor aislamiento térmico que los concretos de peso normal o pesado. Las principales ventajas con el empleo de concretos ligeros inician desde la cimbra que está sometida a presiones menores que se registran con el concreto de peso normal, así como en la disminución de las dimensiones y por lo tanto el costo de las cimentaciones y de la estructura en general (CONCREMEX, 2019).

El concreto ligero tiene características propias; por un medio espumoso adicionado a la mezcla se ha hecho más ligero que el concreto convencional de cemento, arena y grava, que por tanto tiempo ha sido el material empleado en las construcciones. Esto, sin embargo, es más bien una descripción cualitativa en vez de una definición. Asimismo, se ha sugerido definirlo como un concreto hecho con base en agregados de peso ligero, lo cual se presta a dudas ya que en todos lados se conoce por agregado de peso ligero aquel que produce un peso ligero. En todo caso, existen algunos concretos ligeros que ni siquiera contienen agregados.

Los concretos ligeros son concretos de densidades menores a las de los concretos normales hechos con agregados comunes. La disminución de la densidad de estos concretos se produce por una presencia de vacíos en el agregado, en el mortero o entre las partículas de agregado grueso. Esta presencia de vacíos ocasiona la disminución de la resistencia del concreto, por lo que muchas veces la resistencia no es la condición predominante para los concretos, y en otros casos se compensa. En construcciones de concreto, el peso propio de la estructura representa una proporción importante en la carga total de la estructura por lo que reducir la densidad del mismo resulta beneficioso. Así se reduce la carga muerta, con la consiguiente reducción del tamaño de los distintos elementos estructurales, llegando a los cimientos y al suelo con menores cargas. Básicamente el uso de concretos ligeros depende de las consideraciones económicas.

Para analizar el concreto ligero o celular se estudian previamente sus propiedades y características, en relación a las de aquellos concretos tradicionales. La característica más evidente es su densidad, la cual es considerablemente menor que la del concreto normal y con frecuencia solo implica una fracción de la misma. (Huerta, 2004).

Villasmil & Rodríguez (2012) En su trabajo denominado “Comportamiento mecánico de concretos elaborados con sustitución del agregado grueso por poliestireno expandido” determinaron el comportamiento mecánico de concretos en cuya mezcla se sustituye el agregado grueso por poliestireno expandido, bajo relaciones agua/cemento (A/C) de 0.50, 0.55 y 0.60; y densidades de 1,600 y 1,800 kg/cm³ buscando obtener una trabajabilidad óptima y la resistencia a la compresión a la edad de 7 y 28 días.

2.1.2 Desarrollo histórico

Aun cuando el concreto ligero se ha familiarizado en últimas fechas, su uso remonta de épocas antiguas. Es muy conocido el hecho de que los romanos utilizaron agregados de roca pómez para la construcción de la cúpula del panteón de roma en el año 200 D.C.

En un inicio, el concreto ligero estuvo limitado al empleo de piedras volcánicas porosas cementadas con calizas. Subsiguientemente se desarrollaron procesos para lograr materiales porosos mediante la adición de aire o agentes espumosos y al mismo tiempo, se inició la producción de agregados artificiales expandidos. En la actualidad, es común el uso de cenizas y desechos industriales procesados, como agregados para concretos ligeros. (Ayala, 1970)

Las primeras investigaciones acerca del concreto ligero se iniciaron alrededor de los años 1900 con concretos aireados o celulares elaborados a base de procesos químicos. Sin embargo, no se obtuvieron buenos resultados. En 1924, Erikson obtuvo un concreto celular a base de sílica y cal que combinados con arcillas bituminosas dieron lugar al concreto ligero conocido como Ytong.

En 1934 se patentó en suiza el concreto Siporex, elaborado mediante un proceso de curado a vapor ideado por Eklund. En la unión Soviética se empezó a usar concreto ligero espumoso en forma de unidades reforzadas durante 1938, con métodos introducidos por Kudriashoff. En Hungría se utilizaron durante 1907 las escorias de altos hornos como base para formar estructuras ligeras. En Alemania, Dinamarca, Gran Bretaña, Estados Unidos y Rusia, durante 1910-1940, se desarrollaron técnicas para la elaboración de concretos ligeros celulares, aireados o base de agregados expandidos o procesados, lográndose variados tipos de concretos ligeros con buenos resultados.

Después de la segunda guerra mundial, la aplicación de estos materiales alcanzo un desarrollo considerable, utilizándose inclusive para la construcción de barcos. Así mismo, se desarrollaron técnicas para la utilización de cenizas de desechos de calderas para la elaboración de agregados ligeros; en la actualidad han adquirido gran importancia los procesos industriales para la expansión de minerales como perlita y vermiculita, que una vez procesados son usados como agregados ligeros.

Conforme aumentaba la demanda del uso de los concretos ligeros en la construcción, se solicitaba por parte de los constructores el mejoramiento de los materiales por lo que fue necesario afinar y desarrollar aún más la tecnología de su elaboración, a tal manera que en la actualidad pueden obtenerse concretos de baja

densidad y altas resistencias, como los fabricados a base de arcillas y pizarras expandidas, capaces de soportar resistencias de 280 a 500 kg/cm², con pesos unitarios entre 1,400 y 2,000 kg/m³. (Ayala, 1970)

Debido a la demanda y necesidades de la sociedad, Duran (2004) en su proyecto de investigación realizó una comparación de sistemas constructivos Vipanel, EMMEDUE (M2) y sidepanel (sistemas que trabajan con paneles aligerados), evaluando cuál de ellos se adapta mejor a las condiciones sociales y económicas del estado de Zulia, Venezuela. El estudio tiene la certeza de que los compuestos aligerados son positivos para la construcción en Venezuela. La confrontación presenta que los 3 sistemas se componen de los mismos elementos, aunque presentan cada uno cierta ventaja sobre el otro. El sistema EMMEDUE resultó el más adecuado en el campo constructivo de la ciudad, sin embargo, hay que decir que las diferencias con los otros sistemas son mínimas, considerando que cualquiera de los sistemas puede ser implementado.

De igual forma, Vidal Almonacid (2010) desarrolló el diseño de un concreto liviano de alta resistencia, utilizando como materia prima los rechazos de poliestireno expandido. Realizó un pequeño tratamiento térmico al material de poliestireno expandido (EPS), mejorando notablemente sus propiedades físicas, entregando un material, óptimo y de buena resistencia que nombró poliestireno expandido modificado (MEPS).

Villasmil & Rodríguez (2012) En su investigación denominado "Comportamiento mecánico de concretos elaborados con sustitución del agregado grueso por poliestireno expandido" determinaron el comportamiento mecánico de concretos, en cuya mezcla se sustituye el agregado grueso por poliestireno expandido, bajo relaciones agua-cemento (a/c) de 0.50, 0.55 y 0.60; y densidades de 1,600 y 1,800 kg/cm³ buscando obtener una trabajabilidad óptima y la resistencia a la compresión a la edad de 7 y 28 días. Los ensayos se realizaron de acuerdo a los procedimientos descritos por el Comité Conjunto de Concreto Armado (CCCA) y COVENIN. Las resistencias mecánicas obtenidas para la densidad de 1,600 Kg/cm³ presentaron en promedio 154 Kgf/cm² a los 28 días, considerado viable para su utilización en

elementos solicitados por cargas estáticas menores. Para densidad $1,800 \text{ Kg/cm}^3$, se encontró en promedio 250 Kg/cm^2 , aceptable teóricamente, pero en análisis práctico, el material tiene comportamiento viscoelástico con uso no aceptable en elementos estructurales ni tampoco se recomienda en elementos sometidos a cargas estáticas menores.

Zuluaga (2013) desarrollo un proyecto el cual tenía como objetivo evaluar el comportamiento del concreto elaborado con desechos de icopor o EPS, su investigación concluye que el concreto elaborado con desechos de EPS como reemplazante de un porcentaje de agregado fino, tiene potencial para ser utilizado como material de construcción para elementos estructurales.

Quesada (2014),buscó la elaboración de productos de espuma de concreto, concreto liviano no estructural y concreto estructural liviano utilizando los agregados de la zona, concluyendo lo siguiente: Los altos contenidos de aire en la mezcla afectan directamente la resistencia a la compresión; por lo tanto, la manera más adecuada de reducir la densidad, sin afectar demasiado la resistencia, es con la implementación de materiales de baja densidad, como el poliestireno expandido, en lugar del agregado grueso convencional.

Lituma & Zhunio (2015) en su proyecto de investigación determinaron la influencia de reemplazo de distintos porcentajes de arena por perlas de poliestireno expandido, en el peso (densidad) y en la resistencia a compresión del concreto endurecido a la edad normalizada de 28 días. Tras el análisis de los resultados concluyen que el poliestireno expandido se proyecta como una alternativa viable para la producción de concreto ligero no estructural y estructural.

Contreras (2016), realizo el proyecto titulado: “Diseño de mezcla de concreto a base de perlas de poliestireno expandido como agregado para la elaboración de bloques destinados a mampostería de concreto aligerado”, su investigación tuvo como finalidad realizar una serie de estudios comparativos, asociados a la resistencia a la compresión entre un bloque tradicional de concreto y un bloque experimental a base de perlas de poliestireno para viviendas. En esta investigación muestra un panorama muy general sobre cómo es el comportamiento del poliestireno cuando

es empleado en mezclas de concreto y permite adelantarse a pronosticar ciertos resultados sobre los costos del concreto experimental, su resistencia a la compresión y el peso del mismo.

Avecillas (2016) En su trabajo de investigación se aplicó EPS como material de aligeramiento. Tienen la función de crear secciones tipo T con fondo plano de forma simple. De esta manera se aporta una solución estructural-constructiva para techos y entresijos de edificaciones integrando concreto armado con bloques o bovedillas de poliestireno expandido. Los resultados demuestran que la alternativa estructural-constructiva tiene superioridad técnica y sugieren ventajas económicas del mismo, comparada con las soluciones aplicadas tradicionalmente.

Rodríguez (2017) En su investigación determina las propiedades físico-mecánicas del concreto liviano a base de poliestireno expandido para la elaboración de bloques de concreto liviano, los que son confeccionados conforme a una dosificación para un mortero tradicional, que, a tiempo de ser mezclados el cemento, el agregado fino y agua, se agrega poliestireno expandido en reemplazo de la grava.

Romero & Laguna (2017) en la propuesta de su proyecto se busca implementar sistemas innovadores de muros y losas de entresijo más ligeros, sustituyendo el agregado grueso del concreto hidráulico por poliestireno expandido de desecho o EPS, comparados con los sistemas de muros y losas tradicionales comúnmente usados por el sector de la construcción. El sistema consiste en elaborar muros a base de concreto aligerado con EPS de desecho que sustituye al agregado grueso en paneles con malla de gallinero de refuerzo interior. El cual adquiere ciertas ventajas comparadas con las propiedades mecánicas de los muros de mampostería tradicional indicadas en la normatividad vigente.

2.1.3 Importancia del concreto ligero

El concreto ligero, como los concretos ordinarios, es un material artificial compuesto de agregados inorgánicos, mortero y agua. A diferencia de los concretos usuales, este material es de peso reducido y por lo general de baja resistencia; sin embargo, ha encontrado amplia aplicación en muchos tipos de estructuras como casas, departamentos, escuelas, edificios de oficinas, etc., donde no se requiere un

concreto de alta resistencia. Su uso se ha difundido extensamente en la industria de la construcción de numerosos países, en virtud de los beneficios que son factibles de obtenerse con sus aplicaciones.

Con el crecimiento de la industria en la construcción, después de la Segunda Guerra Mundial, hubo necesidad de incrementar el campo de los materiales de construcción y lograr paralelamente un aumento en la eficiencia del trabajo. De esta manera, materiales de desechos industriales, escoriales de altos hornos, cenizas volcánicas, minerales exfoliados, perlita, vermiculita, pómez, etc., que anteriormente no eran utilizados como materiales de construcción, adquirieron importancia con el desarrollo del concreto ligero. Asimismo, la mecanización de la industria en la construcción en base a la utilización de nuevas técnicas, como es el uso de mayores y más manejables unidades de construcción elaboradas a base de concretos ligeros, proporcionó un notable crecimiento en la eficiencia. (Ayala, 1970)

Entre los beneficios principales que se derivan de las propiedades del concreto ligero pueden mencionarse el alto poder aislante, térmico y acústico que posee, la factibilidad de manejo como resultado de su peso reducido, la simplificación en la cimentación de estructuras cuya carga muerta total se disminuye, etc., a éstas y otras muchas ventajas debe agregarse la consecuente reducción en el costo de las obras como resultado directo de su aplicación.

A raíz de su uso intensivo, se ha desarrollado multitud de investigaciones que han hecho posible la utilización de concretos ligeros estructurales y preesforzados, en acción compuesta con concretos ordinarios, diferenciando en consecuencia el empleo de este material. Para mostrar objetivamente la importancia de los concretos ligeros, cabe mencionar que mediante su uso fue posible el aumento de cuatro pisos a un edificio ya construido sin necesidad de modificar su cimentación. En la misma forma, después de colapso sufrido al Puente Tacoma, Estados Unidos, éste fue sustituido por otra estructura con más carriles de tráfico, sin necesidad de reemplazar las pilas originales. (Ayala, 1970)

2.1.4 Agregados

Los agregados usados para concretos ligeros pueden ser naturales o artificiales. En la mayoría de los casos estos agregados son inorgánicos, porosos y de muy bajo peso volumétrico.

Las propiedades físicas de estos materiales, como son su peso específico, peso volumétrico, densidad, compacidad, porosidad, contenido de agua, capacidad de absorción, resistencia, etc. (Ayala, 1970)

2.1.4.1 Tipos de agregados

Para realizar una clasificación general del agregado, se opta por hacerlo en base al tamaño, el agregado usado en el concreto varía en fracciones de milímetros hasta varios centímetros en sección transversal. El tamaño máximo varía, pero en cualquier mezcla se incorporan partículas de diferente tamaño. La distribución del tamaño de las partículas se llama granulometría.

Se puede decir entonces que la principal división se hace entre dos grupos de tamaños; el grupo de agregado fino, que a menudo se llama arena, cuyo tamaño no excede de 5 mm o 3/16 in y el agregado grueso, el cual comprende material de no menos de 5 mm (Neville & Brooks, 1998).

2.1.4.1.1 Agregados ligeros

Los concretos de agregados ligeros poseen un peso volumétrico reducido por los agregados mismos que intervienen en su elaboración, los cuales en la mayoría de los casos son elementos con estructura porosa y de muy bajo peso volumétrico.

Por otra parte, los elementos que integran un concreto celular están íntimamente relacionados con el fraguado del mismo, cosa que no sucede en los concretos de agregados ligeros. (Ayala, 1970)

2.1.4.1.2 Agregados ligeros naturales

Se producen cuando, en la formación del árido, queda aire atrapado en su interior, como por ejemplo la diatomita, piedra pómez, cenizas volcánicas y tufas (rocas calcáreas muy porosas, como el tezontle), excepto la diatomita todas tienen origen volcánico.

- Piedra pómez o pumicita

La piedra pómez, pumita o pumicita es una materia prima mineral de origen volcánico (piroclastos), en cuya composición intervienen mayoritariamente la sílice y la alúmina, con una densidad de volumen de 500 a 900 kg/m³. Estas variedades en la piedra pómez, que no son demasiado débiles estructuralmente, proporcionan un concreto satisfactorio con una densidad de 700 a 1,400 kg/m³ y con buenas características aislantes, pero gran absorción y contracción (Neville & Brooks, 1998)

- Escoria

La escoria es una roca ígnea de color oscuro con abundantes cavidades tipo burbuja llamadas vesículas. El color de la escoria puede extenderse desde el gris oscuro a un marrón rojizo profundo. Tiene una composición similar a la del basalto, así como una composición similar a la andesita. Las pequeñas piezas de escoria se parecen a las cenizas producidas en un horno de carbón, dando como resultado que las partículas de la escoria se llamen cenizas. (Geologia online , 2017)

2.1.4.1.3 Agregados ligeros artificiales

Los agregados artificiales se obtienen a partir de productos y procesos industriales, estos agregados ligeros poseen características tales como: baja densidad, aislante, resistente, no tóxico e incombustible. Se conocen con una variedad de nombres de marca, pero se clasifican mejor sobre la base del material crudo usado y el método de manufactura. En el primer tipo se incluyen los agregados producidos por la aplicación de calor a fin de expandir la arcilla, la pizarra, el esquisto, la pizarra diatomácea, la perlita, la obsidiana y la vermiculita. El segundo tipo se obtiene por procesos de enfriamiento especiales los cuales proporcionan una expansión de la escoria de alto horno. Las cenizas industriales forman el tercero y último tipo. (Neville & Brooks, 1998)

- Clinker

Los agregados de Clinker son de origen mineral y contienen carbón, calcita, kaolín y pirritas. Su uso se inició a principios de siglo en Inglaterra. Los resultados obtenidos han sido satisfactorios, sobre todo cuando es producto residual de hornos con alta

temperatura de combustión y cuando no contiene material combustible, ya que el carbón parcialmente quemado que contenga hace que el agregado se expanda al entrar en contacto con el cemento, disminuyendo la resistencia del concreto y aumentando los cambios de volumen por contracción o humedad. Por esta razón la cantidad de material combustible es conveniente que no exceda de 10%. Cuando se usa agregado de este tipo es recomendable proveer suficiente protección al refuerzo, ya que el contenido de sulfuro que posee puede ser desfavorable para efectos de corrosión en caso de estar en contacto con la humedad ambiente. Cuando se tiene alto contenido de sulfuro es preferible no usar el Clinker como agregado para concretos reforzados. (Ayala, 1970)

- La pizarra, el esquito y la arcilla expandida

Estas se obtienen al calentar materiales crudos adecuados en un horno giratorio a fusión incipiente (temperatura de 1000 a 1200°C), cuando se produce la expansión del material debido a la generación de gases que quedan atrapados en una masa pirolástica viscosa. Esta estructura porosa se retiene con el enfriamiento, de modo que la gravedad específica aparente del material expandido es más baja que antes de calentar. Los agregados de pizarra y arcilla expandida producen concreto con una densidad dentro del rango de 1,400 a 1,800 kg/m³, aunque se han obtenido valores tan bajos como 800 kg/m³. El concreto hecho con agregados expandidos de arcilla y pizarra por lo general tiene una resistencia más alta que cualquier otro concreto de agregado ligero. (Neville & Brooks, 1998)

- Perlita expandida

Es de origen volcánico producto de un enfriamiento rápido de lava; es de aspecto vidrioso por su alto contenido de sílica. Cuando se calienta rápidamente hasta el punto de fusión, se expande para formar un material poroso muy ligero con peso volumétrico de 90 a 240 kg/m³. Su uso generalizado es en enyesados, acabados, plantillas y bloques divisorios. La resistencia obtenida en los concretos elaborados a base de perlita es sumamente baja, por lo que no se recomienda para la fabricación de concreto reforzado. (Ayala, 1970)

- Vermiculita

Es una especie de mica con alto contenido de Magnesio que se expande rápidamente al aplicársele calor a una temperatura de 650 a 1000°C la vermiculita se expande varias veces, o incluso hasta 30 veces su volumen original, por la exfoliación de sus laminas delgadas. Como resultado, la densidad bruta de la vermiculita exfoliada es de sólo 60 a 130 kg/m³; el concreto hecho con este material es de muy baja resistencia y muestra alta contracción, pero es un excelente aislante de calor. (Neville & Brooks, 1998)

- Escoria de alto horno expandida

Se produce de dos formas. En una de ellas, cierta cantidad limitada de agua en forma de rocío se pone en contacto con la escoria fundida al ser descargada del horno (en la producción de hierro en bruto). Se genera vapor y éste hincha la escoria todavía plástica, por lo que la escoria se endurece en forma porosa, muy parecido a la piedra pómez. Este es el proceso del surtidor de agua. En el proceso de la máquina, la escoria fundida se agita rápidamente con una cantidad controlada de agua. El vapor queda atrapado y también ay formación de gases debido a las reacciones química de algunos de los constituyentes de escoria con vapor de agua. La escoria expandida o esponjosa, la escoria se ha usado durante muchos años y se produce con una densidad de masa que varía de 300 a 1,100 kg/m³. El concreto hecho con escoria expandida tiene una densidad de 950 a 1,750 kg/m³. (Neville & Brooks, 1998)

- Concreciones de ceniza de combustible pulverizado

Las plantas termoeléctricas para generar energía que queman combustible pulverizado dejan como residuo cenizas que pueden usarse como agregado ligero. Estas cenizas se procesan a altas temperaturas en donde por medio de fusión incipiente logran formar acumulaciones esféricas porosas de considerable resistencia, pueden producir concretos de 1,600 a 1,750 kg/m³ con alta resistencia para usarse en miembros estructurales de concreto reforzado.

El aislamiento térmico que posee es de 50% mejor que el del concreto normal denso, aumentándose este si se usa una mezcla sin finos. Para que los concretos obtenidos a base de concreciones de cenizas de combustible pulverizado presenten calidades satisfactorias, debe tenerse cuidado con los porcentajes de combustible no quemado y los porcentajes de sulfatos, los cuales deben reducirse al mínimo mediante la inclusión de aire durante el proceso de fusión. (Ayala, 1970)

2.1.5 Clasificación de los concretos ligeros

Las clasificaciones comunes de los concretos ligeros se hacen en función de sus propiedades sobresalientes, de sus pesos volumétricos, de los materiales que los integran o de los métodos empleados en su fabricación.

De acuerdo a sus propiedades y pesos volumétricos se clasifican de la siguiente manera, reflejando la importancia que se concede en algunos países al aislamiento térmico:

- 1.- Concretos ligeros de resistencia reducida y propiedades excepcionalmente buenas de aislamiento térmico: 280 a 800 kg/m³.
- 2.- Concretos ligeros con resistencias medias y características adecuadas de aislamiento térmico: 800 a 1,400 kg/m³.
- 3.- Concretos ligeros de resistencia estructural y limitadas características de aislamiento térmico: 1 400 a 2,100 kg/m³.

En la figura II.1 se muestra de acuerdo a esta clasificación, el rango de aplicación de los concretos en base a su grado de resistencia y peso volumétrico y de acuerdo con los distintos agregados que intervienen en su fabricación.

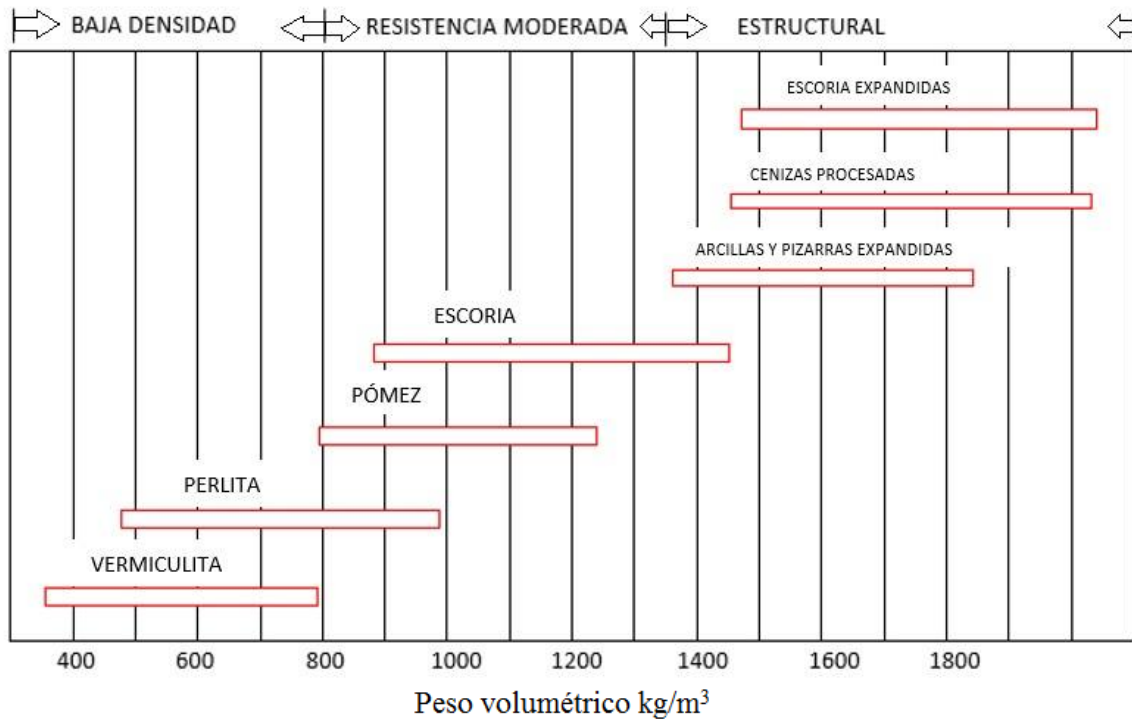


Figura II.1 Clasificación de Concretos de agregados ligeros Fuente: (Ayala, 1970)

De acuerdo a los materiales que los integran y los métodos de fabricación, los concretos ligeros pueden clasificarse. (Ayala, 1970)

2.1.5.1 Concreto sin finos

Este es una clase de concreto ligero que contiene poco o nada de agregado fino, debido a que está caracterizado por poseer vacíos uniformemente distribuidos.

El concreto sin finos consiste en agregado grueso y pasta de cemento. Las partículas de agregado se cubren con una pasta delgada de cemento de un espesor hasta de 1.3 mm, existen, por consiguiente, grandes poros dentro del cuerpo del concreto, a los cuales se debe su baja resistencia. La gran interconexión entre los vacíos le proporciona una baja densidad comparada con la del concreto convencional.

La estructura del concreto sin finos lo hace un material ideal para su aplicación en capas y pisos en los que se requiere drenado. El uso de concreto sin finos solo es recomendable cuando los agregados que se emplean sean altamente resistentes, sin que esta resistencia perjudique la ligereza del material. Y es que aun cuando la

resistencia del concreto sin agregados finos es considerablemente inferior a la del concreto de peso normal, esta resistencia, asociada con la carga muerta inferior de la estructura, resulta suficiente en muchas aplicaciones. Por contener poco cemento, el costo del concreto sin agregado fino es bajo comparado con las otras clases de concretos. Esto se debe a la ausencia de una gran área superficial de partículas de arena que tendrían que recubrirse con pasta de cemento (IMCYC, 2007)

Usando agregado ligero puede obtenerse un concreto sin finos con una densidad tan baja como 640 kg/m^3 . Por otro lado, con agregado común la densidad varía entre $1,600$ y $2,000 \text{ kg/m}^3$. La resistencia compresiva del concreto sin finos varía entre 1.4 y 14 MPa (200 y 2000 lb/in^2) dependiendo principalmente de su densidad, la cual se controla a partir del contenido de cemento.

Una ventaja del concreto sin fino es su baja conductividad térmica: aproximadamente $0.22 \text{ J/m}^2\text{s } ^\circ\text{C/m}$ con agregado de peso ligero y $0.80 \text{ J/m}^2\text{s } ^\circ\text{C/m}$ con agregado de peso normal (Neville & Brooks, 1998)

2.1.5.2 Concreto con agregados ligeros

Los concretos con agregados ligeros obtienen su ligereza a base de formar una estructura porosa ya sea por medio de agentes químicos o agentes espumosos mezclados mecánicamente, los concretos de agregados ligeros poseen un peso volumétrico reducido por los agregados mismos que intervienen en su elaboración, los cuales en la mayoría de los casos son elementos con estructura porosa y de muy bajo peso volumétrico.

Aunque los procedimientos de producción de concretos de agregados ligeros y concretos ordinarios son similares, las normas y consideraciones de diseño de los concretos comunes no pueden aplicarse a aquellos ya que las propiedades de los agregados porosos son diferentes a los correspondientes para la grava o piedra triturada. Las propiedades de los concretos con agregados ligeros dependen de las que poseen los agregados que los integran y los métodos de elaboración y diseño están en concordancia con el tipo específico de agregados que se use. (Ayala, 1970)

Las propiedades de los concretos con agregados ligeros Permiten que los rangos de densidades oscilen entre 300 a 1,850 kg/m³. Los rangos correspondientes de resistencia van entre 0.3 a 40 Mpa, e incluso mayores. Las resistencias más elevadas se obtienen con contenidos elevados de cemento (500 kg/m³, puede necesitarse hasta 70% más que con agregados normales). Todos los agregados ligeros producen concretos totalmente diferentes entre sí por lo que se requiere un cuidadoso control. Las propiedades del concreto además se ven afectadas por la granulometría del agregado, el contenido de cemento y la relación agua/cemento. Los agregados ligeros tienen mayor y más rápida absorción de agua. Las mezclas son más ásperas, lo cual se puede disminuir con la inclusión de aire, reduciendo el requerimiento de agua. Generalmente los contenidos de aire totales por volumen son de 4 a 8% para tamaño máximo de agregado de 20 mm, y de 5 a 9% para tamaño máximo de 10 mm. La trabajabilidad disminuye si se usan tanto agregados finos de peso ligero como agregados gruesos de peso ligero por lo que se recomienda usar agregados finos de peso normal y agregados gruesos de peso ligero (Concreto semiligero). Generalmente estos concretos requieren de un 12 a un 14% menos de agua de mezclado para lograr una misma trabajabilidad que uno ligero. Puede sustituirse solo parte del agregado fino por agregados finos de peso normal, pero siempre en volúmenes iguales. Para la misma resistencia el módulo elástico de un concreto ligero es menor que el de uno normal, (alrededor de un 24 a 50%) por lo tanto las deformaciones son mayores. (Huerta, 2004)

2.1.5.3 *Concreto aireado*

Los concretos celulares, producidos por la formación de burbujas gaseosas dentro de la masa fluida por la lechada o de un mortero, también se conocen como concretos aireados, espumosos o gaseosos.

Una forma de obtener concreto ligero consiste en introducir burbujas de gas en la mezcla plástica de mortero, a fin de introducir un material con una estructura celular que contengan vacíos de tamaño entre 0.1 y 1 mm.

El concreto gaseoso se puede hacer sin arena, pero sólo para propósitos no estructurales tales como el aislamiento del calor cuando se puede obtener un rango

de densidad de 200 a 300 kg/m³. Las mezclas más usuales (con arena) tienen densidades entre 50 y 1,100 kg/m³ cuando se usa una mezcla de cemento y arena muy fina.

El concreto aireado se usa principalmente para propósitos de aislamiento de calor debido a su baja conductividad térmica e incombustibilidad, ya que tiene mayor resistencia al fuego que el concreto normal. (Neville & Brooks, 1998)

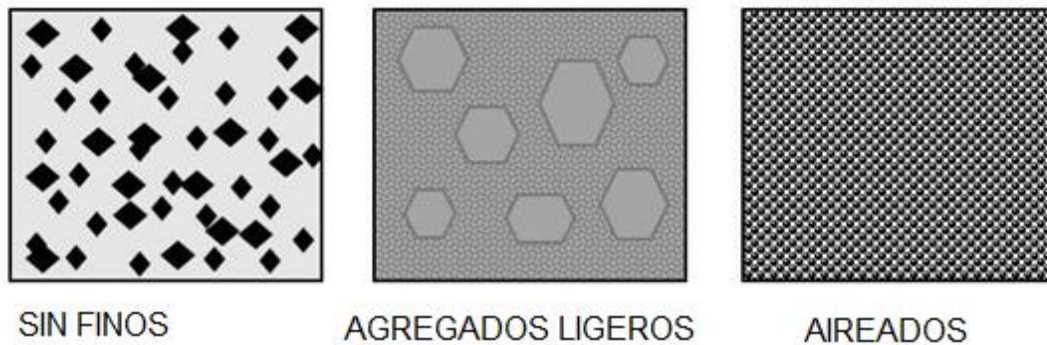


Figura II.2 Distintos tipos de concretos ligero. Fuente: (Ayala, 1970)

En base a esta última clasificación podemos representar esquemáticamente en la siguiente tabla (Tabla II.1) los distintos tipos de concretos ligeros usados.

Tabla II.1 Distintos tipos de concretos ligeros.



*Fuente: (Ayala, 1970)

2.1.6 Ventajas y desventajas del concreto ligero

1. Ventajas

Según expresa Neville: " Las ventajas del concreto ligero compensan y sobrepasan sus desventajas, y existe una tendencia a nivel mundial a emplear más el concreto ligero" (Nevile, 1977)

Las ventajas de un concreto ligero son múltiples, pero las más comunes entre los mismos, independientemente del árido ligero utilizado se les menciona a continuación:

- Baja Densidad

Sin duda la baja densidad de un concreto ligero es su ventaja más significativa, de ahí su denominación como ligero. La consecuente reducción del peso del concreto que viene asociado con una baja densidad, permitirá producir elementos con menor masa y menores dimensiones, lo cual es una ventaja directa en elementos sometidos a cargas sísmicas. Esto permitiría crear construcciones de mayores dimensiones, como edificios más altos o puentes más largos, teniendo en cuenta la resistencia requerida del concreto para estas aplicaciones. (Pecce et al., 2013)

- Aislamiento Térmico y Acústico

El concreto ligero con estructura celular es apto para producir elementos aislantes, con capacidad de absorción de energía. Esta capacidad de absorción de energía permite obtener una alta capacidad de aislamiento, tanto térmico como acústico (Jones & McCarthy, 2005)

La absorción térmica y acústica depende principalmente de la densidad, a menor densidad del concreto mayor será su capacidad de aislamiento y menor su resistencia (Nevile, 1977)

- Reducción de cargas

De la densidad de concreto ligero se deriva otra ventaja, que es la reducción de cargas por peso propio aportada por los elementos a la estructura. Esta reducción trae consigo varios beneficios en cuanto a costos.

El concreto ligero ha permitido hacer posibles proyectos en donde el peso era el factor limitante en el diseño. En estructuras reticulares, por ejemplo, los marcos deben llevar las cargas de pisos y muros; en ellos se pueden lograr considerables ahorros en su costo si se utilizan losas de entrepiso, muros divisorios y acabados exteriores a base de concreto ligero (Short & Kinniburgh, 1963).

La reducción en las cargas muertas de una estructura reduce cantidades de obra dirigida a cimentaciones, acero de refuerzo estructural y todo elemento que sirva como apoyo en la estructura, esta disminución en cantidad trae consigo una reducción directa en costos. Además, se pueden lograr reducciones significativas en el tamaño de elementos como columnas, lo cual aumenta el área disponible para la circulación en edificios. (Subhan, 2006)

- Prestaciones especiales

Existen proyectos donde la resistencia mecánica no es el factor predominante al elegir el material a utilizarse, es aquí donde el concreto ligero puede convertirse en la opción preferencial.

Por ejemplo, edificaciones donde se desee un alto grado de resistencia al fuego. El concreto ligero no tiende a descascararse frente al fuego, eso unido al hecho de que su resistencia original disminuye en una baja proporción, en comparación al concreto de peso normal, al ser sometido al calor, lo convierten en una buena protección ante el fuego (Nevile, 1977).

De manera similar, concretos aligerados con poliestireno expandido (EPS) poseen una resistencia a la congelación muy alta, pues el EPS al no ser capaz de absorber agua no corre el riesgo de provocar ciclos de contracción y retracción en el concreto, lo que puede provocar fisuras. Concretos ligeros de alta resistencia son incluso capaces de soportar valores similares de esfuerzos internos, e incluso en algunos casos, mayores que el concreto de peso normal, esto reduce el riesgo de microfisuras a niveles bajos de esfuerzo (Subhan, 2006)

2. Desventajas

Aunque ya se mencionó que las ventajas de un concreto ligero superan sus desventajas, es necesario conocer los inconvenientes más importantes que puedan provocar pérdida de interés en el uso del concreto ligero.

En cuanto a materias primas, en general, el concreto ligero es más costoso que el concreto de peso normal (30 a 50%), esto se debe principalmente a los áridos utilizados para aligerar el concreto.

Es claro que debido a su baja densidad la mayor parte de concretos ligeros poseen menores resistencias mecánicas que el concreto de peso normal, a excepción de aquellos concretos que por un incremento en la cantidad de conglomerante o por cualquier otro método han logrado incrementar su resistencia. Otros aspectos a considerar son su porosidad (concretos aireados) y su baja resistencia a la abrasión. (Neville & Brooks, 1998)

2.1.7 Poliestireno Expandido

El poliestireno expandido (EPS) se define como: “Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire” (Poliestireno Expandido , 2005)

La abreviatura EPS deriva del inglés Expanded PolyStyrene. Este material es conocido también como Telgopor o Corcho Blanco. El EPS es un plástico rígido celular que se encuentra en una multitud de formas y aplicaciones, fue creado en el año de 1954 y es conocido en México comercialmente como Unicel.

En realidad, la historia del EPS comienza un poco antes, el poliestireno fue sintetizado por primera vez a nivel industrial en el año 1930. Hacia mediados de la década del 50, la firma BASF (Alemania) por iniciativa del Dr. F. Stastny, desarrolla e inicia la producción de un nuevo producto: poliestireno expandible, bajo la marca Styropor. Ese mismo año fue utilizado como aislante en una construcción dentro de la misma planta de BASF donde se realizó el descubrimiento. Al cabo de 45 años frente a técnicos de distintos institutos europeos, se levantó parte de ese material, y se lo sometió a todas las pruebas y verificaciones posibles. La conclusión fue que

el material después de 45 años de utilizado mantenía todas y cada una de sus propiedades intactas. (Poliestireno Expandido , 2005)

2.1.8 Impacto Ambiental

Para la construcción de viviendas en algunos casos se utilizan técnicas que se basan en criterios exclusivamente ambientales; sin embargo, todas las técnicas de construcción deben ser integrales, es decir, tanto el desempeño estructural como ambiental de la vivienda debe ser satisfactorio. Por lo tanto, se recomienda que los reglamentos establezcan recomendaciones para el análisis, diseño, construcción y evaluación, junto con especificaciones y métodos de ensayo para verificar el comportamiento sísmico, el desempeño medioambiental (incluyendo los efectos de humedad y durabilidad), la resistencia al fuego, así como las propiedades acústicas y de aislamiento de todos los sistemas constructivos que se utilicen para la construcción de viviendas. Estas recomendaciones son importantes para brindar seguridad, economía y confort al usuario final de la vivienda, así como para cumplir los requisitos ambientales de construcción (Carrillo & Alcocer, 2012)

El desempeño de la vivienda con muros de concreto se evalúa en términos de los principales requerimientos ambientales y de resistencia sísmica. Se encontró que la vivienda a base de muros de concreto no sólo es segura ante sismos y fácilmente adaptable a diferentes ambientes, sino que incentiva la conservación del medio ambiente y promueve la reducción de los costos de construcción, operación y mantenimiento (Carrillo & Alcocer, 2012)

Si se habla del impacto ambiental generado por la producción de Poliestireno Expandido se sabe que este utiliza productos derivados del petróleo. Sin embargo, el consumo de este recurso natural es realmente muy limitado: solo el 4% del petróleo que se utiliza a nivel mundial se destina a la producción de materiales plásticos, y dentro del conjunto de materiales plásticos, el EPS representa un 2,5% del total. Se deduce de esto que solo el 1 por 1000 del petróleo se destina a la fabricación del EPS. En Europa, actualmente, el uso del plástico por habitante es aproximadamente 30 kg/año, por lo tanto, la cantidad de petróleo usado para la

producción de plástico sería suficiente para un viaje en auto de 300 km (Poliestireno Expandido , 2005)

Otra ventaja que posee el EPS frente al medio ambiente es que para su producción o uso no se utilizan, ni se han utilizado jamás, clorofluorocarbonos, de modo que no se ataca la atmosfera. El agente expansor utilizado en su fabricación, pentano, pertenece a la familia del metano, un gas natural derivado de fuentes naturales, que se descompone rápidamente en la atmosfera.

Cada año se consumen en México 13 mil millones de piezas de poliestireno expandido. Entre platos, vasos y placas utilizadas en la construcción se deshecha aproximadamente 350 mil toneladas al año de las cuales solo se recicla el 0,1% equivalente a 400 toneladas.

El reciclaje en México es nuevo a pesar de que comenzó hace 30 años en Asia, y para Estados Unidos y Canadá la implementaron hace 25 y 18 años respectivamente, mientras que en México lo hizo solo apenas hace 3 años. Por lo general las empresas tienen como función el reciclaje después de obtener la materia prima a partir del EPS reciclado, lo venden a Estados Unidos para su consumo interno, pues no se tiene la tecnología en México para transformarlo en productos plásticos comercializables. Motivo por el cual la mayoría de ese plástico de desecho contamina, los suelos, ríos, lagunas y mares del país.

En el caso de Estados Unidos este recicla el 30% de su consumo de poliestireno expandido. Canadá por su parte fundo su propia asociación con 24 hasta 30 mil toneladas anuales (Méndez, 2014)

2.1.9 Paneles Prefabricados

En cuanto a los antecedentes de los prefabricados en general, es sabido que en el siglo XV con la revolución industrial se comienza la producción en cadena, se da un aumento poblacional que genera la fabricación en serie de elementos constructivos como el acero y el vidrio a gran escala, se van generando grandes obras con pocos elementos constructivos y con pocos elementos prefabricados producidos en grandes cantidades. La producción a gran escala de los elementos constructivos

llevo a un proceso industrializado, lo que agilizo el sistema de construcción prefabricado.

El desarrollo de la prefabricación aparece principalmente en dos zonas geográficas: Europa y Estados Unidos de Norte América. La construcción modular ha estado tradicionalmente asociada a la construcción mediante prefabricados y se desarrolló en Europa después de la segunda guerra mundial (1939-1945). Tras la segunda guerra mundial en Europa se presenta la necesidad de reconstruir rápidamente en los países devastados por la guerra, estos requerían satisfacer la necesidad de alojamiento para su población, cosa que no iba a suceder con la velocidad que ellos hubiesen deseado, debido a que no se disponía de la mano de obra inmediata por el mencionado trance por el cual estaban pasando en ese momento, con esto se abre camino para la prefabricación como método alternativo de la construcción (Arellano, 2012)

La prefabricación es un método industrial de producción de elementos o partes de una construcción en planta o fábrica y su posterior instalación o montaje en la obra. La aparición masiva de este sistema recibe su gran impulso debido a la gran necesidad de construir viviendas de una forma novedosa, barata y rápida, como se menciona anteriormente. El desarrollo de estos elementos ha llevado a un gran avance en cuanto a la industrialización de elementos y a la incorporación de técnicas a la edificación convencional.

Esta técnica, que ha tenido un enorme desarrollo a nivel mundial, presenta claras ventajas cuando se requiere utilizar elementos repetitivos e industrializar las faenas de construcción y mejorar su productividad. Entre ellas se destacan las siguientes: reducción de plazos de construcción, organización similar a una fábrica, mayor grado de mecanización, mano de obra estable y especializada, mayor facilidad para un adecuado control de calidad, uso múltiple y repetitivo de encofrados o moldaje, posibilidad de aplicar técnicas de pretensado, curado acelerado, etc.

La prefabricación se puede aplicar a elementos de concreto simple, como, soleras, tubos, bloques, ladrillos, etc.; a elementos sencillos de concreto armado como

postes, y a sistemas más sofisticados como losas, vigas y columnas. Las ventajas del prefabricado son:

- La construcción se convertiría en una actividad continua.
- La mano de obra que trabaja en estas cadenas de montaje no necesita información especializada.
- La rapidez del montaje.
- Reducción de los residuos de la construcción.
- Los componentes prefabricados se construyen con materiales de la misma calidad.

La construcción por prefabricación se realiza en dos fases:

Fabricación: La producción se lleva a cabo en fábricas (fijas o móviles).

Montaje: el montaje en obra puede realizarse con grúas o en forma manual, según las características de los elementos prefabricados. Este tipo de sistema constructivo es moderno y eficiente, que en muchas ocasiones ofrece mayores ventajas en la construcción que el sistema tradicional. (ARQHYS, 2012)

2.1.9.1 Clasificación de los elementos prefabricados

Existen diversas formas aceptadas de clasificar los elementos prefabricados, estas pueden ser por sus características físicas o su funcionalidad.

- Según su peso y dimensiones

Según el peso y dimensiones de las piezas prefabricadas se clasifican en:

Prefabricados Livianos. Son los pequeños elementos prefabricados o ligeros de peso inferior a los 30 kg, destinados a ser colocados de forma manual por uno o dos operarios.

Prefabricados Semipesados. Su peso es inferior a los 500 kg, destinados a su puesta en obra utilizando medios mecánicos simples a base de poleas palancas, malacates, y barretas.

Prefabricados Pesados. Su peso es superior a 500 kg, requiriéndose para su puesta en obra maquinaria pesada, tales como grúas de gran porte.

- Según su formato

Según sea su forma las piezas prefabricadas se clasifican en:

Bloques. Son elementos prefabricados para construcción de muros. Son autoestables sin necesitar de apoyos auxiliares para su colocación. Por ejemplo: Bloques de concreto, bloques de ladrillo hueco, etc.

Paneles. Los paneles constituyen placas cuya relación entre grosor y superficie es significativa. Por ejemplo: Muros de contención antepechos, placas de fachadas, placas de yeso, etcétera.

Elementos lineales. Son piezas esbeltas, de sección transversal reducida en relación a su longitud. Por ejemplo: vigas, columnas, pilotes, etc. (Hroa, 2010)

2.1.10 Viviendas modulares

El concepto de vivienda modular prefabricada nace principalmente de las ventajas tecnológicas que se ofrecen en el sistema constructivo. La prefabricación en sí misma representa componentes de producción en serie, que permiten simplificar el ensamblaje; además de ofrecer diferentes soluciones de montaje y diseño

Para comprender lo que es una vivienda prefabricada (Manufactured Housing Industry, 2006) la definió como una casa unifamiliar construida enteramente en un entorno fabril controlado, de conformidad con las normas de construcción y seguridad de viviendas prefabricadas (más conocidas como Código HUD). Se refiere principalmente a las viviendas construidas en fábrica; ya que es ahí donde se diseñan y fabrican muchos tipos de estructuras destinadas a uso residencial de larga vida útil. En el caso de viviendas prefabricadas y modulares, las unidades construidas en fabrica, son transportadas al sitio e instaladas. En las viviendas panelizadas y precortadas, los sub-ensambles esencialmente planos (paneles construidos en fábrica o materiales de construcción costados en fábrica) son transportados al sitio y armados. Los distintos tipos de viviendas construidas en fábrica pueden resumirse de la siguiente forma:

- **Viviendas prefabricadas:** Estas viviendas son enteramente construidas en la fábrica bajo un código federal de construcción administrado por el Departamento Estadounidense de Vivienda y Desarrollo Urbano (HUD). Las Normas Federales de Construcción y Seguridad de Viviendas Prefabricadas (comúnmente conocidas como código HUD) entraron en vigor en 1976. Las viviendas prefabricadas pueden tener una o múltiples secciones y son transportadas al sitio e instaladas. Las normas federales regulan el diseño y la construcción de las viviendas prefabricadas, la solidez y durabilidad, la transportabilidad, la resistencia al fuego, la eficiencia energética y la calidad. El código HUD además establece las normas de desempeño para los sistemas de calefacción instalación de cañerías, aire acondicionado, térmico y eléctrico. (Callejas, 2008)

- **Viviendas Modulares:** Estas viviendas son construidas en fábricas de conformidad con el código local, estatal y regional de la zona donde la vivienda estará ubicada. Los módulos son transportados al sitio e instalados. Una vivienda modular por lo general está construida en un lugar distinto de la propiedad donde se va a ubicar. La mayoría de las viviendas prefabricadas son estructuras modulares principalmente paneles y el montaje final ocurre en la propiedad después de que se trasladen todos los componentes. Las ventajas de ser propietarios de una vivienda modular prefabricada pueden incluir: una manera menos costosa de adquirir una vivienda unifamiliar/individual.

- **Viviendas Panelizadas:** Estas son viviendas construidas en fábricas en las que los paneles son transportados al sitio y allí son armados. Las viviendas deben satisfacer los códigos locales y estatales del lugar a instalarse.

- **Viviendas pre-cortadas:** Este es el nombre de las viviendas construidas en fábricas en las que los materiales de construcción son cortados en fábrica de acuerdo con las especificaciones de diseño, transportables al sitio y armados. Las viviendas precortadas incluyen aquellas con kits (compuestos por piezas de ensamble), troncos y domo. Estas viviendas deben satisfacer los códigos de construcción local, estatal y regional.

- Casa móvil: según los estatutos de Florida de EUA, define a la casa móvil como una estructura que se puede transportar y está conformada de una o más secciones cuyo cuerpo mide 8 pies o más de ancho y que ha sido construida sobre un chasis integral y diseñada para ser usada como vivienda al conectarse a los servicios que incluyen plomería, calefacción, aire acondicionado y sistemas de electricidad que pudieran colocarse (Callejas, 2008)

En el aspecto del diseño arquitectónico, la vivienda prefabricada se ha planteado como la nueva habitación para la vivienda del mañana; el concepto lofts parte de la concepción donde los muebles determinan el espacio habitable. El carácter innovador de una casa reside en su capacidad para plantear cambios en el estilo de vida de sus habitantes y las transformaciones en el modo de habitar

Los beneficios de las viviendas prefabricadas actuales están siendo reconocidos por los consumidores, constructores-promotores, así como las autoridades gubernamentales. Cada vez más personas reconocen que las viviendas prefabricadas pueden ofrecerle el mejor valor en precio y calidad. Con los continuos avances tecnológicos y la aceptación pública, la vivienda modular prefabricada se ha posicionado como una importante proveedora en el siglo XXI. Además, con una vivienda modular prefabricada el comprador promedio puede todavía adquirir una nueva vivienda de calidad confortable y segura sin sacrificar las comodidades (Callejas, 2008)

2.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo de investigación es el siguiente:

Realizar el estudio técnico para la elaboración de paneles de concreto ligero a base de EPS reciclado para construcciones modulares.

2.2.1 Objetivos secundarios

- Conocer la normativa del concreto ligero.
- Diseñar prototipos de moldes para paneles de concreto ligero
- Diseñar una dosificación óptima para paneles de concreto ligero con sustitución de poliestireno expandido EPS

2.3 Hipótesis

Construir viviendas modulares a base de paneles de concreto ligero reciclado garantiza la seguridad y un proceso de construcción más rápido, fácil y económico, sin embargo, es necesario realizar el estudio técnico de los paneles.

2.4 Preguntas de investigación

¿El concreto ligero puede tener resistencias que alcancen lo establecido en las normas para elementos estructurales para viviendas?

¿Los paneles de paneles de concreto ligero a base de EPS de desecho se pueden usar como paneles de uso estructural?

¿El proceso constructivo de viviendas modulares con paneles de concreto ligero es más rápido?

2.5 Metodología

Para la estructuración de la metodología de esta investigación y con el fin de poder desarrollar de manera óptima los objetivos antes mencionados el proyecto constituye las siguientes etapas:

- **Revisión del estado del arte:** Esta etapa constó de la búsqueda y recolección del material referido a los avances teóricos de análisis, normativas de diseño y resultados de concreto ligero.
- **Recolección de poliestireno expandido:** Se procedió a la recolección de los desechos de EPS por medio de campañas para su reutilización.
- **Selección:** La selección del EPS se basó en elegir piezas con densidades similares por su apariencia que varían entre 10 a 20kg/m³. Verificándose que no existieran residuos orgánicos o cualquier otra sustancia que pudiera afectar las propiedades del material.
- **Trituración:** La trituración se realizó con el apoyo de un artefacto fabricado con madera de pino, tubo de PVC de 2" con un centro de madera, una pija para tabla roca de 1"x1/2", el cual funciona con el impulso de un Rotomartillo industrial de 1/2" de 650W de potencia.
- **Fabricación de un molde para placas:** Con la finalidad de obtener los estándares promedio que actualmente se comercializan, se realizaron distintas comparaciones de dimensión, espesor y peso de 4 prototipos (A: 1,10 x 0.60 m y 0.04m de espesor, B: 1.20 x 1.20 y 0.025m de espesor, C: 1.00 x 0.60 y 0.050m de espesor, D: 1.00 x 0.60 y 0.025m de espesor) reforzados interiormente con una malla hexagonal de acero galvanizado calibre 22.
- **Diseño de dosificación de la mezcla de:** Para la fabricación de las mezclas de concreto se identificaron las dosificaciones comunes de morteros empleados en albañilería, partiendo como base de una resistencia de 150 kgf/cm² conforme a lo establecido por el IMCYC (2011), realizando las modificaciones adecuadas con respecto a la sustitución parcial y total del agregado grueso por EPS de deshecho reciclado, por lo cual se realizó la

caracterización tanto de la arena como al poliestireno expandido (EPS de deshecho) conforme a los establecido en las normas NMX-C-073-ONNCCE-2004, NMX-C-077-ONNCCE-1997, NMX-C-165-ONNCCE-2014, NMX-C-166-ONNCCE-2018, sustituyendo así en volumen el agregado grueso por el EPS de desecho.

- **Fabricación y ensayo de probetas a compresión y a flexión:** Se realizó la preparación y curado de probetas cilíndricas (15 x 30 cm) para realizar el ensayo a compresión de cada uno de los especímenes tal como lo indica la norma NMX-C-159-ONNCCE-2016 al igual que el ensayo de concreto en la obra en base a la Norma ASTM C31/C31M/18B. Así como la realización de especímenes de probetas prismáticas (vigas 50 x 15 x 15 cm), usando una viga simple con carga en los tercios del claro conforme a lo establecido en la norma NMX-C-191-ONNCCE-2015, así como pruebas de flexión de los morteros aligerados basados en la norma ASTM C78-18. Las pruebas a compresión se realizaron a los 7, 14 y 28 días de curado, apegándose a los procesos de la Norma NMX-C- 109-ONNCCE-2013 y la Norma NMX-C-083 ONNCCE-2014.
- **Ensayo de paneles:** Se realizaron pruebas a los paneles de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-405-ONNCCE-2014 Paneles para uso estructural aplicados a sistemas constructivos-Especificaciones y métodos de ensayo. Verificando que se cumpliera con resistencia a compresión simple, resistencia bajo carga lateral, Resistencia a impacto para muros y resistencia a carga uniformemente repartida actuando perpendicular al plano. Los paneles fabricados fueron ensayados mediante la aplicación de cargas cíclicas para conocer su desempeño a flexión (pruebas de carga y descarga).
- **Resultados obtenidos:** En esta etapa se presentan los resultados obtenidos, demostrando las características de cada dosificación, analizando trabajabilidad, densidad, capacidad de carga a la compresión, etcétera, y con base en los resultados obtenidos se realizaron las conclusiones de esta investigación.

- **Proceso constructivo de una casa habitación con paneles de EPS:** Se elaboró el proceso constructivo de paneles de concreto ligero a base de EPS de desecho para viviendas modulares, considerando dos propuestas de colocación de acuerdo a la orientación de los paneles, considerados de manera horizontal y de manera vertical.

III. Desarrollo del tema

3.1 Recolección, selección y trituración del Poliestireno Expandido

Para la realización de este trabajo existe la inclusión del reutilizar los desechos de EPS producto de embalaje de electrodomésticos, equipos de cómputo, etcétera, con el objeto sustituir parcialmente en porcentajes deseados el agregado fino de un mortero para crear paneles ecológicos ligeros para la construcción de viviendas modulares, por lo que para la obtención de la materia prima se organizó una recolecta en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas. Dando un resultado favorable y logrando proveer la materia prima sin costo alguno, posteriormente se hizo una selección del material con características óptimas, pasar al proceso de trituración, revisando que cada objeto estuviese libre de agentes orgánicos o cualquier otro que pudiese afectar las propiedades de la mezcla. El material triturado obtenido en gránulos de EPS se tamizó con la malla del número 4 para poder ser usado en la mezcla y se cumpliera el propósito de ser un mortero de carácter ecológico. En la figura III.1 se muestra el proceso para la transformación de EPS de desecho en material para la construcción, la fabricación del mortero y la elaboración de los paneles ecológicos, respectivamente.



Figura III.1 Proceso de transformación del EPS en material para la construcción (Elaboración propia)

3.2 Caracterización de los materiales

Para la caracterización de los materiales, se hizo una revisión de las normas vigentes referentes a las pruebas de calidad para caracterización física de agregados (grava y arena) a utilizarse en la elaboración de concreto. Considerando las Normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM), las de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y las Normas Mexicanas (NMX).

Las propiedades analizadas fueron:

Granulometría: es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado; esta propiedad se determina por la separación por tamaños a través de tamices. Los tamices son charolas con mallas en el fondo con un cierto tamaño de abertura dependiendo del número de tamiz.

Densidad: es la magnitud que refleja la relación que existe entre la masa de un cuerpo y su volumen.

Absorción: se determina con el fin de conocer el contenido neto de agua que es capaz de absorber un agregado seco al horno para llegar a la condición de saturado y superficialmente seco.

Peso volumétrico: es la masa del agregado por unidad de volumen.

Peso específico: es la relación de la densidad del agregado con respecto a la densidad del agua.

3.2.1 Agregado fino

El agregado fino fue proveniente de bancos ubicados en el río Santo Domingo en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. Para evitar la contaminación y disgregación del material, se almacenó en un lugar reservado dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la UNACH. En la tabla III.1 se muestran las propiedades físicas de la arena.

Tabla III.1 Propiedades físicas de la arena del Rio Santo Domingo, Chiapas.

PROPIEDADES FÍSICAS	
Módulo de finura	2.8
Calificación de las arenas en función del módulo de finura	Arena gruesa
Peso específico, seco (kg)	2.23
Peso específico, SSS (kg)	2.38
Absorción (%)	6.73
Densidad (kg/m³)	2.97
Pasa malla no. 200 (%)	3
Peso volumétrico seco (suelto) (kg/m³)	1,502
Peso volumétrico seco (compactado) (kg/m³)	1,646

*Elaboración propia

3.2.1.1 Análisis granulométrico

La realización de esta prueba se hizo bajo las normas NMX-C-073-ONNCCE-2004, NMX-C-077-ONNCCE-1997, NMX-C-165-ONNCCE-2014, NMX-C-166-ONNCCE-2006, En la figura III.2 se muestra la curva de la arena, que se encuentra de los límites establecidos por las normas.

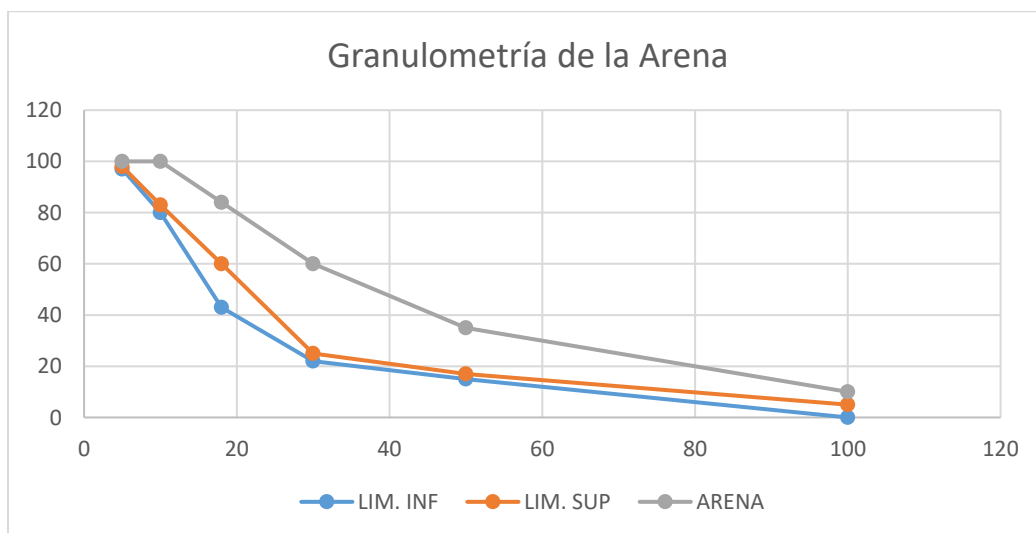


Figura III.2 Curva granulométrica de la arena (Elaboración propia)

3.2.2 Agua

El agua es el componente que se utiliza para generar las reacciones químicas en los cementantes del concreto o del mortero de cemento portland. Puede ser agua potable, es decir, aquella que por sus características químicas y físicas es útil para el consumo humano o que cumpla con los requisitos de las normas correspondientes.

Se define como agua potable aquella que es apta para la alimentación y el uso doméstico, debido a que no tiene sustancias, ni microorganismos que puedan provocar enfermedades o perjudicar a la salud de las personas que la consuman mediante pruebas realizadas basadas en la norma NMX-C-122-ONNCCE-2004. El agua utilizada para la elaboración de la mezcla de concreto fue obtenida del sistema de distribución de la Universidad Autónoma de Chiapas.

3.2.3 Cemento

El cemento utilizado en la elaboración de la mezcla fue cemento portland compuesto (CPC 30 R), el cual contiene combinaciones de Clinker y otros componentes cementantes, por lo cual se alcanzan resistencias mecánicas altas.

3.2.4 Perlas de poliestireno expandido

Las perlititas de poliestireno utilizado como sustitución del agregado grueso se obtuvieron de un proceso de recolección, selección de EPS y trituración que fue por medio de tamizado por la malla No. 4.

3.3 Diseño de prototipos de paneles

Para obtener diseño más adecuado en cuanto a manejo y ensamble se realizaron 4 prototipos (A: 1,10m x 0.60m x 0.04m, B:1.20m x 1.20m x 0.025m, C: 1.00m x 0.60m x 0.050m, D: 1.00m x 0.60m x 0.025m) los cuales se describen detalladamente más adelante y que fueron reforzados interiormente con una malla hexagonal de acero galvanizado calibre 22 para los cuáles se realizaron pruebas a de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-405-ONNCCE-201 para paneles de uso estructural si su uso es en muros, para uso en losas de entrepiso o para uso en losas de techo, de entre las que destaca la prueba de carga y descarga.

3.3.1 Prototipo A de panel prefabricado

El Prototipo A (Figura III.3) con medidas de 1.10m x 0.60m x 0.04m fue descartado debido a su peso excesivo y a que no favorece la idea originalmente planteada de paneles ligeros con facilidad de manipularlos en la obra, además de ser un sistema complicado para las uniones en la construcción de viviendas, el cual consistía de un par de placas con geometrías ensamblables para su colocación. Con un espesor total del muro propuesto de 15 cm.

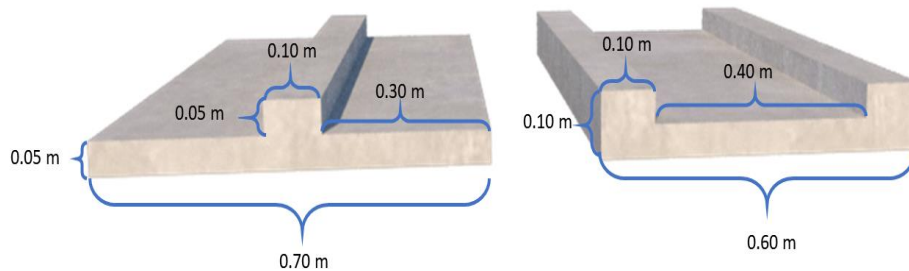


Figura III.3 Prototipo A de los paneles prefabricados propuestos (Elaboración propia)

3.3.2 Prototipo B de panel prefabricado

A partir de los resultados obtenidos en el Prototipo A, se plantearon modificaciones y se creó el Prototipo B (Figura III.4), el cual consistió de paneles con dimensiones de 1.20 x 1.20 x 0.025 m con refuerzo central de malla hexagonal, considerando su relación de esbeltez se descartó también este prototipo, en función de su baja resistencia a ciclos de carga uniformemente repartida (inferior a 50 kg) de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-405-ONNCCE-2014.

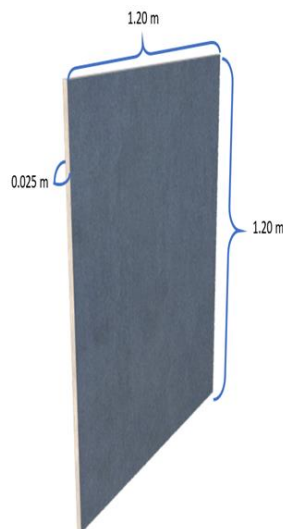


Figura III.4 Prototipo B de los paneles prefabricados (Elaboración propia)

3.3.3 Prototipo C de panel prefabricado

Prototipo C (Figura III.5) de 1.00 x 0.60 x 0.050 m. en el cual, los resultados obtenidos en la aplicación del ensayo de acuerdo a esta norma mexicana alcanzaron cargas superiores a 500 kilogramos.

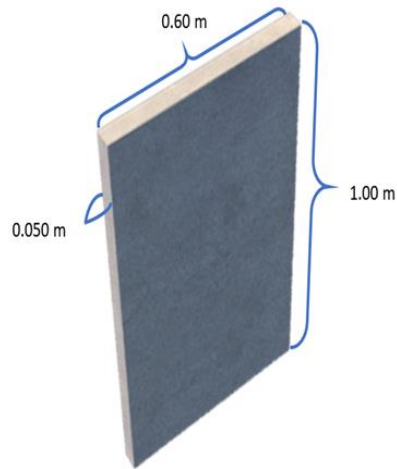


Figura III.5 Prototipo C de los paneles prefabricados (Elaboración propia)

3.3.4 Prototipo D de panel prefabricado

En virtud de los excelentes resultados del Prototipo C, se procedió a modificar el espesor, resultando con ello el Prototipo D (Figura III.6) variando únicamente el espesor respecto del panel anterior, 1.00 x 0.60 x 0.025 m. Alcanzando con ello hasta 150 kilogramos en cargas cíclicas uniforme mente repartidas.

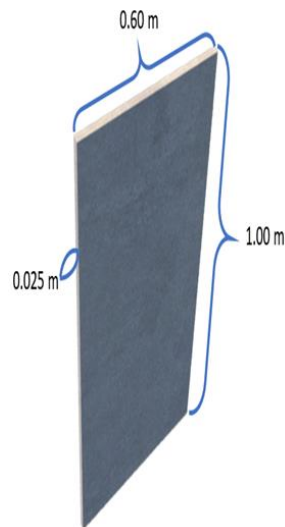


Figura III.6 Prototipo D de los paneles prefabricados (Elaboración propia)

3.4 Mezcla de concreto

Una mezcla de concreto se diseña para producir concreto que pueda ser colocado fácilmente al menor costo. El concreto debe ser trabajable y cohesivo cuando está fresco. La mezcla de concreto ligero que se realizó sustituyendo el agregado grueso con perlititas de poliestireno sirvió para elaborar los especímenes y con ello conocer la resistencia mecánica de las probetas cilíndricas (cilindros de 15x30cm) y las probetas prismáticas (vigas de 50x15x15cm), cabe mencionar que no existe un método único de dosificación, más bien los resultados que se consigan serán adecuados cuando se hayan realizado las correcciones correspondientes mediante las pruebas adecuadas.

3.4.1 Dosificación de la mezcla

Para la realización de las dosificaciones de los diseños de mezcla se tomó como base la de un concreto de resistencia de 150 kgf/cm², a partir de esa dosificación propuesta se realizaron cuatro diseños más, obteniendo un total de cinco dosificaciones posibles encontrando en la última la adecuada para los fines de resistencia y baja densidad requeridos para esta investigación, ya que dichas mezclas también se probaron en los prototipos de paneles propuestos. En la tabla III.2 se muestran las dosificaciones de materiales de los cinco diseños de mezclas para 1m³ de concreto ligero a base de EPS reciclado para construcciones modulares, de las cuales debido al poco espacio proporcionado por una alta demanda de pruebas de laboratorio en la Facultad de Ingeniería de la UNACH se elaboraron 6 especímenes cilíndricos, 2 especímenes y 2 paneles del diseño del prototipo D de cada mezcla, para ser probados a 7, 14 y 28 días, obteniendo un total de 30 cilindros de 15x30cm, 10 vigas de 50x15x15cm y 10 paneles de prototipo “D” de 1x.60x.025m.

Tabla III.2 Dosificación de materiales de los diseños de mezcla para 1m³

No. De Mezcla	Arena (kg)	Cemento (kg)	Agua (Lt)	EPS(Lt)
M1	514.59	474.49	225.38	450.77
M2	625.47	576.73	273.94	547.89
M3	810.36	447.89	188.99	453.47
M4	986.74	545.38	230.13	552.17
M5	1034.04	571.53	241.16	578.64

*Elaboración propia

En la Tabla III.3, se muestra la dosificación de materiales necesaria para obtener la relación agua-cemento y su correspondiente resistencia a compresión simple, respecto a la dosificación de materiales de la mezcla 5 para 1m³ de concreto ligero a base de EPS reciclado, por lo que se utilizó lo correspondiente a la elaboración de 6 cilindros con dimensiones estándar de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, 2 vigas de dimensiones de 150 mm de base, 150 mm de altura y 450 mm de longitud y 2 paneles del prototipo “D” de 1m de largo, 0.60m de ancho y 0.025m de espesor. Obteniendo así las siguientes cantidades en volumen para la mezcla diseñada:

- 1 cilindro: 0.0053m³, 1 Viga: 0.01125m³, 1 Panel Prototipo D: 0.015m³
- Total: 6 cilindros: 0.0318m³, 2 vigas: 0.0225m³ y 2 Paneles D:0.03m³
- Siendo un total de 0.0843m³ de mezcla

Tabla III.3 Proporcionamiento para la mezcla de concreto ligero a base de EPS de desecho

Dosificación de materiales	
Cemento (kg)	48.18
Arena (kg)	87.17
Agua (lt)	20.33
Unicel (lt)	48.78

*Elaboración propia

3.4.2 Elaboración de la mezcla

Una vez determinado la cantidad de material a utilizar se procedió a la elaboración de la mezcla (Figura III.7) con base a las normas NMX-C-159-ONNCCE-2016 y NMX-C-161-ONNCCE-2013 y el llenado de probetas cilíndricas (Figura III.8).



Figura III.7 Materiales en la revolvedora para ser mezclados (Elaboración propia)



Figura III.8 Llenado de probetas cilíndricas (Elaboración propia)

3.5 Pruebas a compresión

La resistencia a compresión del concreto se mide para asegurar que el concreto cumpla con los requisitos de diseño y las especificaciones de la obra. Para probar la resistencia a compresión del concreto ligero se realizó el ensayo a compresión

de cada uno de los especímenes como lo indica la norma NMX-C-159-ONNCCE-2016, los cuales fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días respectivamente (Figura III.9), apegándose a los procesos de la norma NMX-C-109-ONNCCE-2013 y la NMX-C-083 ONNCCE-2014.

Para calcular la resistencia de los cilindros se hizo mediante la siguiente formula:

$$f'c = \frac{F}{At}$$

Dónde:

f'c = Es el esfuerzo máximo a compresión

F = Es la carga axial máxima en kgF

At = Área transversal del cilindro en cm²



Figura III.9 Ensayo a compresión de cilindros (Elaboración propia)

3.6 Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la atracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Para probar la resistencia a la flexión, se realizó usando una viga simple con carga en los tercios del claro (Figura III.10) conforme a lo establecido en la norma NMX-C-191-ONNCCE-2015.

Para determinar el módulo de ruptura de las vigas se utilizó la siguiente ecuación:

$$R = \frac{P L}{b d^2}$$

Dónde:

R = Es el módulo de ruptura, en kPa (kgF/cm^2)

P = Es la carga máxima aplicada, en N (kgF)

L = Es la distancia entre apoyos, en cm

b = Es el ancho promedio del espécimen, en cm

d = Es el peralte promedio del espécimen del espécimen, en cm



Figura III.10 Ensayo de resistencia a la flexión en viga (Elaboración propia)

3.7 Prueba de carga y descarga en paneles

De acuerdo con Urrutia (2011), generalmente las estructuras están sujetas a historias de cargas que varían en el tiempo, por ejemplo, de carácter cíclico, las que pueden provocar un proceso de deterioro progresivo de sus propiedades mecánicas. Las cargas de carácter variable en el tiempo pueden ocasionar daños en los elementos estructurales en servicio, lo que produce su falla a valores de tensión inferiores a los que provocan el colapso con cargas constantes o estáticas. La reducción de la resistencia y la posterior falla del material sometido a cargas repetidas se conoce como fatiga.

Cuando se somete el concreto a cargas fluctuantes en vez de que sean sometidas, su resistencia a la fatiga, al igual que para otros materiales, es considerablemente menor que su resistencia estática. Cuando el concreto simple se somete a esfuerzos de compresión que varían cíclicamente desde cero hasta un máximo esfuerzo, su límite de fatiga esta entre el 50 y el 60% de la resistencia a la compresión estática, se sabe que la resistencia a la fatiga del concreto no solo depende de su resistencia

estática sino también de las condiciones de humedad, de la edad y de la velocidad de aplicación de la carga (ITEA, 2014).

Así pues, se estableció someter los paneles de concreto ligero a ensayos por cargas cíclicas y probar su capacidad de resistencia. Para este proceso se comenzó colocando 4 apoyos para situar el panel en forma horizontal, estos apoyos se colocan en base a medidas de modo que queden perfectamente alineados con el panel, posteriormente se marcan las bases para definir la ubicación del panel el cual en este caso esta sostenido en 10 cm en cada esquina tal y como se muestra en la figura III.11.

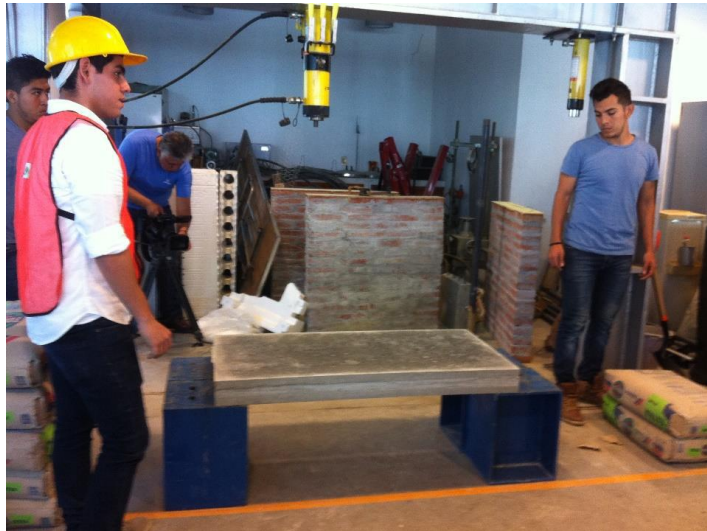


Figura III.11 Colocación del panel sobre los apoyos (Elaboración propia)

Una vez que se encuentra debidamente situado el panel, se comienza con el proceso de colocación de cargas cíclicas, para el caso de este proyecto se realiza por medio del apilamiento de bultos de cemento de 50 kg. Estas cargas se realizan colocando cada bulto a los mismos intervalos de tiempo, incluyendo un lapso de espera después de aplicación de la carga, en la figura III.12 se muestra el primer ciclo de carga aplicados a los prototipos diseñados.



Figura III.12 Primer ciclo de prueba de carga y descarga (Elaboración propia)

Para el segundo ciclo (Figura III.13) se repitió el procedimiento de aplicación de carga, tratando que a la hora de apilarse los sacos queden alineados a los de la primera fila, en este ciclo se comienza a percibir al esfuerzo del panel a casusa de la carga al que está sometido.



Figura III.13 Segundo ciclo de prueba de carga y descarga (Elaboración propia)

Se continuaron estas series de ciclos de carga y descarga, contándose el número de ciclos hasta el estado límite de rotura del elemento, el cual fue de 9 bultos de cemento equivalentes a 450 kg siendo la carga máxima soportada por los paneles como se muestra en la figura III.14.



Figura III.14 Carga máxima de soportada de la prueba de carga y descarga (Elaboración propia)

IV. Resultados obtenidos

En cuanto a los resultados obtenidos en las diferentes pruebas, se tienen en cuenta las tablas y gráficas que se presentan a continuación como resultado del desarrollo de esta investigación, las cuales representan tanto las pruebas mecánicas como físicas.

4.1 Análisis granulométrico

La granulometría más conveniente para el agregado fino, depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad.

El análisis granulométrico para esta investigación se realizó con base a la NMX-C-077-1997-ONNCCE, la cual se aplicó tanto para la arena como para el unicel. A continuación, en la tabla IV.1 y en la tabla IV.2 se presentan los resultados obtenidos del análisis granulométrico de la arena y el EPS respectivamente:

Tabla IV.1 Resultados de la prueba granulométrica de la arena

Mallas (Plg – mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje Enteros	% Acumulados	Lim. Superior	Lim. Inferior	% Que pasa
4 – 4.76	0	0	0	5	0	100
8 – 2.36	38.45	8	8	20	0	92
16 – 1.18	85.96	17	25	50	15	75
30 – 0.6	179.45	36	61	75	40	39
50 – 0.3	120.47	24	85	90	70	15
100 – 0.15	54.05	11	96	98	90	4
200 – 0.07	14.23	3	99	100	100	1
Charola	7.39	1	100	100	100	0
	500	100				

*Elaboración propia

Tabla IV.2 Resultados de la prueba granulométrica del EPS

Mallas (Plg – mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje Enteros	% Acumulados	% Que pasa
4 – 4.76	0	0	0	100
8 – 2.36	0.5	2	2	98
16 – 1.18	7.95	27	28	72
30 – 0.6	14.1	47	75	25
50 – 0.3	5.35	18	93	7
100 – 0.15	1.87	6	99	1
200 – 0.07	0.23	1	100	0
Charola	0	0	100	0

*Elaboración propia

4.2 Módulo de finura

Se realizó la obtención del módulo de finura de la arena y del EPS en base a la NMX-C-111-ONNCCE-2018, aplicándose respectivamente para cada uno de estos materiales (Tabla IV.3 y Tabla IV.4) de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla IV.3 Resultados del Módulo de finura de la arena

Mallas (Plg – mm)	Peso retenido (gr)	% Acumulados
4 – 4.76	0	0
8 – 2.36	38.45	8
16 – 1.18	85.96	25
30 – 0.6	179.45	61
50 – 0.3	120.47	85
100 – 0.15	54.05	96
		274
Módulo de finura	2.74	

*Elaboración propia

Tabla IV.4 Resultados del Módulo de finura del EPS

Mallas (Plg – mm)	Peso retenido (gr)	% Acumulados
4 – 4.76	0	0
8 – 2.36	0.5	2
16 – 1.18	7.95	28
30 – 0.6	14.1	75
50 – 0.3	5.35	93
100 – 0.15	1.87	99
		297
Módulo de finura	2.97	

*Elaboración propia

4.3 Peso volumétrico

Se realizó la prueba para determinar el peso volumétrico seco suelto y seco compactado de la arena (Tabla IV.6) y del EPS (Tabla IV.7), con base a la NMX-C-073-ONNCCE-2004, obteniendo los siguientes valores:

Tabla IV.5 Propiedades del recipiente de prueba para el peso volumétrico

Recipiente	Peso (kg)	Volumen (Lts)	Volumen (m³)
	2.486	2.665	0.002665

*Elaboración propia

Tabla IV.6 Resultados del Peso Volumétrico seco suelto y compactado de la arena

Material	Peso con recipiente (kg)	Peso (kg)	Peso volumétrico (kg/m ³)
Arena suelta	6.54	4.0563	1522.0638
Arena compactada	7.0221	4.5361	1702.1013

*Elaboración propia

Tabla IV.7 Resultados del Peso Volumétrico seco suelto y compactado del EPS

Material	Peso con recipiente (kg)	Peso (kg)	Peso volumétrico (kg/m ³)
EPS suelto	2.558	0.072	27.0169
EPS compactado	2.569	0.083	31.1445

*Elaboración propia

4.4 Gravedad específica

Se realizó esta prueba para conocer la gravedad específica de la arena utilizada, ya que es de las que se usa comúnmente en la mayoría de construcciones de esta ciudad, en la tabla IV.8 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla IV.8 Resultados de gravedad específica de la arena

W frasco Chapman (gr)	W frasco Chapman con material (gr)	W frasco Chapman con agua (gr)	Agua (ml)	Arena sat. Con sup. Seca (gr)	Cap. Del frasco (cm ³)
276	8813	6961	310	300	450
G.S. Arena (g/cm³)					
2.142857143					

*Elaboración propia

4.5 Absorción de la arena

Esta prueba se realizó con el fin de saber la cantidad de humedad que adquiere la arena al ser saturada, basándose en la NMX-C-165-ONNCCE-2014, en la tabla IV.9 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla IV.9 Resultados de la absorción de la arena

Material	Peso (gr)	Absorción
Material saturado (Superficialmente seco)	300	1.44 %
Material Secado al Horno (24 hrs)	295.75	

*Elaboración propia

4.6 Resistencia a compresión

La resistencia a compresión simple se determinó de los cilindros de concreto ligero con poliestireno expandido, los cuales fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días respectivamente, en la tabla V.10 se presentan las resistencias obtenidas. A la par se compararon los resultados con mezclas elaboradas de mortero convencional proporción 1:3 y con perlita comercial con la finalidad de aportar a la importancia de los paneles de concreto ligero a base de EPS de desecho y no de EPS comercial o mortero convencional. En las figuras IV.1, IV.2 y IV.3 se aprecia la composición y acomodo de los agregados de acuerdo al corte transversal de cilindros elaborados de dichas mezclas y en la tabla IV.10 se muestran los resultados a compresión promedio en los cilindros.



Figura IV.1 Corte transversal de muestra de mortero convencional (Elaboración propia)



Figura IV.2 Corte transversal de muestra EPS de desecho (Elaboración propia)

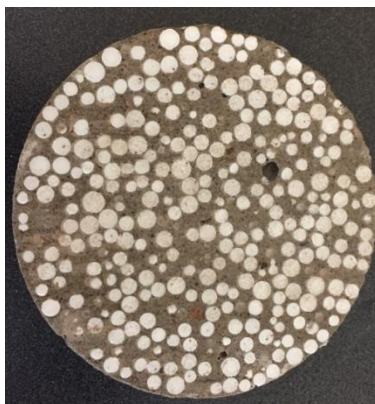


Figura IV.3 Corte transversal de muestra de EPS comercial (Elaboración propia)

Tabla IV.10 Resultados promedio de compresión en cilindros

Muestras	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (gr)	Edad (días)	Carga (kgf)	F _c (kgf/cm ²)	Densidad (gr/cm ³)
E1 – E2	15.01	30	176.93	5307.84	8750	7	15333	86.66	1.65
E3 – E4	15	30.01	176.69	5302.54	8520	14	17868	101.13	1.61
E5 – E6	15	30	176.71	5301.30	8680	28	20663	116.93	1.64

*Elaboración propia

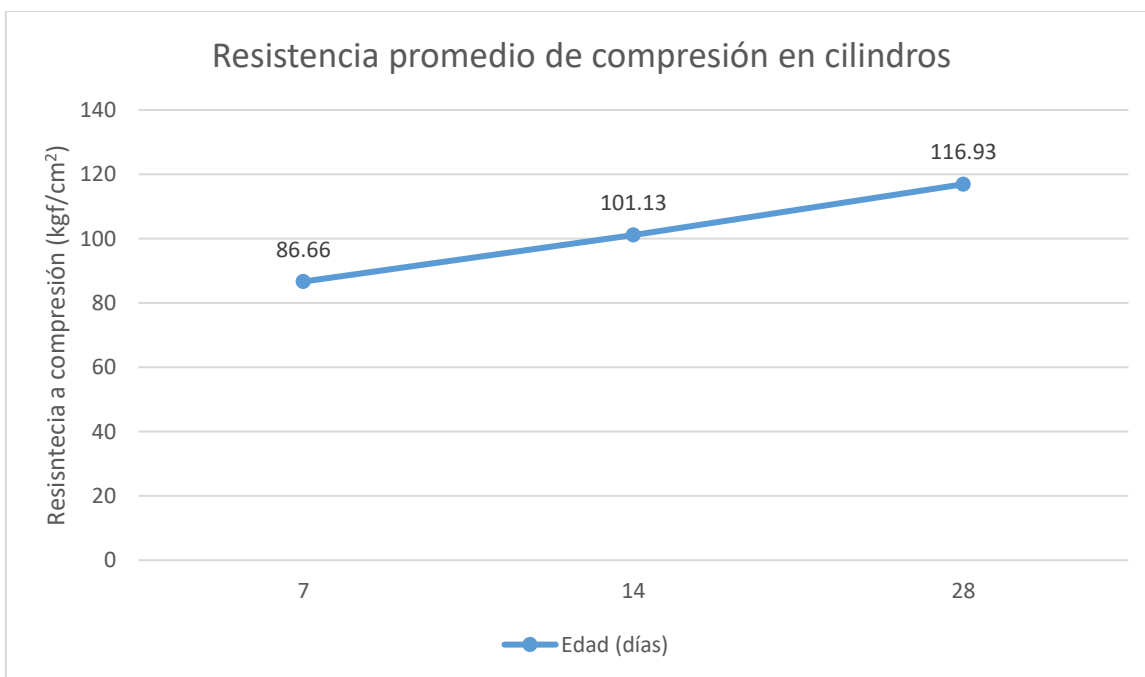


Figura IV.4 Gráfica de resistencia promedio de compresión en cilindros (Elaboración propia)

La resistencia a la compresión de los concretos ligeros es variable, de acuerdo al tipo específico de concreto, y varía de manera considerable de una clase a otra. Existen variaciones en resistencia que dependen de la relación agua/cemento

empleada, de su peso volumétrico, de su contenido de humedad y del tipo de fabricación. El concreto de resistencia moderada que abarca desde los concretos de agregado ligero de baja densidad hasta los estructurales. Su resistencia a compresión varía entre 70.40 kgf/cm² (6.9 MPa) y 176.51 kgf/cm² (17.3 MPa), analizando los resultados obtenidos de los cilindros de concreto ligero con perlitas de poliestireno expandido reciclado se puede observar que se encuentra dentro de este rango, de tal manera que cumple con los requisitos mínimos de resistencia a compresión para viviendas de interés social, que de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, menciona que se admitirán concretos con una resistencia de 150 kgf/cm² (15 MPa).

4.7 Resistencia a la flexión

Los resultados de resistencia a flexión de las vigas de concreto ligero con perlitas de poliestireno expandido reciclado, se curaron y ensayaron a 7, 14 y 28 días respectivamente al igual que los especímenes cilíndricos por ser de la misma dosificación en cuanto al diseño de mezcla, por lo que en lo referente a la resistencia a flexión, en la Tabla IV.11 se observan los resultados promedios obtenidos, de la cual se aprecia que el uso de EPS con dimensiones menores a 2mm, mejora la adherencia del concreto obteniéndose así un mejor desempeño a flexión.

Tabla IV.11 Resultados de resistencia a la flexión en vigas

Muestra	Largo (cm)	Alto (cm)	Área (cm²)	Volumen (cm³)	Peso (gr)	Edad (días)	Carga (kgf)	MR (kgf/cm²)	Densidad (gr/cm³)
Viga 1	50	15	750	11250	18700	28	2137	28.49	1.662
Viga 2	50	15	750	11250	18647	28	2112	28.16	1.657

**Elaboración propia*

4.8 Carga y descarga

En cuanto al ensayo por ciclos de carga en los paneles del prototipo C y al prototipo D, en la Tabla IV.12 se registran las características geométricas de las muestras, además de los números de ciclos y sus cargas, se realizó cada ciclo con cargas acumulativas de 100 kg con intervalos de descanso, en donde se retira la carga para observar la recuperación del panel, cabe aclarar que para los resultados obtenidos en la aplicación del ensayo de acuerdo a las especificaciones y métodos

de ensayo de la norma mexicana NMX-C-405-ONNCCE-2014 de “Paneles para uso Estructural” se alcanzaron para el Prototipo C cargas superiores a 500 kg y en virtud de los excelentes resultados del Prototipo C, se procedió a modificar el espesor, resultando con ello el Prototipo D variando únicamente el espesor respecto del panel anterior, 1.00 x 0.60 x 0.025 m. Alcanzando con ello hasta 450 kg en cargas cíclicas uniformemente repartidas siendo excelentes resultados positivos para esta investigación por sus grandes capacidades de carga que se encuentran dentro de la norma ya antes mencionada, en la figura IV.10 se muestran una gráfica donde se aprecia los ciclos de carga aplicados a cada panel y la carga soportada por cada ciclo.

Tabla IV.12 Resultados de ensayo de paneles a carga y descarga

Muestra	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	No. Ciclos	Carga Total
Prototipo C	1.00	0.60	0.050	6	550
Prototipo D	1.00	0.60	0.025	5	450

*Elaboración propia

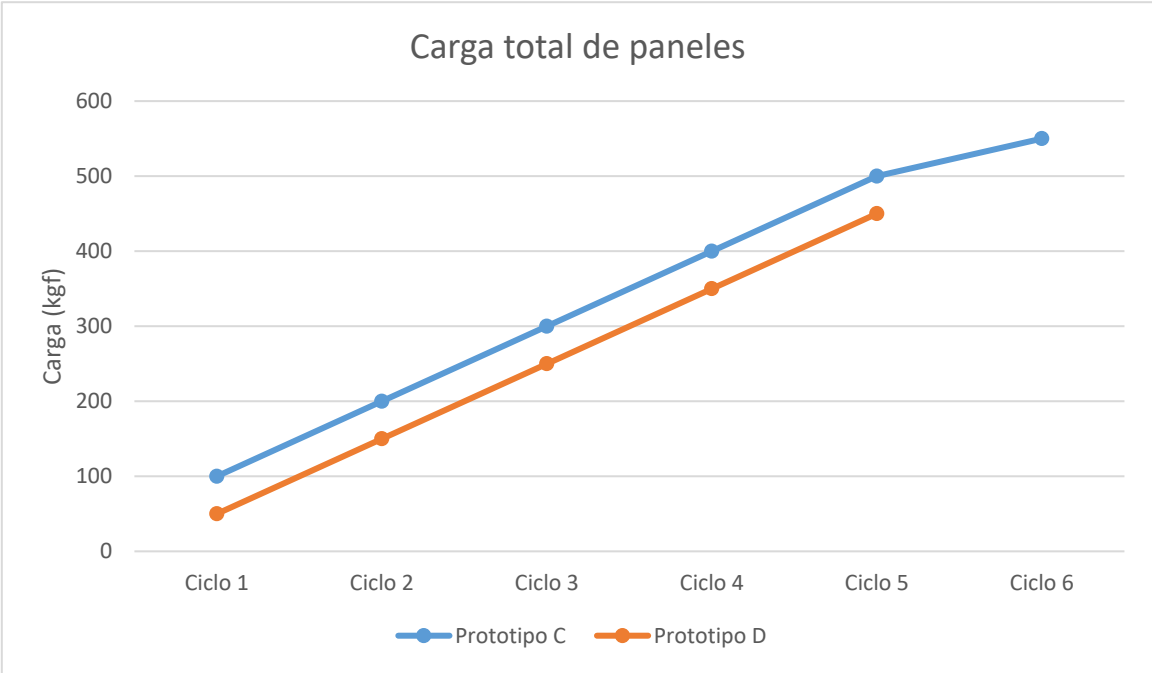


Figura IV.5 Gráfica de No. de ciclos y carga soportada (Elaboración propia)

V. Proceso Constructivo de paneles de concreto ligero a base de EPS reciclado para construcciones modulares

Un proceso constructivo se puede definir como un conjunto de fases sucesivas o solapadas en el tiempo, las cuales son necesarias para la materialización de una construcción, si bien es cierto que el proceso constructivo es muy particular para cada una de las obras que se puedan concebir, sí existen algunos pasos comunes que siempre se deben realizar. Para el proceso constructivo de los paneles de concreto ligero a base de EPS de desecho reciclado para construcciones modulares se consideran los detalles constructivos de las figuras V.1, V.2, V.3 y V.4 en las cuales se puede apreciar que se colocan los paneles diseñados para el prototipo “D” con medidas de 1.00m de largo x 0.60m de ancho x 1” de espesor, los cuales son ensamblados de manera horizontal.

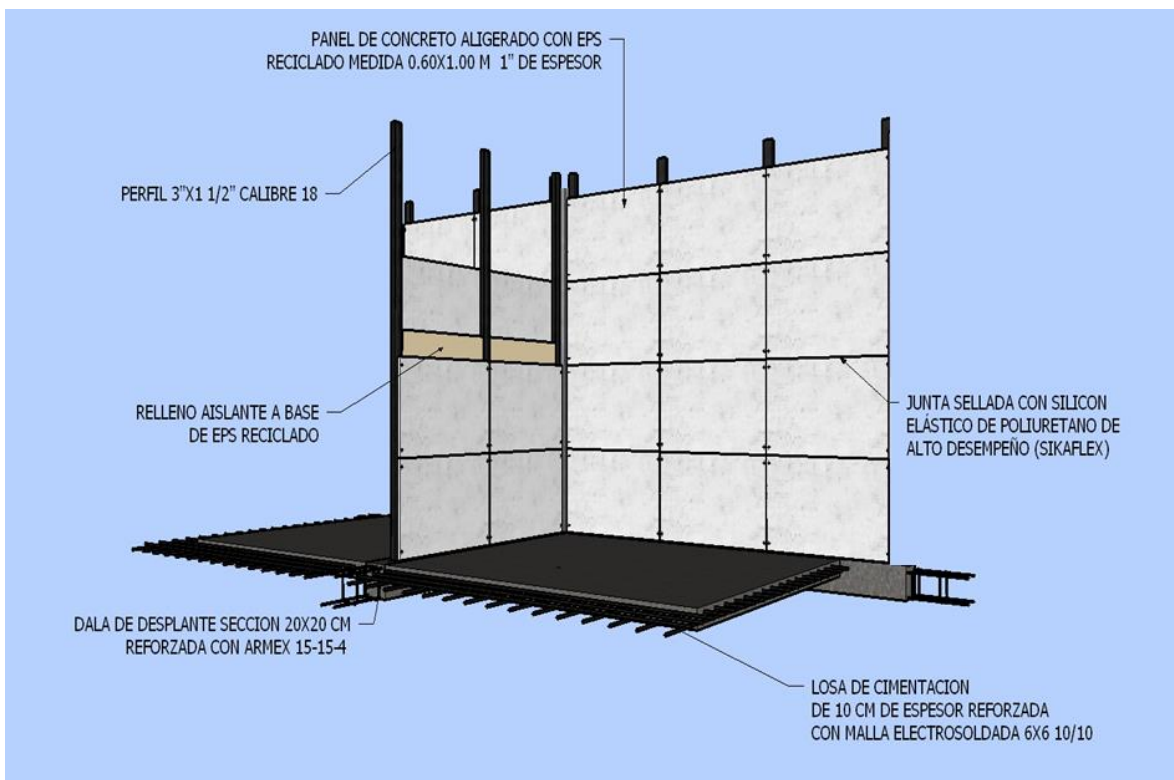


Figura V.1 Propuesta de proceso constructivo de paneles en horizontal vista 1 (Elaboración propia)

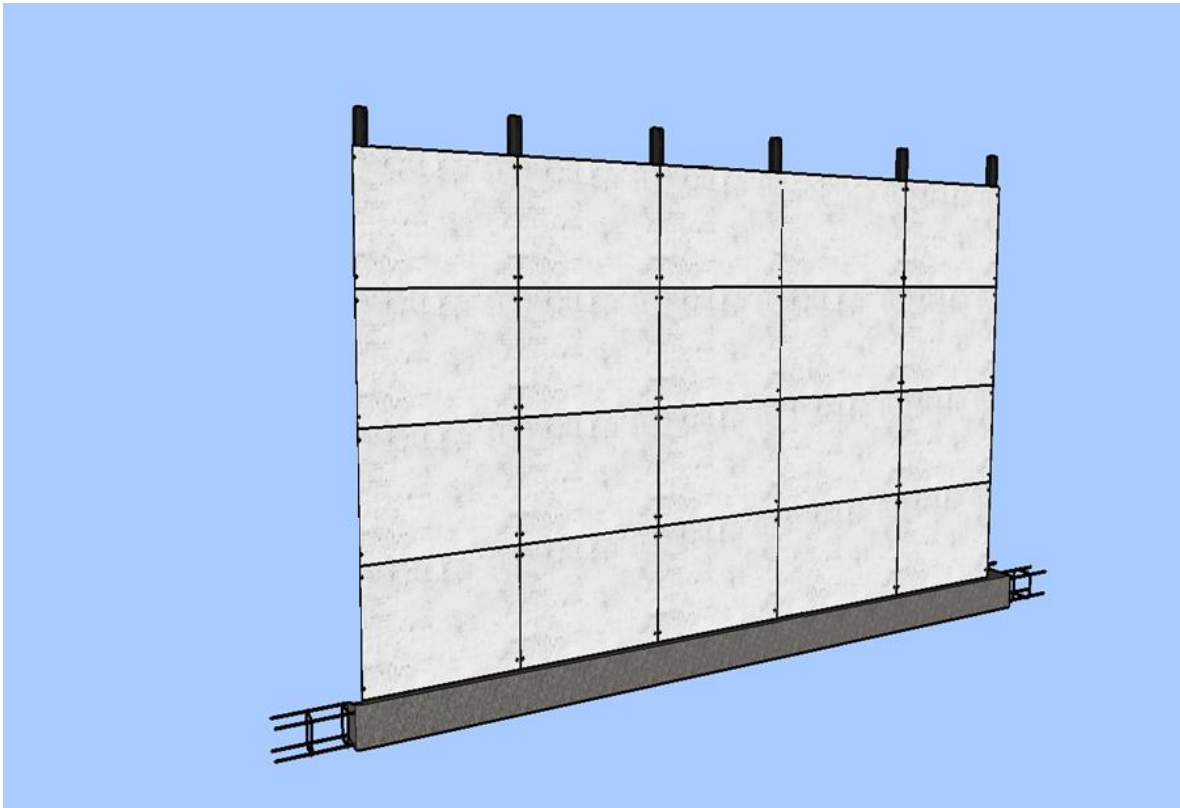


Figura V.2 Propuesta de proceso constructivo de paneles en horizontal vista 2 (Elaboración propia)

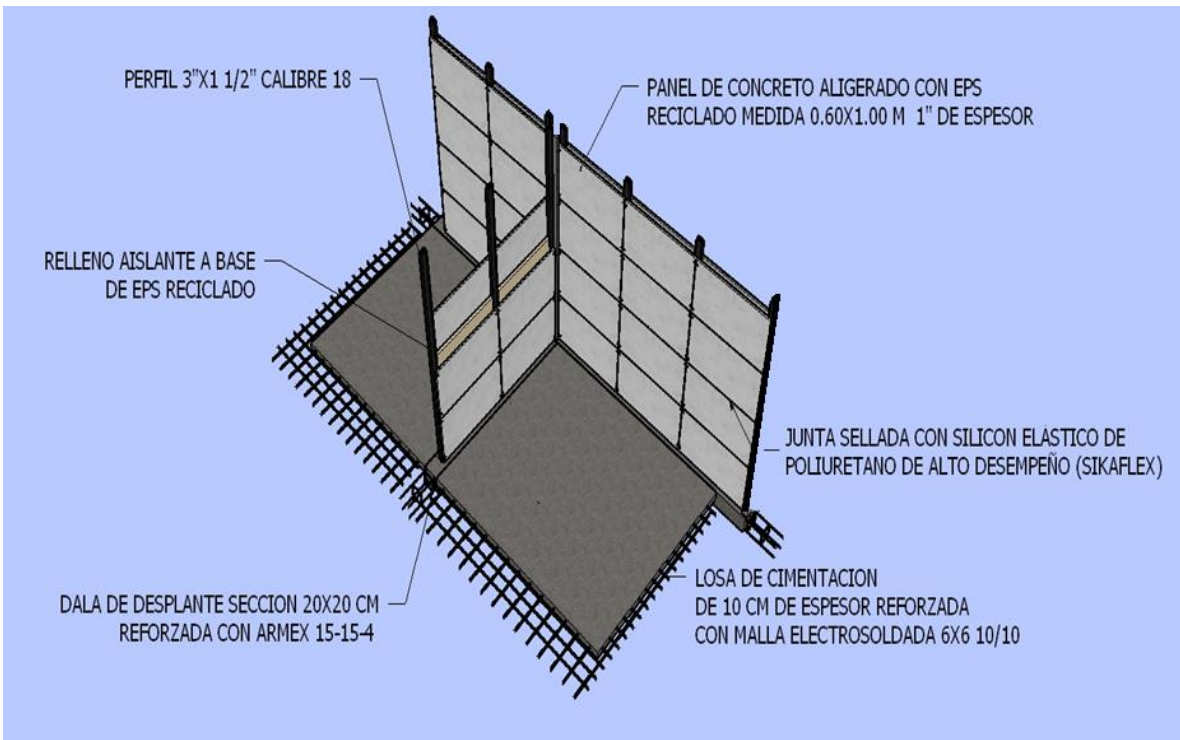


Figura V.3 Propuesta de proceso constructivo de paneles en horizontal vista 3 (Elaboración propia)

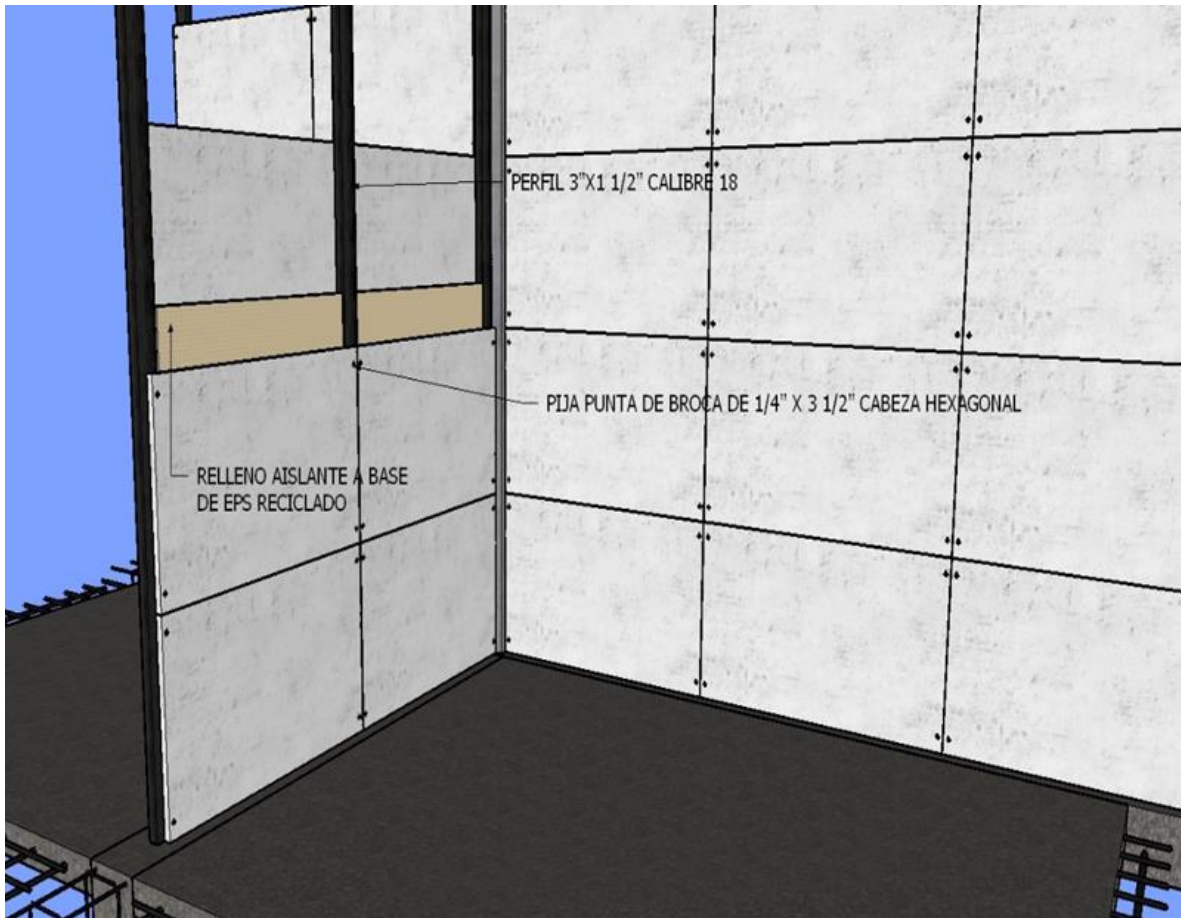


Figura V.4 Propuesta de proceso constructivo de paneles en horizontal vista 4 (Elaboración propia)

5.1 Preliminares

- Limpieza. -Inicialmente, se limpia la maleza existente, así como los árboles y arbustos que se encuentren en el área a desplantar la vivienda modular con paneles prefabricados a base de EPS de desecho, este proceso se puede realizar de manera manual con herramientas menores o con medios mecánicos dependiendo del tamaño del área a construir.
- Despalme. -Posteriormente de limpiar de malezas el terreno, se comienza con el despalme del mismo con una profundidad de 30 a 40 cm según la vegetación existente, con el propósito de extraer todas las raíces y el terreno vegetal que se encuentre en el área de desplante de la vivienda, de igual manera este proceso se puede realizar a mano, con herramientas menor o con medios mecánicos de acuerdo al tamaño del área a construir.

- Relleno y compactación. -Una vez que se tiene despalmado el terreno se procede al relleno y compactación del mismo con material mejorado traído de un banco fuera de la obra (caliche) el espesor será de acuerdo al diseño y la compactación al 90% prueba PROCTOR, este proceso se hará en capas de 20 cm, agregando el agua necesaria para alcanzar la compactación de diseño, este proceso se puede realizar con equipo manual, (bailarinas compactadoras) o con rodillo vibratorio determinado por el tamaño del área a construir.
- Trazo y nivelación. -Después de tener el terreno con el desplante necesario de proyecto y la compactación adecuada, se procede el trazo y la nivelación del área a construir tomando en cuenta todos los ejes horizontales y verticales que se vayan a realizar, tomando en cuenta el nivel de desplante de la construcción que se haya diseñado para evitar inundaciones en épocas de lluvias, este proceso se puede realizar de manera manual o con un equipo de Topografía y estación Total GPS.

5.2 Cimentaciones

- Losa de cimentación. -Una vez realizados los trabajos preliminares se continua con la cimentación de la vivienda, ya que se tiene el trazo del área a construir, se procede al cimbrado, armado y colado de la Losa de Cimentación así como de las Cadenas de Desplante de muros, anclando en ellas los perfiles de 3" x 1 ½" calibre 18 para consolidar la estructura que van a formar los muros según la orientación de colocación de los paneles de acuerdo al diseño del prototipo D, pudiendo ser de manera horizontal con una distancia a cada 1m o de manera vertical con una distancia a cada .60m, también se procede a colocar las instalaciones hidráulicas , sanitarias y eléctricas que lleve el proyecto, estas se deben instalar antes de colar la losa y el piso de la vivienda.

5.3 Albañilería

- Muros, cadenas y castillos. -Una vez que se ha realizado la Cimentación, se procede a la instalación de los muros con los paneles prefabricados fijándolos

a los perfiles tubulares ya anclados en las cadenas de desplante, de esta manera se forman todas las paredes en exteriores e interiores, considerando el trazo del proyecto que indican altura y localización de los mismos, dentro de la albañilería se considera también el armado de la estructura a base de perfiles metálicos que van a sostener la losa armada con los paneles prefabricados que marque el proyecto.

5.4 Instalaciones

- Instalaciones hidráulica, sanitaria y eléctrica. -Después de terminar la Obra gruesa de Albañilería se procede a la colocación de todas las instalaciones, hidráulicas, sanitarias y eléctricas en muros y losas siguiendo los planos de instalaciones, así como las acometidas del agua potable, Energía Eléctrica y descargas de aguas negras a la red municipal.

5.5 Herrería, balconería y aluminio

- Puertas, ventanas, barandales. -Después de realizar todas las instalaciones se procede a realizar toda la herrería en puertas, ventanas, barandales, así como la balconería y el aluminio según indique el plano correspondiente.

5.6 Acabados

- Aplanados, pisos, texturizados. -Una vez que se han realizado todas las instalaciones se continua a dar el acabado final con el objetivo que todo quede en excelentes condiciones, se realizan los aplanados en muros, los cuáles pueden realizarse con acabado texturizado de diferentes figuras según el área de donde se gusten colocar, aunque los paneles por sí mismos ofrecen dos tipos de acabados por sí solos, uno pulido y otro rústico dependiendo de que acabado se requiere para el interior o el exterior.

5.7 Ajustes Electromecánicos

- Electromecánicos. -Se procede con la finalización de los ajustes mecánicos en hidroneumáticos, baños, boiler etc. También la instalación de hidroneumáticos o jacuzzi si fuera necesario.

5.8 Obra exterior y jardinería

- Obra exterior, jardines, estacionamiento. - Después de efectuar los acabados, se procede a realizar la obra exterior como lo son arriates, guarniciones, estacionamiento y jardinería en general con el propósito de darle una agradable vista y acabado de primera a la vivienda modular.

En relación a lo que se mencionó en el apartado de cimentaciones, de igual manera se elaboró una segunda propuesta de Proceso Constructivo de Paneles de Concreto Ligero a base de EPS Reciclado para Construcciones Modulares, en la cual la diferencia más notoria es el ensamblaje de paneles prototipo “D” con medidas de 1.00m de largo x 0.60m de ancho x 1” de espesor, ensamblados en forma vertical como se muestra en las figuras V.5 y V.6 y para la cual se considera el detalle constructivo de las figuras V.7, V.8, V.9 y V.10 considerando el mismo proceso constructivo propuesto anteriormente.



Figura V.5 Propuesta de proceso constructivo 2 ensamble de paneles en vertical vista 1 (Elaboración propia)



Figura V.6 Propuesta de proceso constructivo 2 ensamble de paneles en vertical vista 2 (Elaboración propia)

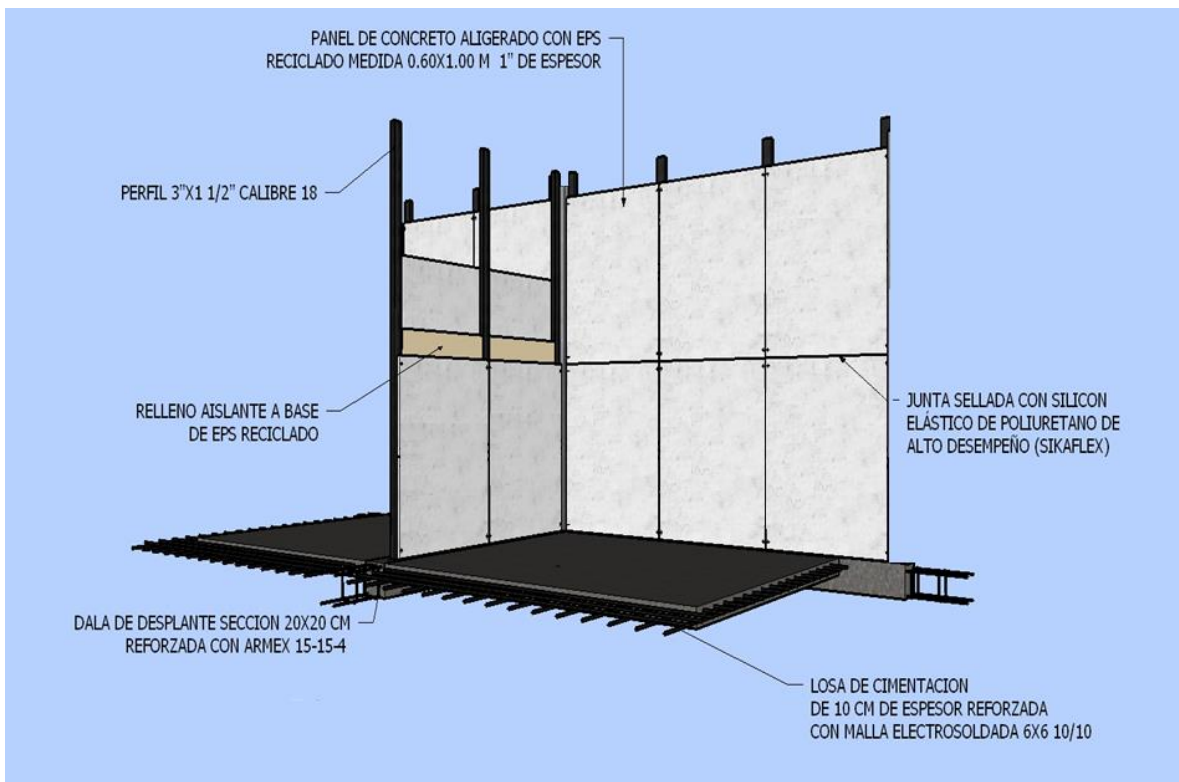


Figura V.7 Propuesta de proceso constructivo de paneles en vertical vista 1 (Elaboración propia)

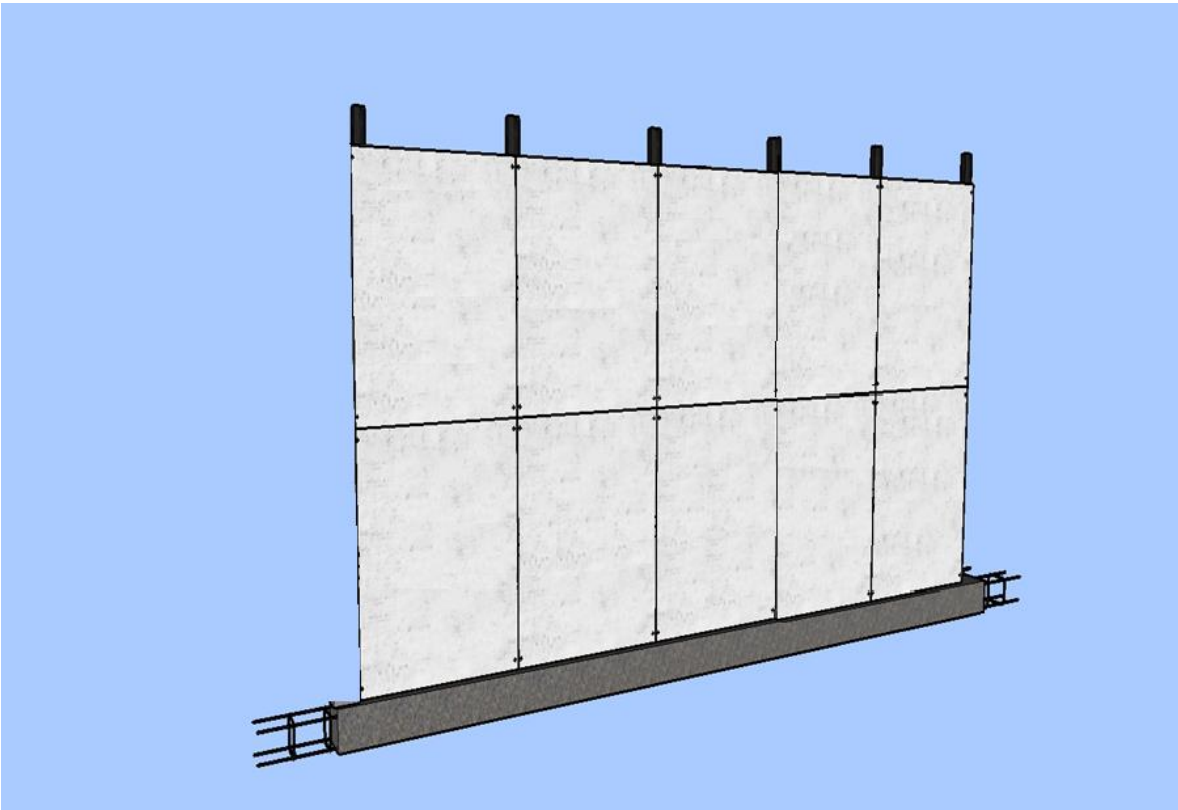


Figura V.8 Propuesta de proceso constructivo de paneles en vertical vista 2 (Elaboración propia)

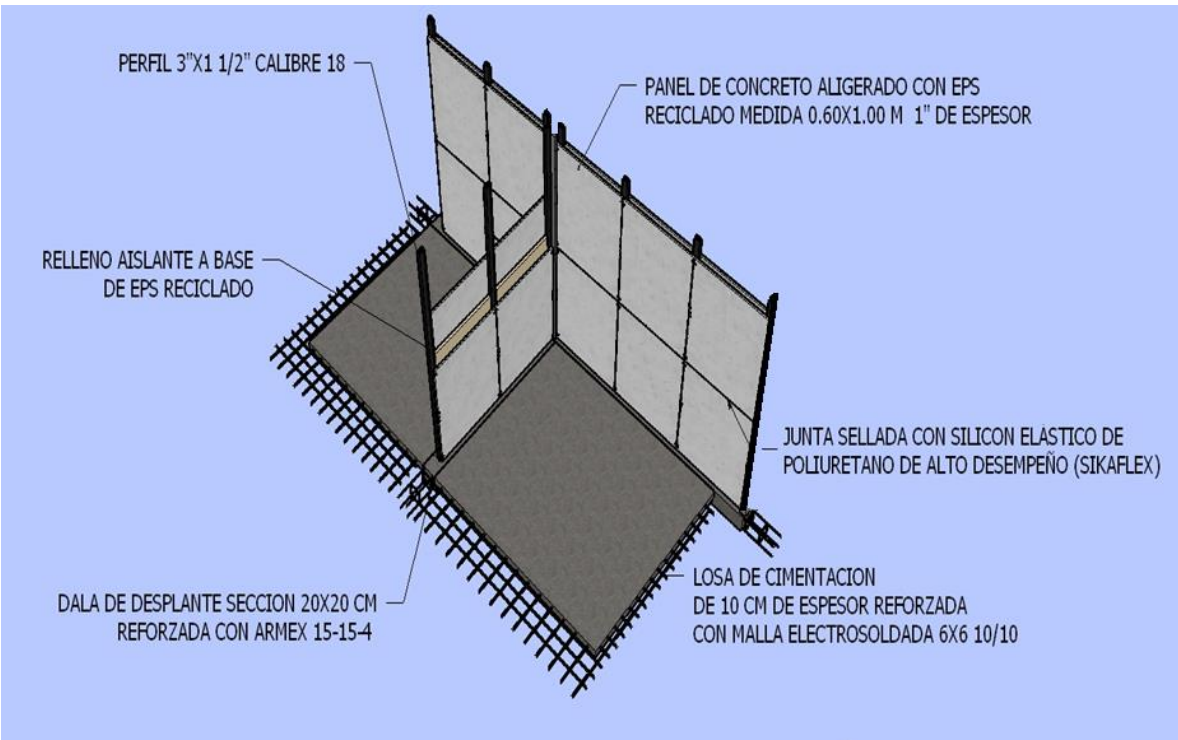


Figura V.9 Propuesta de proceso constructivo de paneles en vertical vista 3 (Elaboración propia)

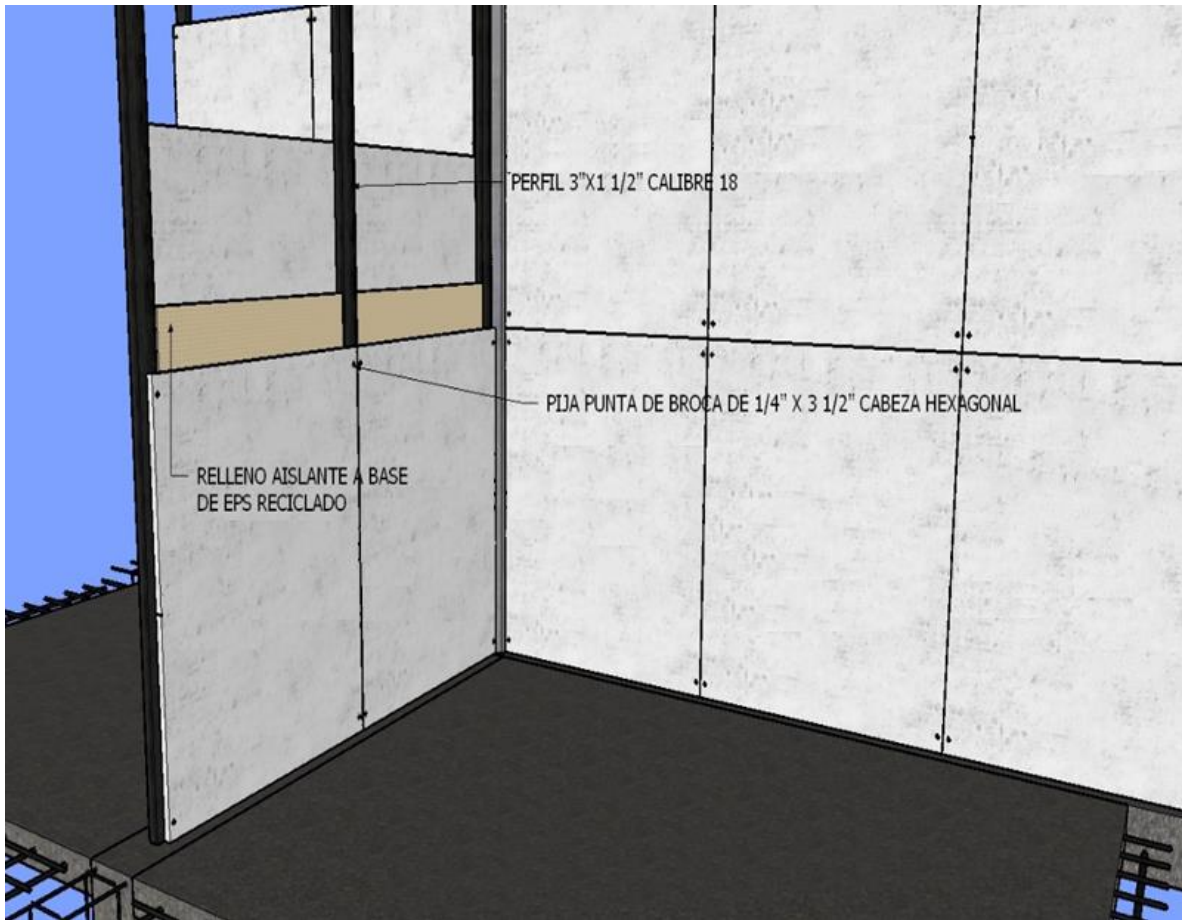


Figura V.10 Propuesta de proceso constructivo de paneles en vertical vista 4 (Elaboración propia)

VI. Conclusiones y líneas futuras de investigación

Los resultados obtenidos en este trabajo confirman que es posible realizar viviendas modulares a base de paneles ecológicos a base de EPS de desecho, de tal manera que con su ligereza y resistencia permitirán un proceso constructivo con mayor eficiencia y así aumentar la productividad de los instaladores ya que es más fácil de transportar, manejar e instalar a base de ensambles de cada panel.

El uso de materiales de desecho de EPS en la construcción, representan una opción de procesos constructivos destinado a un nuevo material, los cuales ayudan a disminuir la contaminación generado por este tipo de desecho y a su reutilización en la fabricación de paneles se presenta como una alternativa de elemento estructural para viviendas de interés social o modulares garantizando la seguridad y la durabilidad del mismo.

La construcción de viviendas modulares usando paneles ligeros es una solución ecológica debido a que se usa uno de los materiales que menos se reciclan en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, así también al ser elementos ligeros disminuyen la carga transmitida al suelo disminuyendo el tamaño de la cimentación.

Después de revisar la bibliografía disponible, se encontró la normativa “ACI 213R. (2014). Guide for structural lightweight aggregate concrete, American Concrete Institute. Detroit, USA” la cual se considera un aporte importante en esta investigación pues se percibe que los concretos ligeros estructurales ya son una realidad, por lo que los paneles de concreto ligero a base de EPS reciclado muestran un alto potencial en la industria de la construcción.

El concreto ligero a base de EPS presenta una menor resistencia que el concreto convencional, y aunque limita sus aplicaciones en el campo estructural a grandes edificaciones como torres o edificios corporativos de mayor altura, es posible utilizarse en construcciones modulares para fines de vivienda en forma de paneles como se presenta en esta investigación, para lo que cumple de forma adecuada y factible debido a su bajo costo de producción (al disminuir los costos del agregado grueso ya que presenta una mayor demanda en comparación con los demás

materiales en la producción de concreto convencional) e implementación (en la disminución de los costos de mano de obra al ser una construcción fácil, rápida y segura). En este sentido no se debe descartar la idea de en un futuro cercano podamos contar con grandes construcciones a base de concretos ligeros y por supuesto con paneles a base de EPS reciclado.

Referencias

- American Concrete Institute. (1999). *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete*. Detroit, Michigan, USA: Manual of Concrete Practice.
- American Society for Testing Materials. (1990). *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by use of sodium sulfate and magnesium sulfate*. USA: Annual Book of ASTM Standard.
- American Society of Testing and Materials. (1995). *Standard specifications for moist cabinets, moist rooms, and water storage tanks used in the testing of hydraulic cements and concrete*. Philadelphia, USA: Annual Book of Standards, Vol. 4.02 Construction.
- Arellano, Z. J. (2012). Proceso constructivo de muros prefabricados para una nave industrial. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Autónoma de México, México, D.F.
- ARQHYS. (2012). Los prefabricados. *ARQHYS*.
- ASTM. (2015). *Standard specification for chemical admixtures for concrete*. USA: American Society for Testing Materials.
- Avecillas Ríos, D. R. (2016). Alternativa estructural - constructiva de entrepisos y techos de hormigón armado con bloques de poliestireno expandido. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Ayala, J. (1970). Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los concretos ligeros. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad de Sonora, Sonora.
- Callejas, S. B. (2008). Evaluación del desarrollo de vivienda modular de nivel medio, como proyecto de inversión, en Cuautitlán Izcalli, Estado de México. (*Tesis de Especialidad*). Instituto Politécnico Nacional, México.

- Carrillo, J., & Alcocer, S. M. (2012). Revisión de criterios de sostenibilidad en muros de concreto para viviendas sismorresistentes . *Ingeniería Investigación y Tecnología, Volumen XIII, 04* .
- Chen, B., & Liu, N. (2013). *A novel lightweight concrete-fabrication and its thermal and mechanical properties*. Construction and Building Materials.
- CONCREMEX. (2019). *Concreto ligero* . Obtenido de <http://www.concretolasilla.com/ConcretoLigero.html>
- Confort Construcción Eficiente Personalización de Proyectos. (2010). *Construcciones modulares prefabricadas: Versatilidad y fiabilidad, soluciones rápidas y de calidad*. Construcciones Modulares Edificación Industrializada .
- Contreras Sutherland, M. C. (2016). Diseño de mezcla de concreto a base de perlas de poliestireno expandido como agregado para la elaboración de bloques destinado a mampostería de concreto aligerado. (*Tesis de grado*). Universidad Nueva Esparta, Caracas, Venezuela.
- Cook, D. J. (1972). *Expanded Polystyrene beads as lightweight aggregate for concrete*. School of Civil Engineering, University of New South Wales.
- Duran, A. (2004). Comparación de los sistemas constructivos vipanel, sidepanel y M2, en el campo de la construcción en el estado de Zulia, Venezuela. (*Tesis de Especialidad en Construcción de Obras Civiles*). Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo.
- Geología online* . (28 de junio de 2017). Obtenido de <https://www.geologiaonline.com/2017/06/escoria-que-es-formacion-datos-y-mas.html>
- Gobierno Federal. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*.
- Gutiérrez, D. L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Centro de publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

- Hohwiller, F., & Kohling, K. (1969). *Hormigon ligo de Styropor. Materiales de construcción*. Instituto Eduardo Torroja.
- Hroa, J. (2010). *Fachadas prefabricadas de paneles pesados*. I.E.T.S Arquitectura de Sevilla, España.
- Huerta, R. (Diciembre de 2004). *Concretos Ligeros*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/ct2009/jul09/tecnologia.htm>
- IMCYC. (Julio de 2007). Obtenido de El concreto en la obra Problemas, causas y soluciones, Concreto sin fino: <http://www.imcyc.com/ct2007/jul07/PROBLEMAS.pdf>
- INEGI. (2014). Anuario Estadístico del Estado de Chiapas, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Chiapas, México.
- INEGI. (2019). *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/>
- Jiménez, G. (2012). *Viviendas prefabricadas modulares con el Sistema Steel Framing para el área metropolitana de la Ciudad de México*. México, D.F.: UNAM.
- Jones, M. R., & McCarthy, A. (2005). Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural. *Magazine of concrete Research*, 21-31.
- Kosmatha, S., & Panarese, W. (1992). *Diseño y control de mezclas de concreto*. México, D.F.: IMCYC.
- Lamond, J. (1993). *Durability of concrete pavements*. Memoria del Seminario Internacional sobre Tecnología del Concreto.
- Lhamas Coelho, G. (2010). *La construcción y los aspectos ambientales*. Construcción y Tecnología.
- Lituma, M. C., & Zhunio, B. T. (2015). Influencia de las perlas de poliestireno expandido (EPS) en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad de Cuenca, Ecuador.

- Liu N., & Chen, B. (2014). *Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete*. Science Direct.
- López Avila, M. A. (2013). *Evaluación de los procesos de corrosión en concretos aligerados con EPS expuestos en medios simulados y reales*. Xalapa, Veracruz.
- López, M. (2013). *Evaluación de los procesos de corrosión en concretos aligerados con EPS expuestos en medios simulados y reales*. Xalapa, Veracruz.
- Lynwood, C. (2014). *Polystyrene: Synthesis. Characteristics and applications*. Nova Science, Inc.
- Méndez, P. (2014). El negocio desperdiciado en el reciclaje del unicel. *Veoverde*.
- Mendoza Sánchez, J. F. (2014). *Criterios de sustentabilidad para carreteras en México*. México: Sanfandila: Publicación Técnica No. 392, Instituto Mexicano del Transporte.
- Miled, K., Sab, K., & Le Roy, R. (2007). *Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: Experimental Investigation and Modelling*. Mechanics of Materials.
- Neville, A. M. (1977). *Tecnología del concreto*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete*. Harlow, England: Pearson.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (1998). *Tecnología del concreto*. México: Trillas.
- Neville, A., Brooks, J., Pineda Sánchez, R., & Pastrana Román, E. (1999). *Tecnología del concreto*. México: Trillas.
- O'Reilly, V. (1990). *Método para dosificar mezclas de hormigón*. Científico-Técnico.
- Poliestireno Expandido* . (22 de Octubre de 2005). Obtenido de Textos científicos: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno-expandido>

Poliestireno Expandido. (2005). Obtenido de <http://textoscientificos.com/poliestireno-expandido>

Pulselli, R. M., Simoncini, E., Ridolfi, R., & Bastianoni, S. (2008). *Specific emergy of cement and concrete: An energy-based appraisal of building materials and their transport*. Ecological Indicators.

Qualylosa. (2016). Obtenido de <http://www.covintec.com/qualylosa-4-3-25m-4-06m-y-5-01m/>

Quesada Víquez , N. M. (2014). Estudio exploratorio en diseños de mezclas de concreto liviano para Holcim (Costa Rica) S.A. (*Tesis de Licenciatura*). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

Reyes, A. B. (2013). Análisis comparativo de costos entre losa prefabricada vigueta bovedilla, losacero y losa nervada con material de relleno; para la construcción de viviendas en la república de Guatemala. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad de San Carlos Guatemala, Guatemala.

Reynosa Morales, L. M. (2017). *Valoración técnico-ambiental en la producción de concreto hidráulico para pavimentos urbanos usando eMergía en Tuxtla Gutierrez Chiapas, México*. Gómez Palacio, Durango: Universidad Juárez del Estado de Durango.

Rodríguez Chico, H. E. (2017). Concreto liviano a base de poliestireno expandido para la prefabricación de unidades de albañilería no estructural - Cajamarca. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

Romero, S. L., & Laguna, T. C. (2017). Estudio técnico para la elaboración de paneles de concreto ligero a base de EPS reciclado como agregado grueso para viviendas modulares. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla, Gutierrez, Chiapas, México .

Rosales , V. J. (2005). Analisis comparativo de costos entre el sistema de losas prefabricadas vigueta y bovedilla, losas densas y losa-acero. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

- Secretaria de Comunicaciones y Transportes. (1987). *Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipos y sistemas*. México: Pavimentos, carreteras y aeropistas Tomo I.
- SEMARNAT . (3 de Diciembre de 2015). Obtenido de Sistema Nacional de informacion Ambiental y de Recursos Naturales : http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/informe_2012.pdf
- Short, A., & Kinniburgh W. (1997). *Concreto ligero*. México, D.F.: Limusa-Wiley.
- Short, A., & Kinniburgh, W. (1963). *Lightweight concrete*. CR books.
- Subhan. (2006). *Lightweight High Strength Concrete with Expanded Polystyrene Beads*. Obtenido de MEKTEK: <http://jurnal.untad.ac.id>
- Sundolitt. (2013). *Extruded polystyrene board*. Obtenido de <http://www.sundolitt.se/produkter/xps/sundolitt-xps-700>
- Técnicas en la construcción*. (2013). Obtenido de http://www.diaterm.com/appl/botiga/client/img/pdf/propiedades%20del%EPS_KNAUF%20THERM%20Th
- Textos Científicos. (2005). *Reciclado de Poliestireno Expandido*. Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno/reciclado>
- Trujillo, L. O. (2010). *Análisis experimental de un sistema constructivo innovador para vivienda económica en zonas sísmicas*.
- UPEL. (2016). *Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales*. Universidad Pedagógica Experimental Libertadora.
- Veoverde. (2016). *Veoverde*. Obtenido de <https://www.veoverde.com/2014/01/el-negocio-desperdiciado-en-el-reciclaje-del-unicel/>
- Vidal Almonacid, F. G. (2010). Caracterización y evaluación del comportamiento de hormigones livianos, usando como materia prima poliestireno expandido modificado (MEPS). (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile .

Villasmil, M., & Rodriguez, I. (2012). *Comportamiento mecánico de concretos elaborados con sustitucion del agregado grueso por poliestireno expandido*. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela .

Zuluaga Molina, F. J. (2013). Evaluación del comportamiento del concreto elaborado con desechos de icopor. (*Titulo de especialista de estructuras*). Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito, Bogotá.