



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**UTILIZACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO
AGREGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MATERIAL YESO**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: MAYBETH ALEJANDRA JANETA LAZO

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

UTILIZACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO AGREGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MATERIAL YESO

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: MAYBETH ALEJANDRA JANETA LAZO

DIRECTOR: Ing. PAÚL GUSTAVO PALMAY PAREDES

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, Maybeth Alejandra Janeta Lazo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Maybeth Alejandra Janeta Lazo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de marzo del 2021



Maybeth Alejandra Janeta Lazo
060419386-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: investigativo, **UTILIZACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO AGREGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MATERIAL YESO**, realizado por la señorita: **MAYBETH ALEJANDRA JANETA LAZO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. /PhD. Raúl Leandro Dávalos Monteiro PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: RAUL LEANDRO DAVALOS MONTEIRO	2021-09-02
Ing Paúl Gustavo Palmay Paredes DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: PAUL GUSTAVO PALMAY PAREDES	2021-09-02
Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS	2021-09-02

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios, quien ha estado conmigo durante toda mi vida, siendo él el eje fundamental de guía y apoyo en todos estos años de estudio. También, se lo dedico a mi familia que a pesar de las dificultades siempre han sabido apoyarme y enseñarme a ser perseverante en este largo camino.

Maybeth

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios mi padre, mi guía y mi fortaleza a lo largo de la vida. A mi familia, amigos, familiares y en especial a mi padre quien me han ayudado siempre y en todo momento para que pueda cumplir mis objetivos. Finalmente agradezco al Ing. Paúl Palmay y a la Ing. Linda Flores por compartirme sus conocimientos a través de la guía y orientación en el desarrollo del trabajo.

Maybeth

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1. Antecedentes de la investigación	5
1.2. Marco Conceptual o Glosario.....	7
<i>1.2.1. Plástico</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2. Plásticos espumados</i>	<i>7</i>
<i>1.2.3. Poliestireno</i>	<i>8</i>
<i>1.2.3.1. Poliestireno expandido.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.3.1.1. Propiedades químicas</i>	<i>9</i>
<i>1.2.3.1.2. Propiedades Físicas</i>	<i>10</i>
<i>1.2.3.1.3. Propiedades Biológicas</i>	<i>13</i>
1.2.4. Yeso	13
<i>1.2.4.1. Propiedades del Yeso</i>	<i>13</i>
<i>1.2.4.1.1. Propiedades Físicas</i>	<i>13</i>
<i>1.2.4.1.2. Propiedades Químicas.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.4.1.3. Aplicación en la construcción</i>	<i>14</i>
1.2.5. Biocompuestos	14
<i>1.2.5.1. Fibras naturales</i>	<i>14</i>

1.2.6. <i>Acoplante</i>	15
1.2.7. <i>Placas de yeso laminado</i>	15
1.2.7.1. <i>Fabricación de placas de yeso</i>	17
1.2.7.2. <i>Tipos de placas</i>	17

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO	18
2.1. Hipótesis y especificación de las variables	18
2.1.1. <i>Hipótesis General</i>	18
2.1.2. <i>Hipótesis Específicas</i>	18
2.2. Identificación de Variables	18
2.3. Operacionalización de Variables.....	19
2.4. Matriz de Consistencia.....	22
2.5. Tipo y Diseño de Investigación	24
2.5.1. <i>Método inductivo</i>	24
2.5.2. <i>Método deductivo</i>	24
2.5.3. <i>Método experimental</i>	24
2.6. Unidad de Análisis.....	26
2.7. Población de Estudio.....	26
2.8. Tamaño de Muestra	26
2.9. Selección de muestra	26
2.10. Técnicas de Recolección de Datos	27
2.10.1. <i>Recolección de materia prima</i>	27
2.10.2. <i>Caracterización de poliestireno expandido reciclado</i>	27
2.10.2.1. <i>Determinación a la resistencia de flexión</i>	27
2.10.2.2. <i>Determinación a la resistencia de compresión</i>	28
2.10.2.3. <i>Determinación de tracción</i>	29
2.10.2.4. <i>Determinación de Espectroscopia de Transmisión de Infrarrojo</i>	29
2.10.3. <i>Elaboración de placas de yeso con adición de poliestireno expandido</i>	30
2.10.3.1. <i>Determinación de la relación agua/yeso</i>	30
2.10.3.2. <i>Determinación del tiempo de fraguado</i>	31
2.10.3.3. <i>Dosificación</i>	32
2.10.4. <i>Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del producto</i>	32
2.10.4.1. <i>Determinación de la resistencia de flexión</i>	32
2.10.4.2. <i>Determinación de la deformación bajo carga</i>	33

2.10.4.3. <i>Determinación de la dureza superficial de la placa</i>	33
2.10.4.4. <i>Determinación de la densidad aparente</i>	34
2.10.4.5. <i>Microscopía electrónica de barrido</i>	34

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
--	-----------

3.1. Parámetros para la elaboración de placas de yeso	36
3.1.1. <i>Relación agua/yeso</i>	36
3.1.2. <i>Tiempo de fraguado</i>	36
3.2. Caracterización del poliestireno expandido reciclado	38
3.2.1. <i>Densidad del Poliestireno Expandido Reciclado</i>	38
3.2.2. <i>Determinación de Espectroscopía Infrarroja FT-IR</i>	38
3.2.3. <i>Ensayo resistencia a la compresión</i>	41
3.2.4. <i>Ensayo de flexión</i>	42
3.2.5. <i>Ensayo de tracción</i>	43
3.3. Análisis estadístico	44
3.4. Resultados de la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas	46
3.4.1. <i>Resultados de la densidad aparente</i>	46
3.4.2. <i>Resultados del ensayo de flexión</i>	46
3.4.3. <i>Resultados de ensayo de deformación bajo carga</i>	49
3.4.4. <i>Resultados del ensayo de dureza superficial</i>	53
3.4.5. <i>Resultado del ensayo de microscopia electrónica de barrido</i>	54

CONCLUSIONES	56
---------------------------	-----------

RECOMENDACIONES	57
------------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Clasificación de la densidad nominal de EPS según la norma ASTM C578-92.....	10
Tabla 2-1: Clasificación del Poliestireno Expandido según sus propiedades físicas	12
Tabla 1-2: Identificación de variables presentes en cada una de las etapas del proceso	18
Tabla 2-2: Operacionalización de las variables que intervienen en el proceso	20
Tabla 3-2: Matriz de consistencia entre los objetivos, problemas e hipótesis.....	22
Tabla 4-2: Procedimiento para la recolección de poliestireno expandido.....	27
Tabla 5-2: Ensayo de resistencia de flexión	27
Tabla 6-2: Ensayo de resistencia de compresión.....	28
Tabla 7-2: Ensayo de tracción.....	29
Tabla 8-2: Espectroscopia de Transmisión de Infrarrojo	29
Tabla 9-2: Determinación de la relación agua/yeso.....	30
Tabla 10-2: Determinación del tiempo de fraguado	31
Tabla 11-2: Proporciones en peso para elaborar placas de yeso con poliestireno expandido	32
Tabla 12-2: Ensayo de resistencia de flexión	32
Tabla 13-2: Ensayo de deformación bajo carga.....	33
Tabla 14-2: Ensayo de dureza superficial de la placa	33
Tabla 15-2: Ensayo determinación de densidad aparente	34

Tabla 16-2: Determinación de imágenes por microscopía electrónica de barrido	34
Tabla 1-3: Resultados de los ensayos relación agua/yeso de amasado por saturación	36
Tabla 2-3: Resultados de los ensayos de tiempo de fraguado por el método del cuchillo	37
Tabla 3-3: Características cualitativas del producto para determinar el tiempo de fraguado cuando se añade EPS.....	37
Tabla 4-3: Datos de los pesos tomados para determinar la densidad	38
Tabla 5-3: Análisis del espectro IR de la muestra de poliestireno expandido reciclado de envases desechables	39
Tabla 6-3: Análisis del espectro IR de la muestra de poliestireno expandido reciclado de embalaje	40
Tabla 7-3: Resultados de ensayo de compresión EPS reciclado	41
Tabla 8-3: Resultados de ensayo de flexión de EPS reciclado	42
Tabla 9-3: Resultados de ensayo de tracción de EPS reciclado	43
Tabla 10-3: Densidad aparente de las probetas con distintas cantidades de EPS.....	46
Tabla 11-3: Resultados de los ensayos de flexión para cada probeta	46
Tabla 12-3: Resultados de los ensayos de deformación bajo carga en las probetas	49
Tabla 13-3: Resultados de los ensayos de dureza superficial en las probetas	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Polimerización del estireno monómero.....	8
Figura 2-1. Partes de la placa de yeso laminado.....	16
Figura 1-3: Análisis SEM en probetas con poliestireno expandido.....	54

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Análisis de variables con respecto al número de muestras	21
Gráfico 2-2: Procedimiento para la elaboración de placas de yeso laminado	25
Gráfico 3-2. Pasos para la selección de muestra.....	26
Gráfico 1-3: Espectro IR de la muestra de poliestireno expandido reciclado de envases desechables	39
Gráfico 2-3: Espectro IR de la muestra de poliestireno expandido reciclado de embalaje	40
Gráfico 3-3: Curva Fuerza vs Desplazamiento del ensayo de flexión	43
Gráfico 4-3: Análisis ANOVA de la longitud de las probetas	44
Gráfico 5-3: Análisis ANOVA de la anchura de las probetas	45
Gráfico 6-3: Análisis ANOVA del espesor de las probetas	45
Gráfico 7-3: Comparación de las densidades aparente con respecto al porcentaje de EPS.....	46
Gráfico 8-3: Comparación de las cargas máximas longitudinales de las probetas	47
Gráfico 9-3: Comparación de las cargas máximas transversales de las probetas.....	49
Gráfico 10-3: Curvas Tensión vs Deformación de probetas con 0% de EPS.....	50
Gráfico 11-3: Curvas Tensión vs Deformación de probetas con 0,5% de EPS.....	51
Gráfico 12-3: Curvas Tensión vs Deformación de probetas con 1% de EPS.....	51
Gráfico 13-3: Curvas Tensión vs Deformación de probetas con 1,5% de EPS.....	52

Gráfico 14-3: Curvas Tensión vs Deformación de probetas con 2% de EPS.....	52
Gráfico 15-3: Comparación de las resistencias a la flexión de las probetas	53
Gráfico 16-3: Comparación de las diferentes durezas en las probetas	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: NTE INEN-EN 520. Placa de yeso laminado. Determinación de métodos de ensayo

ANEXO B: UNE-EN 13279-1. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso

para la construcción.

ANEXO C: Elaboración de placas de yeso con poliestireno expandido

ANEXO D: Elaboración de ensayos en el poliestireno expandido reciclado

ANEXO E: Informe de resultados de tracción de poliestireno expandido reciclado

ANEXO F: Informe de resultados de compresión de poliestireno expandido reciclado

ANEXO G: Informe de resultados de flexión de poliestireno expandido reciclado

ANEXO H: Informe de resultados de flexión de las probetas de placas de yeso con y sin poliestireno expandido

ANEXO I: Informe de resultados de deformación bajo carga de las probetas de placas de yeso con y sin poliestireno expandido

ANEXO J: Informe de resultados de dureza superficial de las probetas de placas de yeso con y sin poliestireno expandido

ANEXO K: Informe de resultados de dureza superficial de las probetas al 1% de EPS

RESUMEN

La investigación realizada tiene como objetivo el estudio de la adición de poliestireno expandido reciclado de envases de comida, embalaje y empaque en la determinación del comportamiento físico y mecánico de placas de yeso laminado. Se estudió cinco mezclas con diferentes porcentajes de 0/ 0,5/ 1/ 1,5 y 2% en peso de gránulos de poliestireno expandido (EPS). Para identificar el tipo de polímero utilizado se determinó sus propiedades como densidad, espectroscopía FT-IR, resistencia a la flexión, tracción y compresión. Además, para analizar el uso y beneficio de este nuevo tipo de material se caracterizó el producto por medio de ensayos de flexión, deformación bajo carga, dureza superficial, densidad aparente y microscopía electrónica de barrido. Los resultados muestran que a mayor cantidad de poliestireno expandido existe menor densidad, también al colocar cierta cantidad de EPS se debilita la unión entre partículas de yeso afectando a la capacidad de resistencia. Sin embargo, una proporción adecuada presentó buenos resultados de resistencia de flexión y dureza superficial. La microscopía electrónica de barrido muestra la capacidad del material de generar nanopartículas contaminantes en el ambiente. En conclusión, el EPS en cantidades de 0,5 % brinda mejores características al material que otras proporciones debido a que no crea gran porosidad entre partículas. Asimismo, el polímero brinda su capacidad de isotropía a las placas de yeso mostrando características semejantes en todos los puntos de su estructura. Se recomienda el estudio de fibras plásticas como agregados en materiales de construcción como una fuente de reciclaje a largo plazo.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA> <POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)> <PLACAS DE YESO> <PROPIEDADES MECÁNICAS> <MATERIAL SUSTENTABLE>



Firmado
electrónicamente por:
**HOLGER
GERMAN
RAMOS
UVIDIA**

0861-DBRAI-UPT-2021

2021-03-29

ABSTRACT

The objective of this research is to study the addition of recycled expanded polystyrene to food containers, packaging, and packaging in the determination of the physical and mechanical behaviour of laminated gypsum boards. Five mixtures with the following percentages of 0 / 0.5 / 1 / 1.5 were studied. Also, 2% by weight of expanded polystyrene (EPS) granules. To identify the type of polymer used, properties such as density, FT-IR spectroscopy, resistance to bending, traction and compression were determined. Also, to analyse the use and benefit of this new type of material, the product was characterized using bending tests, deformation under load, surface hardness, apparent density, and scanning electron microscopy. The results show that the greater the amount of expanded polystyrene there is lower density, also when placing a certain amount of EPS the bond between gypsum particles is weakened, affecting the resistance capacity. However, an adequate proportion presented good results of flexural strength and surface hardness. Scanning electron microscopy shows the material's ability to generate polluting nanoparticles in the environment. In conclusion, EPS in quantities of 0.5% provides better characteristics to the material than other proportions since it does not create a porosity between particles. Likewise, the polymer provides its isotropy capacity to gypsum boards showing similar characteristics at all points of its structure. The study of plastic fibres as aggregates in building materials is recommended as a source of long-term recycling.

Keywords: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY> <EXPANDED POLYSTYRENE (EPS)> <PLASTER PLATES> <MECHANICAL PROPERTIES> <SUSTAINABLE MATERIAL>

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo hace referencia al uso de poliestireno expandido como agregado de construcción en el material yeso, en síntesis, consiste en la fabricación de placas laminadas, las cuales se realizan normalmente con yeso, agua y celulosa como materia prima; pero se desea agregar un nuevo componente como es el poliestireno expandido para brindar propiedades que mejoren el producto.

El desarrollo social y tecnológico, va de la mano con el aumento de la contaminación ambiental dejando a su paso rastros visibles, por lo cual se busca dar alternativas sustentables a lo que muchas veces consideramos como residuos o basura. En este punto interviene el uso del poliestireno expandido reciclado, debido a que al ser un producto derivado del petróleo posee propiedades que ayudarían a igualar la calidad y utilidad de las placas laminadas.

La causa principal de la problemática es el uso indiscriminado de todo tipo de plásticos, los cuales tardan años en descomponerse quedando expuestos en el medio y causando daño al mismo tiempo. El poliestireno expandido es un tipo de plástico producido por medio de un proceso conocido como polimerización, donde la unión de muchas moléculas pequeñas produce moléculas de gran tamaño. Es muy utilizado en distintos sectores, como el de la construcción, envase y embalaje, donde el producto se considera de un solo uso, debido a que solo una vez utilizado es desechado; entonces produciéndose millones cada año se originan miles de residuos que se encuentran en el medio aumentando la contaminación.

Dar una solución factible y accesible, presenta interés en el ámbito ecológico, por la reducción de residuos liberados en el medio, que ha futuro puede representar la mitigación de este tipo de plástico y por lo tanto una preocupación menos para la eliminación de desechos. La utilización de poliestireno expandido en el área de la construcción proporciona un desarrollo sustentable y una economía consciente que favorece tanto a la sociedad como al medio ambiente.

Para el desarrollo técnico del proyecto se utilizará como materia prima yeso de rápido fraguado, agua, como celulosa fibras de cabuya y poliestireno expandido reciclado de embalaje y envases. Este tipo de mezclas usualmente presentan falta de adhesión al repelerse por su incompatibilidad, generando imperfectas propiedades mecánicas para el producto, por lo que es necesario el uso de un aditivo que permita la dispersión homogénea de la mezcla para la obtención de un producto con las propiedades adecuadas.

Identificación del problema

Durante los últimos años, la contaminación ambiental alrededor del mundo ha ido en aumento. Una de las problemáticas más importantes dentro del impacto ambiental son los residuos sólidos del sector urbano, por el incorrecto manejo al momento de su disposición final. Según la INEC en 2015, en el país en promedio cada ecuatoriano produce 0,57 kilogramos diarios de residuos, si hablamos de una población 17.283.338 habitantes, se demuestran cifras alarmantes de contaminación, sin contar con el hecho de que existe un crecimiento constante y acelerado en el ámbito demográfico, industrial, urbano y en el desarrollo económico (INEC 2015).

Una alternativa sustentable para la disminución de la contaminación es el reciclaje, enfatizando el de los residuos plásticos por su gran capacidad de producción y uso, sobre todo porque muchos de los productos fabricados tienen una vida útil corta siendo desechados con facilidad, generando continuamente residuos no biodegradables. Considerando que un 70% de la producción total de plástico se encuentra como basura en vertederos y en el océano, se conoce que actualmente existe una gran contaminación por volumen de estos desechos y aumentará con el pasar del tiempo (NTE INEN 2043:2013).

Los residuos plásticos, en específico el poliestireno expandido (EPS) es ampliamente usado para empaques, debido a que es ligero y de bajo costo. Es un material no biodegradable, es decir, no se descompone o desaparece encontrándose en el medio ambiente, tampoco contiene clorofluorocarbonos (CFC) por lo cual no contamina de forma química el suelo, el agua o el aire. Desde este punto de vista no existe problemas de contaminación por este tipo de residuos, pero todo radica en que al ser eterno permanece indefinidamente en el medio ambiente, llegando fácilmente a los mares causando su desintegración en pequeñas partículas que posteriormente serán consumidas por los animales marinos, todo esto si no se realiza su tratamiento adecuado.

Con la conciencia medioambiental, han aumentado las investigaciones sobre mantener un ciclo de vida circular de productos plásticos, entre estos se encuentra el EPS, el cual es reciclable y reutilizable en un 100%, puede ser utilizado como materia prima para la fabricación de otros productos o del mismo. Su reciclaje es relativamente fácil debido a que existen en grandes cantidades y su separación de otro tipo de residuos es simple por su baja densidad y fácil identificación. Generalmente son reciclados para la fabricación de nuevos embalajes, material de construcción y material de relleno.

Justificación de la Investigación

El sector de la construcción en el Ecuador desde el 2007 ha tenido un crecimiento anual promedio de 6,8%, aumentando el PIB total en aproximadamente 10%. Otro dato impresionante sobre el desarrollo económico es que el PIB de la industria pasó de 5,97% en el 2000 a 10,22% en el 2014. Además, en promedio, la industria ha generado empleo a la población urbana en el

país en un 6,8% en períodos de 1990-2014; y aunque actualmente no se tiene cifras específicas y el número de empleos se vio reducido por la suspensión de actividades por la pandemia, es importante recalcar que este fue el primer sector en regresar a sus actividades normales debido a las grandes pérdidas que implicaba su detención (Acebo et al. 2016).

Generalmente en el Ecuador, se ha utilizado yeso como material de construcción a lo largo del tiempo, para unir piezas de mampostería, sellar juntas de los muros y revestir paredes de viviendas. Aún con el pasar de los años, y el surgimiento de nuevas materias primas este sigue utilizándose con frecuencia por su versatilidad y propiedades como aislante acústico y térmico.

En el área de la construcción, la fabricación de placas de yeso se remota a la Segunda Guerra Mundial, cuando se originaron para facilitar la edificación rápida y eficiente de estructuras militares. Desde entonces este práctico sistema de construcción es muy utilizado y popular tanto en negocios, viviendas e industrias.

Generalmente son utilizadas para la elaboración de paredes interiores, revestimientos y techos, ideal para divisiones; puede conseguirse en diferentes dimensiones, además adaptarse a distintas formas y estilos. Están compuestas por yeso y celulosa, donde el yeso se adhiere a la celulosa, donde después se comprime y se seca.

El aporte de poliestireno expandido en las placas aportaría a este material fuertes propiedades de mezclado, resistencia y compactación, evitando el excesivo uso de agua y yeso, logrando una buena protección a las superficies y al mismo tiempo como aislante.

El poliestireno expandido ha tomado importancia en la construcción por sus propiedades, formas y tamaños, generalmente se lo utiliza como material de relleno, aligerante y material flotante. Conocido por su efecto aislante, resistencia mecánica y cohesión, la cual le permite una gran resistencia vertical y horizontal en la construcción de estructuras. Todas estas características lo hacen idóneo para actuar como agregado de construcción en el material yeso, reduciendo los costos de fabricación y contribuyendo con el cambio ambiental al generar productos con gran durabilidad (Zamudio Peña, Tiria Sandoval y Useche Monsalve 2018).

Reutilizar este tipo de residuos plásticos ayuda a reducir el impacto ambiental, debido a que la utilización de rellenos sanitarios no es la solución adecuada para su tratamiento, solucionar la problemática del poliestireno expandido ayudará abaratar costos en el sector de la construcción y evitar aglomeración en los rellenos, así como contaminación en los océanos (NTE INEN-EN 520-2018).

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Utilizar poliestireno expandido como agregado de construcción en el material yeso

Objetivos Específicos

- Identificar las características del poliestireno expandido reciclado utilizado como materia prima
- Determinar las concentraciones adecuadas del poliestireno expandido en la mezcla
- Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del producto obtenido

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

El acelerado desarrollo de la sociedad ha provocado el aumento de residuos plásticos presentes en el medio ambiente, por lo que, desde hace muchos años, se investigan formas de reducir o eliminar esta problemática con el uso de residuos como materia prima.

En las investigaciones para la fabricación de nuevos compuestos aligerantes que brindan un mejor comportamiento térmico junto con el yeso, se involucran generalmente plásticos reciclados de tipos como tereftalato de polietileno (PET), poliestireno extruido (XPS), poliestireno expandido (EPS) y espuma de poliuretano (PUR). Sin embargo, en la investigación de Romero-Gómez (2020), se estudia a las fibras de polipropileno obtenidas de toallas húmedas recicladas como material aligerante en el yeso. Este se llevó a cabo con diferenciación en los porcentajes de las fibras recicladas de polipropileno en un 2/2,5/ 3 y 3.5 % en peso, por su uso ayuda a generar un refuerzo en bloques y paneles de yeso, disminuyendo la porosidad y aumentando la resistencia mecánica del producto. Los resultados fueron favorables, se obtuvieron materiales más eficientes y menos densos que el producto de referencia. La resistencia a la flexión aumentó en un 19% para las mezclas con fibras de PP de 2,5 % confirmando la viabilidad de una nueva manera de construcción de yeso para revestimiento en paredes y techos.

El estudio se basa en la incorporación de fibras de PP como material de refuerzo en las mezclas de yeso, para de esa manera compensar la disminución de resistencia de las placas, debido a que usualmente cuando son utilizados como aligerante la resistencia del yeso disminuye mientras aumenta el porcentaje de adición de los residuos. Además, también se recalca que aparte de las fibras de PP actualmente se investigan otros tipos de refuerzos en paneles de yeso como lo es la fibra de vidrio, el cual ha demostrado en investigaciones previas que mejora la tenacidad y resistencia a la flexión. De la misma manera, también mejoro su reacción al fuego debido a la unión entre las fibras de refuerzo y la matriz de yeso que evita la fragmentación de los paneles. Otra recomendación del estudio para alargar la vida útil del producto fue el uso de nuevas fibras en mezclas de yeso con peso de hasta el 1% de agregados naturales como Diatomina y Vermiculina, las cuales han logrado mejoras de hasta un 200% respecto a la resistencia a la flexión y del 100% a la resistencia de comprensión (Romero-Gómez et al. 2020).

Otra importante investigación es la de Rio Merino (2019), que trata de la reutilización del yeso ligero reciclado de residuos de construcción y demolición con mezclas de residuos de poliestireno, la idea central es la de cambiar la perlita y la vermiculita que son los agregados comúnmente

usados, porque tienen una alta demanda de energía para su fabricación entonces, la investigación estudia el comportamiento físico y mecánico del yeso ligero incorporando mezclas de residuos de poliestireno extruido (XPS) y expandido (EPS) para sustituirlos. La metodología consistió en la preparación de 33 series de yesos con diferentes porcentajes de residuos de EPS y XPS, a las cuales se les realizó pruebas como: densidad, dureza superficial, resistencias mecánicas y comportamiento térmico. Como conclusión se llegó a que gracias a un análisis comparativo entre el yeso liviano normal y el producto generado al agregar mezclas de residuos XPS Y EPS, estos cumplieron con las normativas vigentes, poseen resistencias mecánicas similares y presentan una densidad más baja que los yesos ligeros.

El estudio tiene la finalidad de disminuir los residuos plásticos generados, desde un enfoque diferente debido a que muestra como desecho no solo los distintos plásticos sino también los diferentes materiales de construcción, por lo cual busca materiales de construcción y tipo de plásticos altamente contaminantes, para ayudar en la problemática de la contaminación. De esa manera se realiza un acopio de información donde otras investigaciones demuestran que la temperatura de producción del yeso, en comparación con la del cemento, es mucho más baja y, por lo tanto, el consumo de energía y las emisiones de CO₂ liberadas durante su fabricación es baja con respecto a los materiales a base de cemento(Rio Merino et al. 2019).

Un estudio importante que habla acerca de las propiedades térmicas y mecánicas del yeso mezclado con poliestireno expandido y tragacanto es el de Bicer y Kar en el 2017, donde examinan la capacidad de uso que tienen los residuos de poliestireno expandido como material de relleno en el enlucido de yeso donde añaden una resina en distintas cantidades. Los residuos de EPS utilizados provienen de la recolección de material envasado y desintegración de los mismos en partículas con diámetros entre 0-3 mm, las cuales son mezcladas con yeso en porcentajes de 20, 40, 60 y 80%. A cada una de estas mezclas se añade tragacanto que es un tipo de pegamento tipo resina que se obtiene de la planta *Astragalus Gumminer Gum*, esta resina se obtiene en seco entonces para incorporarla se dejó en agua por 48 h para que se expanda y se amasó y filtró para añadirlo en el yeso en proporciones de 0,5/ 1 y 1,5% con el fin de crear poros artificiales en los bloques de yeso. Se elaboraron 16 combinaciones distintas, donde cada una fue sometida a pruebas para conocer sus propiedades. Finalmente, los resultados mostraron que la conductividad térmica, compresión y resistencia a la tracción disminuían al aumentar EPS y tragacanto. Pero estos aún pueden ser utilizados para interiores debido a sus propiedades aislantes que ayudaran a la reducción del uso de calefacción.

En la investigación se utiliza tragacanto, por su capacidad de absorción de agua donde la absorbe y la pierde con facilidad creando poros artificiales que ayudan a reducir la densidad de la mezcla de

yeso con partículas de poliestireno expandido. Como resultados de las muestras se obtuvo una proporción de absorción de agua superior al 30%, por lo cual este tipo de materiales no se recomienda utilizarlos como yeso exterior en contacto directo con agua, sino como productos adecuados para el interior o aislantes en la construcción (Bicer y Kar 2017).

Una investigación en la cual se destaca el uso de la fibra en las placas de yeso es la de Iucolano (2015) en el artículo sobre la conducta mecánico del yeso fortalecido con fibras de abacá. En este se analiza el cambio de las fibras sintéticas por las naturales en los materiales de construcción, debido a sus buenas propiedades mecánicas, bajo costo, baja densidad, baja conductividad térmica y facilidad de reciclaje. La investigación se enfocó en la interacción entre las fibras de abacá para reforzar la matriz de yeso y así mejorar la tenacidad del material.

Al inicio, las fibras se sometieron a diferentes tratamientos como lavado en agua destilada, en solución de NaOH y solución de EDTA, para modificar las características que le permitan adherirse mejor al yeso. Esto mediante ensayos mecánicos y microscópicos como la resistencia a la tracción y flexión. Como resultados, los tratamientos con NaOH y EDTA fueron muy agresivos, por lo cual empeoraron el comportamiento mecánico de la mezcla; mientras que la fibra tratada con agua destilada tuvo mejor adherencia debido a que mejora la rugosidad en la fibra. Además, las pruebas de flexión mostraron que la adición del 2% en peso de las fibras fue la mejor, porque conduce al aumento de la tenacidad.

Es importante destacar que, las fibras naturales sirven para reducir la fragilidad del material. Las fibras están compuestas principalmente por hemicelulosa, lignina y pectina, el principal inconveniente de su uso son la débil interacción entre la fibra y el yeso, por lo cual se busca realizar los tratamientos químicos adecuados en la fibra para mejorar su adherencia y de esta manera aumentar la resistencia (Iucolano et al. 2015).

1.2. Marco Conceptual o Glosario

1.2.1. Plástico

Los plásticos son un conjunto de polímeros, formados por monómeros; tienen diversas características de las cuales destaca su maleabilidad, es decir, su capacidad de moldear al estar blandos y endurecerse para conservar la forma. De acuerdo a sus características físicas pueden dividirse en termoplásticos y termoestables. Los termoplásticos pueden modificar su forma dependiendo de la temperatura mientras que los termoestables toman forma de manera irreversible (Universidade da Coruña 2019).

1.2.2. Plásticos espumados

Son termoplásticos cuya estructura celular posee pequeñas cavidades contenedoras de gas, y pueden estar cerradas o abiertas. Debido a esta particularidad, presenta propiedades físicas intermedias al sólido del plástico y al gas de su interior. Se reduce su densidad de forma proporcional a la parte volumétrica ocupada por el gas. Al disminuir la densidad por presencia de los gases la conductividad térmica y eléctrica disminuyen como consecuencia de los gases cuyas propiedades son inferiores a la de los sólidos. Además, tiene gran capacidad de rigidez y sirve como aislante de sonido exterior (Beltrán y Marcilla 2009).

1.2.3. *Poliestireno*

Conocido también como polifenileno, es el producto de la polimerización del estireno. Posee propiedades como resistencia a reacciones de álcalis, haluros de ácidos, agentes oxidantes y reductores, también al ser termoplástico, su degradación es posible en altas temperaturas donde sus productos son compuestos en su mayoría estireno con bajo peso molecular (Billmeyer 2004).

Su procesamiento es sencillo debido a su gran estabilidad y fluidez, lo cual lo hace apto para procesos como inyección, extrusión, termoformado y soplado. Funciona de buena manera como aislante eléctrico por contener un factor de pérdida dieléctrica, otra propiedad importante es su resistencia a la tracción que puede llegar a 8000 psi. Además, sus fuerzas intermoleculares son débiles entonces al calentar las moléculas estas son fácilmente moldeables, y al contrario en un ambiente frío, los átomos diferentes se establecen (Billmeyer 2004; Universidade da Coruña 2019; Segura 2018).

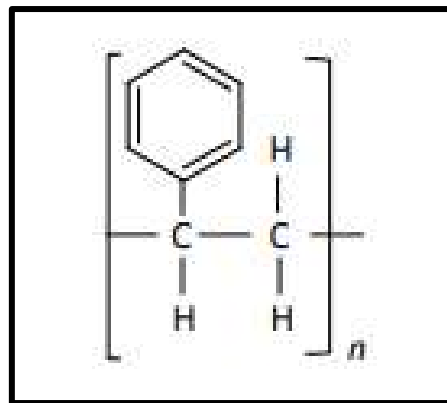


Figura 1-1. Polimerización del estireno monómero

Fuente: Universidade da Coruña 2019

Su obtención consiste en la polimerización del estireno, en el cual se relaciona un éter de petróleo de bajo punto de ebullición. Este proceso define su fórmula estructural representada por una cadena de hidrocarburos que posee grupos fenilos distribuidos cada dos átomos de carbono (Segura 2018).

1.2.3.1. Poliestireno expandido

Es un hidrocarburo cuya estructura microscópica está formada por celdillas cerradas, conformadas por 95% de material plástico o poliestireno y un 5% gas pentano que actúa como agente de expansión. Su proceso de obtención se da por medio de la polimerización del monómero estireno junto con el pentano, por medio de un reactor que contiene agua. El pentano o agente expansor no contiene gases de la familia CFCs, HCFCs y HFCs, los cuales son bastante conocidos por ser contaminantes (Zhunio y Lituma 2015).

El proceso de obtención del poliestireno expandido se realiza en tres etapas. La pre-expansión consiste en calentar la materia prima granulada con vapor de agua; como consecuencia los gránulos se pre-expanden y el pentano se dilata, generando un aumento de volumen. Posteriormente son secadas y almacenadas, donde el vacío interior se compensa con la propagación de aire, formando una gran expansión. La segunda etapa es conocida como estabilización, donde las partículas logran equilibrio debido al enfriamiento, donde crean un vacío interior generando mayor estabilidad mecánica y capacidad de expansión. Además, elimina la humedad y el exceso de pentano, facilitando el relleno en los moldes. Finalmente, en la expansión se inyecta vapor de agua al poliestireno expandido que se encuentra en los moldes, produciendo una nueva expansión y compenetración (Segura 2018).

El poliestireno expandido presenta diferentes características como gran capacidad de aislamiento térmico, no es capaz de absorber agua líquida en grandes cantidades y su difusión frente al vapor de agua es mínimo; también sirve como amortiguante por lo cual es capaz de reducir o eliminar los ruidos por impacto, puede mantener su eficiencia por largo tiempo y por último su resistencia mecánica tiene mejoras en relación con su densidad (Azqueta 2014).

1.2.3.1.1. Propiedades químicas

El poliestireno expandido es un producto derivado del petróleo, y como cualquier polímero es susceptible a la radiación UV como indicativo de degradación, por lo cual, presenta inestabilidad al envejecerse en la atmósfera, mostrando coloración amarilla y cuarteo (Zhunio y Lituma 2015).

Otra propiedad química, es su facilidad para reaccionar con otros disolventes orgánicos, en los cuales su estabilidad o inestabilidad definirá la destrucción del material, y consecuentemente la manera en que lo hará (Billmeyer 2004).

1.2.3.1.2. *Propiedades Físicas*

- **Densidad**

Es una de las propiedades más importantes del EPS, debido a que define la mayoría de sus consiguientes. Está determinada por la cantidad de agente expansivo, tiempo de exposición y temperatura a la cual fue realizado el producto (Zhunio y Lituma 2015).

Tabla 1-1: Clasificación de la densidad nominal de EPS según la norma ASTM C578-92

Tipo	Densidad Nominal (kg/m³)	Densidad mínima (kg/m³)
XI	12	12
I	16	15
VIII	20	18
II	24	22
IX	32	29

Fuente: NTE INEN-EN 520, 2018

- **Resistencia mecánica**

Se define como la resistencia del material sometido a diferentes esfuerzos, los cuales se miden de acuerdo a: Resistencia a la compresión o deformación, flexión, tracción y cizalladura o esfuerzo cortante (Lapa 2020).

- **Aislamiento térmico**

Para representar la propiedad se utiliza la conductividad térmica (λ) que con temperatura de 10°C debe variar entre 46 a 34 mW/(mK). Tiene relación directa con la densidad debido a que mientras más bajo es el valor de la misma, el valor de la conductividad térmica también baja (Lapa 2020).

- **Comportamiento frente al agua**

El poliestireno expandido es un material higroscópico, es decir, no es capaz de absorber humedad del medio (Pérez et al. 2016).

- **Comportamiento ante el fuego**

El poliestireno expandido comienza a cambiar de forma por efecto de la temperatura a los 100°C, sin embargo, si la temperatura permanece constante, este es capaz de fundirse. Se considera que el

material tiene una buena respuesta al fuego, donde hasta alrededor de los 80°C a calor constante no
afecta al EPS (Lapa 2020).

Tabla 2-1: Clasificación del Poliestireno Expandido según sus propiedades físicas

Propiedad	Unidad	Densidad Aparente												
	kg/m ³	12	15	19	22	29	39	46	20	21	26	29	36	48
Densidad mínima	kg/m ³	11,2	14,4	18,4	21,6	28,8	38,4	45,7	19,2	20,8	25,6	28,8	35,2	48
Resistencia de compresión mínima a 1%	kPa	15	25	40	50	75	103	128	20	35	75	105	160	280
Resistencia de compresión mínima a 5%	kPa	35	55	90	115	170	241	300	85	110	185	235	335	535
Resistencia de compresión mínima a 10%	kPa	40	70	110	135	200	276	345	104	104	173	276	414	690
Resistencia de flexión mínima	kPa	69	172	207	240	345	414	517	276	276	345	414	517	689
Índice de oxígeno mínimo	% V	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

Fuente: ASTM D6817 / D6817M-17, 2017

1.2.3.1.3. Propiedades Biológicas

El poliestireno expandido no representa ningún tipo de sustrato para microorganismos, por lo tanto, tampoco genera moho en el mismo. Sin embargo, la problemática radica en su degradación que aproximadamente se cree que corresponde a más de 1000 años, además su baja densidad le permite desplazarse con rapidez a cualquier lugar (Lapa 2020).

1.2.4. Yeso

El yeso o sulfato cálcico dihidratado ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) es un producto natural obtenido de los cristales de selenita, alabastro, sulfato cálcico anhidro y como producto sobrante de CaSO_4 producido generalmente por procesos de eliminación de azufre en centrales térmicas y la fabricación de abonos fosfatados. Como lo indica su fórmula, su composición en crudo equivale al 80% de sulfato cálcico y 20% de agua. Es considerado un material ecológico, debido a la facilidad de eliminación residuos los cuales son capaces de integrarse totalmente al entorno, sin causar cambios negativos en el ambiente (Jaramillo 2020; Caselles et al. 2015).

1.2.4.1. Propiedades del Yeso

1.2.4.1.1. Propiedades Físicas

- Densidad

El yeso posee una densidad de $2,32 \text{ g/cm}^3$. Además, ocupa el segundo lugar en la escala de dureza de Mohs, lo cual significa que puede ser fácilmente rayado (Jaramillo, 2020).

- Aislamiento térmico

El yeso presenta una relación entre su propiedad de aislante térmico y densidad, debido a que mayor densidad significa menor capacidad como aislante, sin embargo, aun en sus mínimas cantidades continúa presentado una capacidad aceptable. También, cuando se combina con otros materiales este es capaz de mejorar esta función (Rivas 2005).

- Reacción frente al fuego

El yeso se conoce como material de protección pasiva frente al fuego, debido al contenido de agua en su composición química, también presenta baja conductividad térmica evitando la difusión del calor. Además, es capaz de mantener una temperatura constante desde que inicia su proceso de fraguado hasta el final donde se ha eliminado completamente el agua de cristalización, es decir, esta deshidratado (Rivas 2005).

- Resistencia mecánica

La resistencia a la tracción y compresión del yeso está relacionada directamente con su composición, finura, cantidad de agua en el mezclado y humedad en la rotura. El agua es añadida para el proceso de hidratación del yeso, pero esta solo permanece en el material hasta su

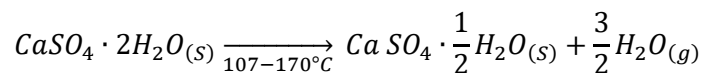
evaporación, al secarse el espacio que ocupa el agua queda vacío, entonces el yeso queda poroso, y a mayor porosidad menor resistencia mecánica (Rivas 2005).

1.2.4.1.2. *Propiedades Químicas*

El yeso como propiedades químicas se presenta como regulador higrométrico por su capacidad de absorber y desprender vapor de agua, siendo ideal para regular la humedad. Además, es capaz de fraguar, el cual se define como un proceso fisicoquímico, en el cual el yeso al mezclarse con agua se endurece en un tiempo determinado generalmente corto. Aunque el yeso tiene un tiempo limitado de aplicación, es posible cambiarlo con la adición de aditivos aceleradores (sulfatos) o retardantes (compuestos orgánicos con altos pesos moleculares), dependiendo del proceso (Rivas 2005).

1.2.4.1.3. *Aplicación en la construcción*

El yeso, aunque tiene muchas formas de uso generalmente se lo utiliza como material de construcción para lo cual es sometido a un proceso de deshidratación térmica.



En la reacción se puede observar como producto el yeso hemihidratado, que puede producir el dihidratado cuando se produce el fraguado y endurecimiento por hidratación (Caselles et al. 2015).

1.2.5. *Biocompuestos*

Son materiales compuestos por una matriz y un reforzamiento que usualmente son fibras naturales derivadas a partir de materiales orgánicos. Estos biocompuestos, son fabricados con el objetivo de brindar propiedades o características específicas, por ejemplo, en el medio de la construcción actualmente se los fabrican para soportar grandes cargas estructurales y crear nuevos materiales (Muñoz y Narvaéz 2019).

1.2.5.1. *Fibras naturales*

Son biopolímeros con poca resistencia al contacto con objetos y superficies, por lo cual es posible un fácil desprendimiento, descomposición o degradación (Muñoz y Narvaéz 2019).

Químicamente están constituidas por tres polímeros estructurales: hemicelulosa, celulosa y lignina, también están compuestos por otros elementos que se encuentran en pocas cantidades (Muñoz y Narvaéz 2019).

- **Hemicelulosa**

Es la mezcla de polisacáridos más complejo de todos los carbohidratos estructurales. Son utilizadas como microfibrillas de celulosa en la pared celular, siendo más accesibles, con menor peso molecular y fácilmente de tratar con respecto a la celulosa (Pabón 2004).

- **Lignina**

Es un polímero de alcoholes de fenilpropanoide con un alto peso molecular. Tiene características variables dependiendo de las especies y grado de madurez de la planta de donde sea extraída, pero generalmente es amorfo, hidrofóbico, considerado una mezcla de sustancias por presentar diferentes proporciones de unidades monoméricas (Muñoz y Narvaéz 2019; Melo y Cuamatzi 2007).

- **Celulosa**

Es un polímero lineal de glucosas unidas por enlaces B 1-4. Considerada como el carbohidrato más abundante en la naturaleza, debido a que constituye el 2-40% de materia seca en las plantas (Pabón 2004).

Se encuentra en las hojas secas en un 10 a 20%, en la madera en un 50% y en las fibras de algodón en un 90%, actuando como componente estructuras de las células vegetales, brindando resistencia mecánica dependiendo de las proporciones en las que se encuentre (Muñoz y Narvaéz 2019).

La fibra de agave o más conocido como fibra de cabuya posee propiedades como alta dureza, alta resistencia, durabilidad, alta capacidad de absorción de agua (65%), resistencia a solventes químicos, calor, ácidos diluidos y concentrados, productos abrasivos, destilados de petróleo, alcoholes y aceites vegetales (Castillo et al. 2013).

1.2.6. Acoplante

También conocidos como aditivos son aquellos productos que se incorporan en las mezclas de materiales de construcción, con la finalidad de modificar las propiedades y características del producto tanto en su estado fresco como al final. Estos pueden encontrarse en estado sólido o líquido; dependiendo su modo de uso de la mezcla al que serán añadidas. Los aditivos se clasifican de acuerdo a la función que realizan como: aireantes, modificadores del tiempo de fraguado, reductor de retracción, reductor de agua o superplastificantes (Alonso, Puertas y Palacios 2009).

Los aditivos superplastificantes son polielectrolitos de origen orgánico, los cuales pertenecen a los dispersantes poliméricos de alto peso molecular. Su cadena principal se encuentra con diferentes ramificaciones como grupos hidroxilos, fosfónicos, sulfónicos y carboxílicos, es decir, grupos aniónicos que le brindan la capacidad de ser soluble en agua. Al actuar también como reductores de agua de alto rango por estar formados por surfactantes hidrofílicos, mejoran la atracción que existe entre las moléculas que forman parte de la mezcla dispersando las partículas y reduciendo la relación de agua hasta en un 40% para mejorar el producto final (Alonso, Puertas y Palacios 2009).

1.2.7. Placas de yeso laminado

Es un material básico de construcción utilizado para paredes interiores como revestimiento y aislamiento de paredes y techos. Consiste en un alma o núcleo de yeso de origen natural, recubierto por celulosa multihoja, donde en su proceso permite la utilización de aditivos (reguladores de fraguado, espumógenos, endurecedores, etc.) y agregados (fibras minerales, vegetales, etc.) para añadir características específicas al producto final (Asociación Técnica y Empresarial del Yeso 2011; Gessos Técnicos SA 2017).

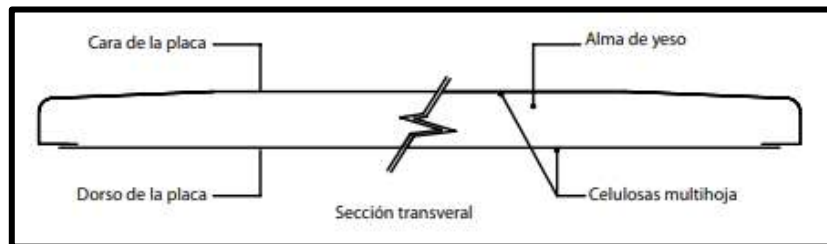


Figura 2-1. Partes de la placa de yeso laminado

Fuente: Asociación Técnica y Empresarial del Yeso 2011

Generalmente las placas de yeso presentan las siguientes dimensiones:

- **Longitud**

Es la distancia entre los bordes transversales de la placa. Generalmente depende del tipo de placa, con una variación entre 1000 y 2000 mm. Donde para una placa estándar las longitudes pueden ser: 1200, 1500, 1800 y 2000 mm con un error de ± 5 mm.

- **Ancho**

Es la distancia entre los bordes longitudinales. La variación está entre 600 y 1500 mm. Con valores de anchura estándar como 600, 900 y 1200 mm con un error de ± 4 mm.

- **Espesor**

Es la distancia entre la cara y el dorso de la placa, excluyendo los perfiles del borde longitudinal. Los espesores estándar son 9.5, 15 y 12.5 mm con un error de ± 0.6 mm (PLACO 2016).

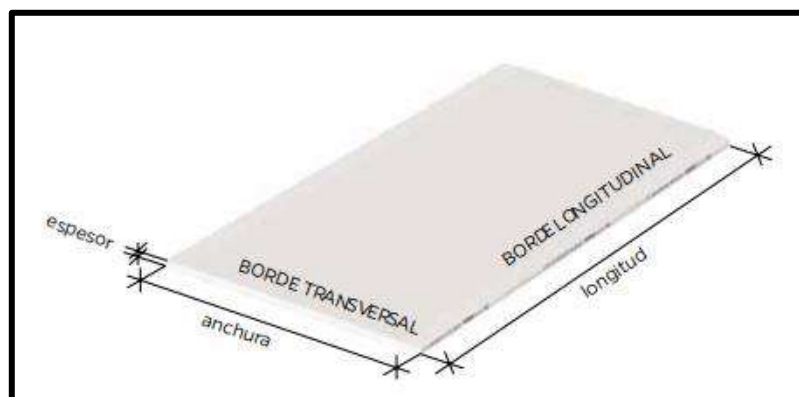


Figura 3-1. Dimensiones de la placa de yeso laminado

Fuente: Gessos Técnicos SA 2017

1.2.7.1. *Fabricación de placas de yeso.*

La fabricación industrial de placas de yeso consiste en un proceso continuo donde para empezar se da un tratamiento al mineral yeso también conocido como Aljez, este es homogenizado, calcinado y molido hasta alcanzar un semihidrato de yeso, con la pureza y granulometría adecuados. Después, se mezcla todo en una mezcladora el polvo de yeso, agua, aditivos y las demás materias primas necesarias para construir la placa (PLACO 2016).

La mezcla se deposita en una cinta continua en la que se encuentran dos láminas de celulosa multihoja o cartón, las cuales se adhieren directamente de manera que la mezcla de yeso se adhiere entre ellas. En esta etapa la placa adquiere el ancho, el espesor y la forma de los bordes adecuados. La placa pasa por una banda continua hasta que el yeso fragüe, y la placa adquiera la consistencia necesaria. Después, por medio de una cizalla las placas son cortadas a la longitud necesaria (PLACO 2016).

Posteriormente, las placas atraviesan por un proceso de secado donde adquieren estabilidad mecánica. Las placas se agrupan dos a dos, de frente una con otra para evitar torceduras y finalmente se ubican los lotes cuidadosamente hasta el momento de su instalación (PLACO 2016).

1.2.7.2. *Tipos de placas*

- Placa A (Estándar)

Estas placas tienen distintas utilidades en espacios interiores, sirven como tabiques, revestimiento, techos falsos, moldura de iluminación entre otros, debido a su acabado decorativo (NTE INEN-EN 520 2018; Gessos Técnicos SA 2017).

- Placa H (Hidrófuga)

Este tipo de placa posee un aditivo que le permite reducir la capacidad de absorción de agua, por lo cual es adecuada para zonas de humedad controlada. Por su cualidad su uso es adecuado para espacios que requiere absorción de agua reducida, por lo cual, generalmente se usa para baños, cocinas, vestuarios, duchas, etc. Sin embargo, esto también dependerá del tipo H1, H2 y H3 las cuales definen su función de capacidad de absorción de agua (NTE INEN-EN 520 2018; Gessos Técnicos SA 2017).

- Placa F (Anti-fuego)

Este tipo de placa está reforzado con fibra de vidrio u otros minerales y aditivos en el alma de yeso, el cual le permite tener una buena cohesión del yeso en altas temperaturas, por lo cual es adecuado para zonas que necesiten una alta resistencia al fuego (NTE INEN-EN 520, 2018).

- Placa D (Alta dureza)

Este tipo de placa tiene una densidad controlada con una dureza superficial mejorada, por lo cual es apropiada para zonas de mayor resistencia al impacto (NTE INEN-EN 520 2018).

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Hipótesis y especificación de las variables

2.1.1. *Hipótesis General*

- Al utilizar poliestireno expandido como agregado de construcción en el material yeso, posee cualidades semejantes o superiores al producto comercial resultando un material de construcción viable

2.1.2. *Hipótesis Específicas*

- Las características del poliestireno expandido reciclado muestran resultados adecuados que le permiten actuar como materia prima en placas de yeso laminado
- El porcentaje de poliestireno expandido en la mezcla es menor al 3% presentando buenos resultados físicos
- Las propiedades físicas y mecánicas del producto obtenido son favorables porque se asemejan a las propiedades de la placa referencial

2.2. Identificación de Variables

Tabla 1-2: Identificación de variables presentes en cada una de las etapas del proceso

Etapas del proceso	Variables Independientes	Variables dependientes
Caracterización de materia prima	Probetas de poliestireno expandido	Resistencia de Flexión
	Velocidad	
	Probetas de poliestireno expandido	Resistencia de Compresión
	Velocidad	
	Probetas de poliestireno expandido	Tracción
	Velocidad	
	Diámetro del gránulo de EPS	Espectroscopía de transmisión infrarrojo
Determinación de las	%EPS en la mezcla	Características físico mecánicas de las

concentraciones adecuadas de Poliestireno Expandido	% Yeso	probetas de placas de yeso
	% Agua	
	% Acoplante	
	% Celulosa	
	Tiempo de fraguado	
Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del producto	Probetas de las placas de yeso	Resistencia a la flexión
	Carga aplicada	
	Probetas de las placas de yeso	Deformación bajo carga
	Carga continua aplicada	
	Tiempo de recolección de datos	
	Masa de las probetas	Dureza superficial
	Velocidad y fuerza de lanzamiento de la bola utilizada en el ensayo	
	Dimensión de las probetas	Densidad Aparente
	Masa de las probetas	
	Probetas de placas de yeso	Microscopia electrónica de barrido
	Microscopio electrónico de barrido	

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.3. Operacionalización de Variables

Tabla 2-2: Operacionalización de las variables que intervienen en el proceso

Variable	Tipo de Variable	Definición Operacional	Categorización	Indicadores	Instrumentos de medición	Valor
Poliestireno Expandido Reciclado	Independiente	Gránulos con diámetros de 3-5 mm	Determinación de las concentraciones adecuadas de poliestireno expandido	Peso	Balanza	-
% Yeso	Independiente	Yeso comercial de rápido fraguado	Determinación de las concentraciones adecuadas de poliestireno expandido	Peso	Balanza	-
% Agua	Dependiente	Agua necesaria para dar movilidad al yeso	Determinación de las concentraciones adecuadas de poliestireno expandido	Mililitros	Vaso de precipitación	-
% Acoplante	Independiente	Resina vinil acrílica multiuso para acoplar los materiales de yeso y poliestireno expandido	Determinación de las concentraciones adecuadas de poliestireno expandido	Peso	Balanza	-
% Celulosa	Independiente	Fibra de cabuya para aumentar la resistencia	Determinación de las concentraciones adecuadas de poliestireno expandido	Peso	Balanza	-
Tiempo de mezcla	Independiente	El tiempo de mezclado antes de colocar la mezcla en el molde	Determinación de las concentraciones adecuadas de poliestireno expandido	Minutos	Cronómetro	-
Probetas de placas de yeso con distintas formulaciones	Independiente	Yeso+celulosa+acoplante + EPS	Caracterización del producto obtenido	Resistencia de flexión	Dispositivo de carga	-
				Deformación bajo carga	Dispositivo de carga	-
				Dureza Superficial	Bola de acero	-
				Densidad aparente	Balanza	-
				Microscopia electrónica de barrido	Microscopio electrónico de barrido	-

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

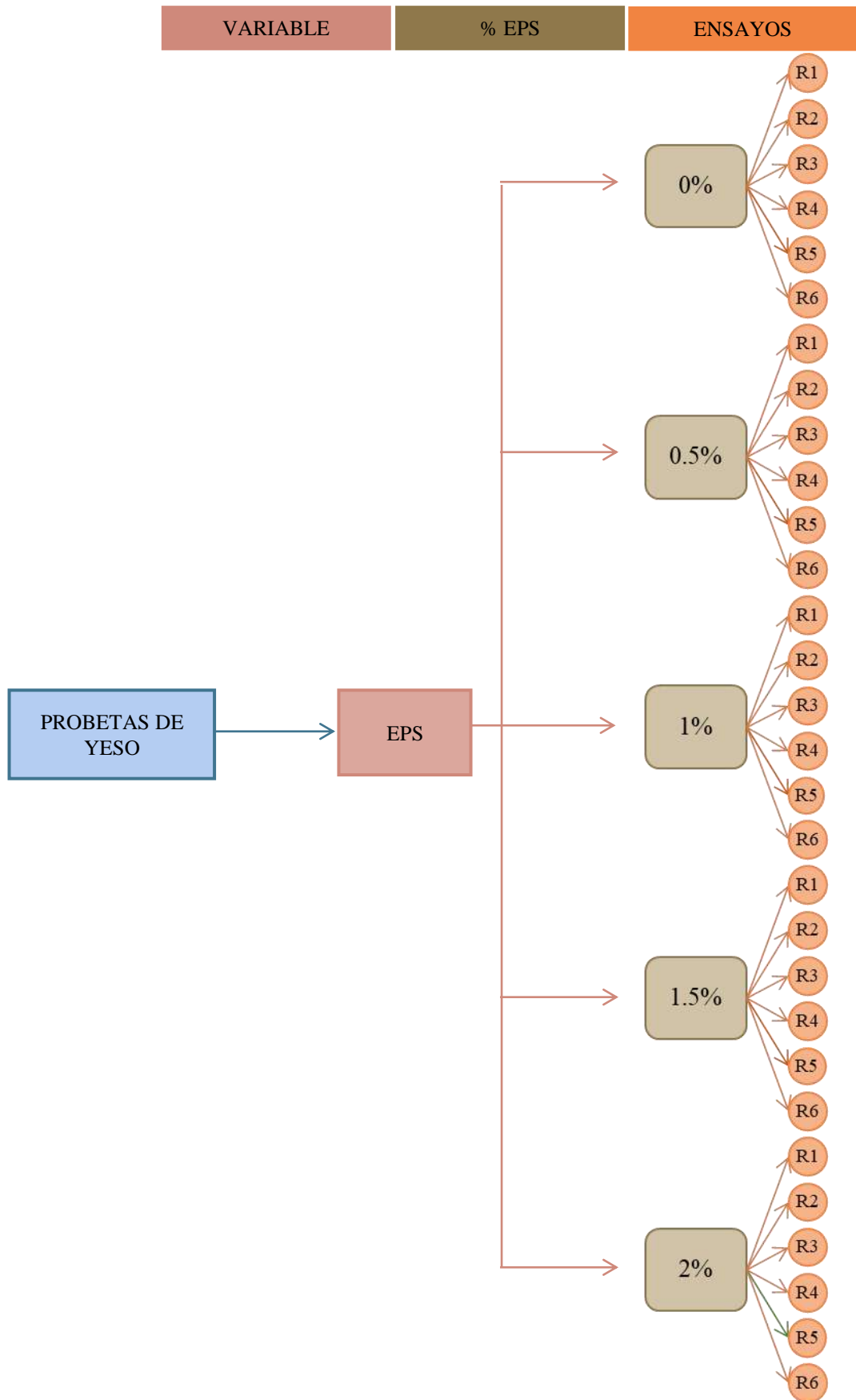


Gráfico 1-2: Análisis de variables con respecto al número de muestras

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.4. Matriz de Consistencia

Tabla 3-2: Matriz de consistencia entre los objetivos, problemas e hipótesis

Aspectos Generales				
Problema General		Objetivo General	Hipótesis General	
La contaminación ambiental y el uso indiscriminado de plásticos de un solo uso han generado millones de desperdicios que atentan contra en medio ambiente, el uso de uno de estos derivados del petróleo como lo es el poliestireno expandido disminuirá la cantidad presente de este residuo en el planeta, mientras brinda un beneficio en el sector de la construcción		Utilizar poliestireno expandido como agregado de construcción en el material yeso	Al utilizar poliestireno expandido como agregado de construcción en el material yeso, posee cualidades semejantes o superiores al producto comercial resultando un material de construcción viable	
Aspectos Específicos				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	VARIABLES DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	Técnicas de recolección de datos
La recolección del poliestireno expandido de un solo uso tanto del utilizado como envase como del utilizado para recubrimiento de objetos	Identificar las características del poliestireno expandido reciclado utilizado como materia prima	Las características del poliestireno expandido reciclado muestran resultados adecuados que le permiten actuar como materia prima en placas de yeso laminado	Poliestireno expandido reciclado y Velocidad	Experimentación por medio de pruebas de flexión, compresión, tracción e IR
El poliestireno expandido es un termoplástico de baja densidad, el cual se desea colocar como relleno para placas de yeso, entonces se desea conocer las proporciones adecuadas en la placa de yeso	Determinar las concentraciones adecuadas del poliestireno expandido en la mezcla	El porcentaje de poliestireno expandido en la mezcla es menor al 3 % presentando buenos resultados físicos	% Yeso, %EPS, % Acoplante, % Agua, % Celulosa	Experimentación con ensayos preliminares

<p>Al agregar poliestireno expandido en las placas de yeso, cambia la composición del material por lo cual, es necesario verificar que el producto final tenga funcionalidad</p>	<p>Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas del producto obtenido</p>	<p>Las propiedades físicas y mecánicas del producto obtenido son favorables porque se asemejan a las propiedades de la placa referencial</p>	<p>Probetas con diferentes concentraciones de EPS</p>	<p>Realización de pruebas de flexión, deformación bajo carga, dureza superficial, densidad aparente y microscopía electrónica de barrido.</p>
--	---	--	---	---

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.5. Tipo y Diseño de Investigación

2.5.1. Método inductivo

Este método se basa en definir una posible conclusión a partir de las premisas existentes, por lo cual se concluirá que el poliestireno expandido actuará como un buen relleno en las placas de yeso acoplándose de forma correcta a los diversos materiales que lo componen gracias al acoplante utilizado.

2.5.2. Método deductivo

La aplicación del método consiste en la realización de un procedimiento a seguir, en donde la combinación de materiales dependerá de cada una de las características de los componentes agregados como materia prima. Con la observación del producto final y en la ejecución del proceso, se podrá ver el comportamiento que cada uno de ellos tuvo con respecto a la dosificación planteada por medio de la investigación, y de acuerdo al resultado final se llegará a conclusiones donde se aceptará, modificará o cambiará parte del proceso con el fin de una mejor obtención de resultados.

2.5.3. Método experimental

El presente trabajo es de tipo experimental debido a que su desarrollo se basa en la experimentación de materiales alternativos. Esta metodología fue adaptada debido a que, al realizarse placas de yeso con distintos porcentajes de EPS, nos muestran diferencias respecto a estos cambios. Por lo tanto, en este estudio se seleccionan las materias primas a utilizar, así como la cantidad de cada una de ellas con respecto a una referencia, el número de probetas que serán necesarias para obtener resultados confiables y la interpretación de los mismos.

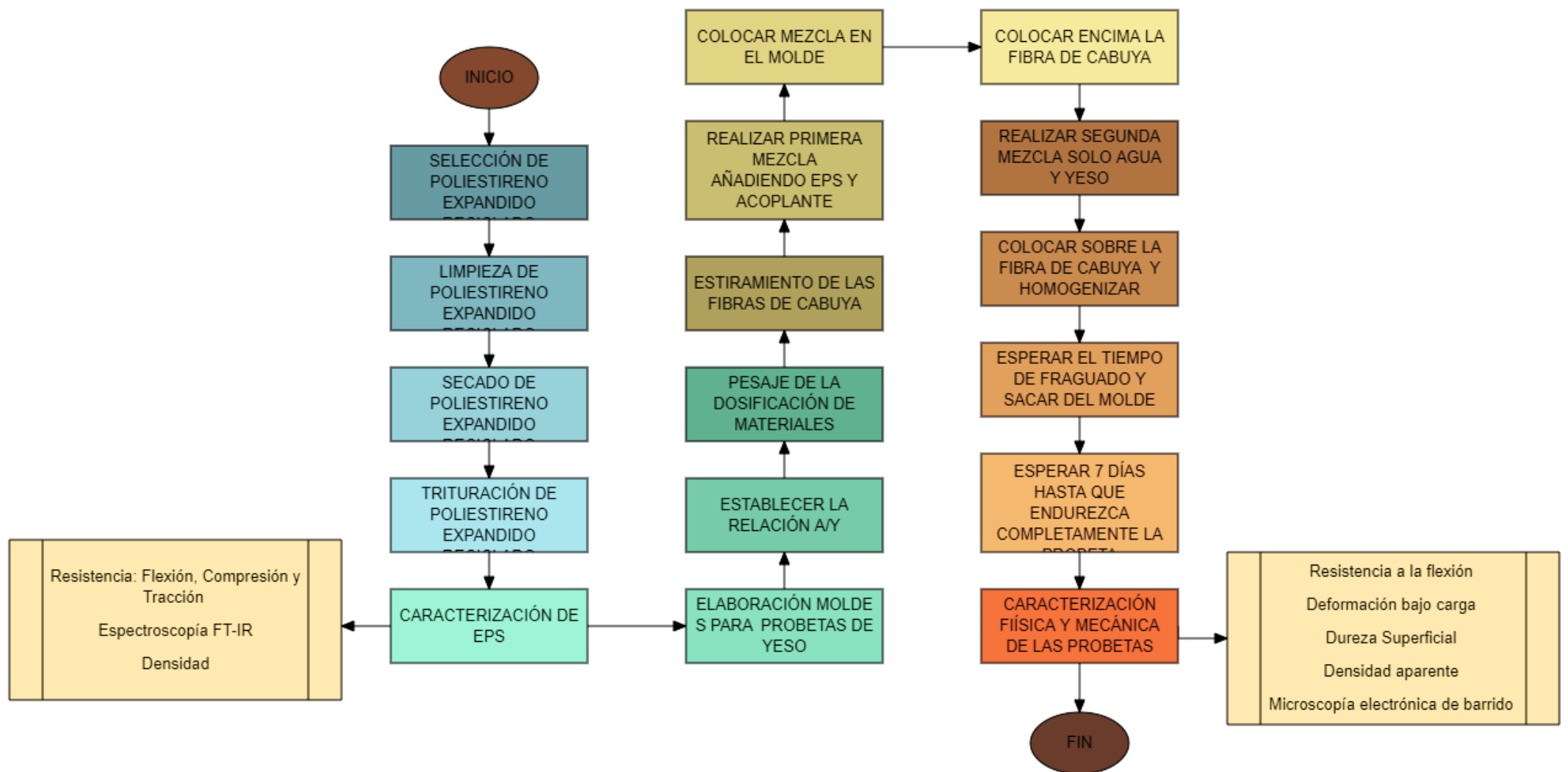


Gráfico 2-2: Procedimiento para la elaboración de placas de yeso laminado

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.6. Unidad de Análisis

Se analizarán todas las materias primas necesarias para la fabricación de las placas de yeso, debido a que cada una influye directamente sobre el producto, pero principalmente al poliestireno expandido agregado debido a que es un nuevo material que se desea incorporar mientras que materiales como yeso, cabuya y agua, ya han sido utilizados juntos desde hace mucho tiempo, pero aun así no se conoce la reacción tanto física como química que estos tienen en el EPS.

2.7. Población de Estudio

Para conocer cuál es la población de estudio es necesario conocer el objetivo principal de la investigación, así como la metodología a emplearse.

La investigación está relacionada directamente con la ingeniería de materiales, al tratar de mejorar las placas de yeso con la adición de EPS, para la cual se realizan probetas que conforman la población debido a que su estudio proporcionará la afirmación o negación de la hipótesis.

La metodología consiste en la fabricación de 30 probetas de yeso, donde cada 6 probetas corresponden a una cierta proporción de EPS. Estas serán sometidas a los ensayos de resistencia de flexión, deformación bajo carga, dureza superficial de la placa, densidad aparente y microscopía electrónica de barrido después de los 7 días de endurecido.

2.8. Tamaño de Muestra

La población de estudio representa cada una de las probetas obtenidas para cada ensayo, es decir son 30 probetas con yeso, de las cuales 24 corresponden a la mezcla con poliestireno expandido.

2.9. Selección de muestra

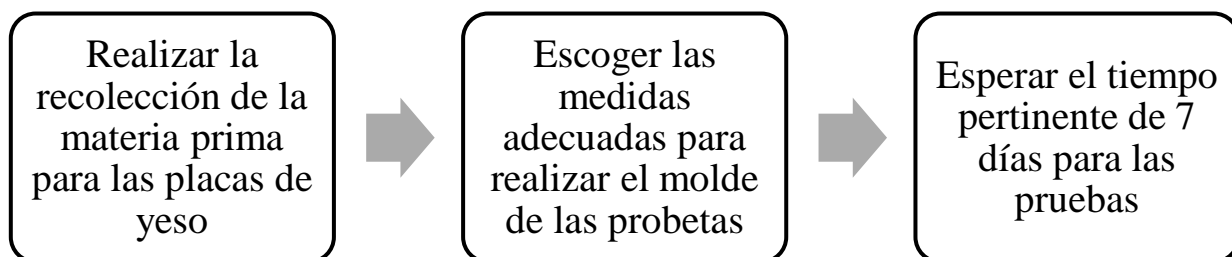


Gráfico 3-2. Pasos para la selección de muestra

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10. Técnicas de Recolección de Datos

2.10.1. Recolección de materia prima

Tabla 4-2: Procedimiento para la recolección de poliestireno expandido

Procedimiento
Acopio de poliestireno expandido como envases de alimento y protectores de productos
Lavado con detergente y agua
Secado al ambiente 20-22°C
Cortado de poliestireno expandido en pequeños retazos
Trituración de poliestireno expandido con ayuda de cuchillas
Obtención de poliestireno expandido de 3mm-5mm

Fuente: Zhunio y Lituma, 2015

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10.2. Caracterización de poliestireno expandido reciclado

2.10.2.1. Determinación a la resistencia de flexión

Tabla 5-2: Ensayo de resistencia de flexión

Fundamento	Materiales	Técnica
Este método sirve para evaluar el comportamiento por esfuerzo y deformación, así como también la resistencia a la flexión del material. En este ensayo la parte superior de la probeta está sometida a la compresión y la inferior a la tracción.	Probetas de poliestireno expandido	Moldear probetas prismáticas cuadrangulares de 15 cm de espesor por 15 cm de ancho por 50 cm de longitud
		Medir el ancho y espesor de las probetas
	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B	Ajustar la distancia con los apoyos, con una precisión de 0,5%
		Ajustar la distancia entre apoyos L a un valor que cumpla con la ecuación: $L = (16 \pm 1) \times \text{espesor medio}$.

		Para muestras normales L= 64 mm
		Determinar la curva esfuerzo en flexión/ deformación en flexión con la velocidad de ensayo

Fuente: Segura, 2018

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10.2.2. Determinación a la resistencia de compresión

Tabla 6-2: Ensayo de resistencia de compresión

Fundamento	Materiales	Técnica
Este método sirve para medir la resistencia mecánica y la capacidad del material a la deformación por las fuerzas estáticas en dirección a su eje longitudinal, donde el material llega hasta la rotura o suspensión.	Probetas de poliestireno expandido	Moldear probetas cilíndricas de 7 cm de diámetro y 14 cm de altura
		Se miden las dimensiones de cada muestra
	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B	Colocar la muestra o probeta de forma centrada entre los cabezales
		Comprimir a velocidad uniforme
		Registrar los datos de tensión, deformación, carga y desplazamiento

Fuente: NTE INEN-ISO 11248.

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10.2.3. Determinación de tracción

Tabla 7-2: Ensayo de tracción

Fundamento	Materiales	Técnica
Este método consiste en deformar la probeta en dirección axial hasta su rotura, tomando en cuenta la continua deformación producida con su respectiva carga.	Probetas de poliestireno expandido	Moldear probetas de acuerdo a la Norma NTE INEN-ISO 604
		Determinar la velocidad a la cual se producirá el ensayo
		Colocar la muestra de manera en que su alineación sea axial
	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B	Colocar un extensómetro calibrado, antes de aplicar esfuerzo
		Aplicar la fuerza correspondiente a la probeta para la deformación

Fuente: NTE INEN-ISO 11248.

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10.2.4. Determinación de Espectroscopia de Transmisión de Infrarrojo

Tabla 8-2. Espectroscopia de Transmisión de Infrarrojo

Fundamento	Materiales	Técnica
Es una técnica de espectroscopía molecular, en la cual se obtiene información estructural de la materia.	Gránulo de Poliestireno expandido 3mm-5mm	Encender el equipo
		Calibrar el equipo
		Colocar la muestra en el equipo

	Perkin - Elmer 100 FTIR Spectrum.	Registrar las ondas donde se produzca el pico más alto
		Identificar el espectro y bandas obtenidas
		Apagar el equipo

Fuente: Pérez et al., 2016

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10.3. Elaboración de placas de yeso con adición de poliestireno expandido

2.10.3.1. Determinación de la relación agua/yeso

Tabla 9-2: Determinación de la relación agua/yeso

Fundamento	Materiales	Técnica
El método realizado es el amasado a saturación, el que consiste en determinar la cantidad en gramos de masa de yeso suficiente o necesaria para saturar 100 gramos de agua	Vaso de precipitación 250 mL	Colocar marcas en el vaso de precipitación a los 16 y 32 mm
	Yeso Comercial	Pesar 100 gramos de agua en el vaso de precipitación previamente tarado
	Agua Potable	Espolvorear el yeso uniformemente hasta la primera marca en los primeros 30 segundos
	Cronómetro	Continuar espolvoreando el yeso hasta la segunda marca hasta los 90 segundos

	Balanza	Continuar espolvoreando por 20- 40 segundos posteriores hasta desaparecer la capa de agua
		Determinar la masa final
		Realizar cálculos

Fuente: Briones, 2018

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10.3.2. Determinación del tiempo de fraguado

Tabla 10-2: Determinación del tiempo de fraguado

Fundamento	Materiales	Técnica
El método realizado es el de cuchillo, en donde el tiempo se define como los minutos en el que al producir un corte en la mezcla A/Y, las esquinas dejan de acercarse	Vaso de precipitación 250 mL	Prender el cronómetro
	Yeso Comercial	Mezclar el agua y el yeso, según la relación previamente obtenida
	Agua Potable	Colocar la mezcla sobre las placas de vidrio de manera que formen tres galletas de 100-120 mm de diámetro y 5 mm de espesor
	Espátula	Cortar en dos de las galletas para obtener el t1, cuando sus bordes ya no se unan
	Cuchillo	Limpiar el cuchillo después de cada corte

	Placas de vidrio	Ejercer presión sobre la superficie de la tercera galleta, al no dejar huella se obtiene el t2
	Cronómetro	Detener el cronómetro
	Recipiente	Realizar los cálculos

Fuente: UNE-EN 13279-1

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10.3.3. Dosificación

Para la realización de las probetas es necesario conocer las cantidades de cada una de las materias primas involucradas en las placas de yeso, por lo cual se realizó una experimentación anterior de prueba y error para conocer las cantidades adecuadas de los demás materiales de acuerdo al EPS agregado.

Tabla 11-2: Proporciones en peso para elaborar placas de yeso con poliestireno expandido

N°	Composiciones									
	Yeso		Agua		Celulosa		Acoplante		Poliestireno Expandido	
	%	(g)	Relación A/Y	(mL)	%	(g)	%	(g)	%	(g)
1	100	1143	0,7	800	0,6	7	0	0	0	0
2		1000		700		6	5	50	0,5	5
3		1000		700		6	5	50	1	10
4		1000		700		6	5	50	1,5	15
5		1000		700		6	5	50	2	20

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10.4. Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del producto

2.10.4.1. Determinación de la resistencia de flexión

Tabla 12-2: Ensayo de resistencia de flexión

Fundamento	Materiales	Técnica
La resistencia a flexión en las placas de yeso laminado se caracteriza por medio de su	2 probetas de 400 mm x 230 mm en sentido longitudinal y transversal por cada placa	Desecar de forma constante a 40°C las probetas

<p>carga de rotura a flexión</p> <p>El método consiste en aplicar una carga controlada que se incrementa sobre las probetas hasta producir rotura</p>	<p>Dispositivo de carga con una precisión del 2%</p>	<p>Colocar cada probeta en el dispositivo de carga, con cara hacia abajo la probeta longitudinal y con cara hacia arriba la probeta cortada en dirección transversal</p>
		<p>Aplicar carga a una velocidad de (250 ±125) N/min de forma paralela a los apoyos</p>
		<p>Registrar los valores de carga de rotura</p>

Fuente: NTE INEN-EN 520, 2018

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10.4.2. Determinación de la deformación bajo carga

Tabla 13-2: Ensayo de deformación bajo carga

Fundamento	Materiales	Técnica
<p>El método consiste en registrar de forma continua la deformación en función de la carga aplicada.</p> <p>Se calcula como la media bajo la carga de tres probetas transversales y longitudinales</p>	<p>2 probetas de 400 mm x 230 mm en sentido longitudinal y transversal por cada placa</p> <p>Dispositivo de carga con una precisión del 2%</p>	<p>Desecar de forma constante a 40°C las probetas</p>
		<p>Colocar cada probeta en el dispositivo de carga, con cara hacia abajo la probeta longitudinal y con cara hacia arriba la probeta cortada en dirección transversal</p>
		<p>Aplicar carga a una velocidad de (250 ±125) N/min de forma paralela a los apoyos</p>
		<p>Registrar los valores de carga de rotura de forma continua</p>

Fuente: NTE INEN-EN 520, 2018

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10.4.3. Determinación de la dureza superficial de la placa

Tabla 14-2. Ensayo de dureza superficial de la placa

Fundamento	Materiales	Técnica
El método consiste en determinar la huella superficial generada por el impacto de una bola de acero pequeña que se deja caer desde una altura determinada	Bola de acero de 50 mm de diámetro y 510 g de masa	Acondicionar la probeta hasta masa constante a 40°C
	Mesa rígida plana y horizontal	Colocar la probeta cara arriba sobre una mesa rígida y cubrir con papel carbón
	Regla graduada	Colocar la bola entre los anclajes del soporte a una distancia de 500 mm desde la parte baja de la esfera hasta la superficie de la placa
	Probeta de 300 mm x 230 mm de la placa de yeso	
	Papel carbón	Dejar caer la bola sobre la placa
		Quitar papel carbón y medir el diámetro coloreado de la huella sobre la placa
	Repetir el ensayo tres veces sobre la misma probeta	

Fuente: NTE INEN-EN 520, 2018

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10.4.4. *Determinación de la densidad aparente*

Tabla 15-2: Ensayo determinación de densidad aparente

Fundamento	Materiales	Técnica
El método consiste en calcular la densidad partiendo de la masa y de las dimensiones de la probeta	Cinta métrica graduada	Se preparan seis probetas según las especificaciones
	Micrómetro	Pesar las probetas
	Balanza	Medir las dimensiones de las probetas
	Probetas de 400 mm x 230 mm en sentido longitudinal y transversal	

Fuente: NTE INEN-EN 520, 2018

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

2.10.4.5. *Microscopía electrónica de barrido*

Tabla 16-2: Determinación de imágenes por microscopía electrónica de barrido

Fundamento	Materiales	Técnica
-------------------	-------------------	----------------

El método consiste en obtener imágenes con alta resolución, con la finalidad de analizar sus características estructurales, morfológicas, porosidad y composición química	Microscopio electrónico de barrido	Encender el equipo
	Muestras de 5 x 5 mm de las distintas formulaciones de las placas de yeso	Colocar las muestras en el microscopio
		Observar las muestras en el microscopio
		Analizar la estructura de cada una de las muestras
	Apagar el equipo	

Fuente: Muñoz y Narvaéz, 2019

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Parámetros para la elaboración de placas de yeso

3.1.1. Relación agua/yeso

La dosificación parte de la relación agua/yeso, es la cantidad de agua respecto al yeso. Esta es una de las principales características que determinará la resistencia del material, debido a que con una mayor cantidad de agua que la necesaria provocará que el yeso se ablande.

La relación de agua/yeso realizada por amasado a saturación se realiza espolvoreando yeso sobre una cierta cantidad de agua hasta que la superficie deje de humedecerse debido a la ausencia de volumen de agua. La fórmula para determinar la relación agua/ yeso es la siguiente (Nácher, Arias y Donnay 2017):

$$R = \frac{100 \text{ g } H_2O}{(M_{H_2O} + M_{vaso} + M_{yeso}) - (M_{vaso} + M_{H_2O})}$$

Tabla 1-3: Resultados de los ensayos relación agua/yeso de amasado por saturación

N°	M _{H₂O} (g)	M _{vaso} (g)	M _{yeso} (g)	R
1	100	106	140	0,71
2	100	106	145	0,69
3	100	106	144	0,69
4	100	106	142	0,70
5	100	106	139	0,72
6	100	106	143	0,70

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

En promedio de las seis repeticiones realizadas, se obtuvo una relación A/Y= 0,7. Según González 2017, en los resultados hallados en su investigación con poliestireno extruido determinó que la relación A/Y= 0,7, cuando el porcentaje de poliestireno es de hasta el 3% sin embargo a medida que aumenta la cantidad de poliestireno añadido aumenta también la relación.

3.1.2. Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado es el tiempo en donde el yeso pasa de estado líquido a estado plástico endurecido. Para la determinación de este tiempo, se utiliza el método del cuchillo en donde

obtenemos t_0 (inicio de la reacción agua yeso), t_1 (pasa de estado líquido a plástico) y t_2 (duración de estado plástico).

$$T = (t_2 - t_0) - (t_1 - t_0)$$

Tabla 2-3: Resultados de los ensayos de tiempo de fraguado por el método del cuchillo

N°	t0 (min)	t1 (min)	t2 (min)	T(min)
1	0	9	38	29
2	0	8	36	28
3	0	10	41	31
4	0	9	39	30
5	0	9	37	28
6	0	10	42	32

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

El método se lo realizó seis veces, para obtener un dato promedio real, los tiempos expresados en minutos fueron elevados a su inmediato superior con el fin de obtener datos más precisos. El tiempo promedio experimental de fraguado fue de 30 minutos, el cual se encuentra en el límite de trabajabilidad de yeso de rápido fraguado (Navarra 2004).

Tabla 3-3: Características cualitativas del producto para determinar el tiempo de fraguado cuando se añade EPS

	Características	Tiempo de fraguado (minutos)			
		30	35	40	45
Prueba	<i>Apariencia</i>	0	0	1	2
	<i>Trabajabilidad</i>	0	1	1	2
	<i>Resistencia a torsión</i>	0	0	0	1
	<i>Resistencia a presión</i>	0	1	1	2
	<i>Resistencia a caída</i>	0	0	1	2
	TOTAL	0	2	4	9

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Sin embargo, al momento de realizar las probetas se utilizó un tiempo promedio de 45 minutos por placa debido a que el método solo permite un análisis de fraguado entre yeso y agua, y en la

experimentación se utilizó acoplante junto con el poliestireno expandido. Los 15 minutos adicionales fueron propuestos, gracias a la experimentación previa realizada.

3.2. Caracterización del poliestireno expandido reciclado

3.2.1. Densidad del Poliestireno Expandido Reciclado

Conocer la densidad del poliestireno expandido reciclado es importante porque permite conocer el volumen que ocupará con sus diferentes dosificaciones en las probetas, debido a que el porcentaje de EPS esta dado de acuerdo a la masa total del yeso, por lo cual, aunque parecen cantidades ínfimas, al tener una baja densidad para completar el valor requerido se necesitan cantidades que aportan con grandes volúmenes.

Tabla 4-3: Datos de los pesos tomados para determinar la densidad

N°	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Densidad(kg/m ³)
1	50	0,8946	17,892
2		0,8478	16,956
3		0,889	17,78
4		0,7507	15,014
5		0,8422	16,844
6		0,8419	16,838

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

De las distintas densidades, obtenemos un promedio para determinar la densidad general de todo el poliestireno reciclado utilizado, la cual es 16,89 kg/m³, lo que significa una densidad aparente teórica de 17 kg equivalentes a 1 m³.

3.2.2. Determinación de Espectroscopía Infrarroja FT-IR

El reciclaje de plástico cada vez, es un practica más recurrente, sin embargo, presenta dificultades en su proceso. Empezando por la clasificación, que permite obtener polímeros de la misma especie, para evitar la alteración de las propiedades mecánicas y físicas del nuevo material, debido a que a simple vista productos plásticos pueden mezclarse fácilmente al parecer físicamente de la misma especie, pero finalmente al mostrar un análisis químico son completamente diferentes.

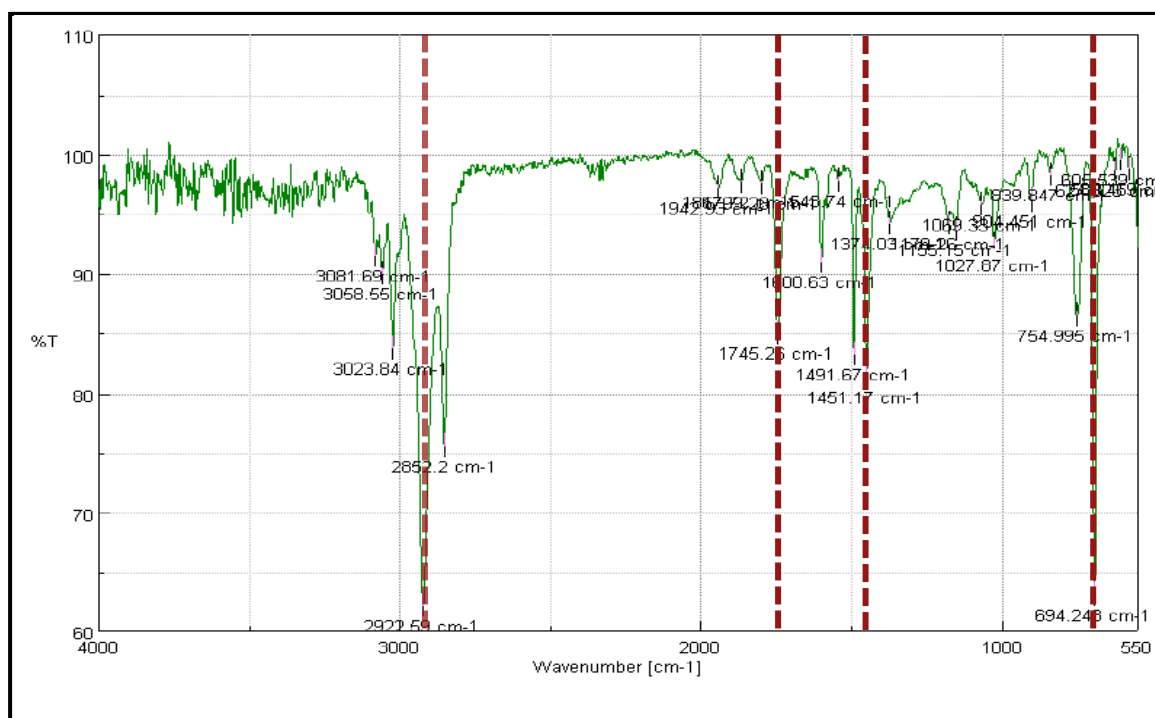
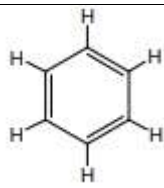
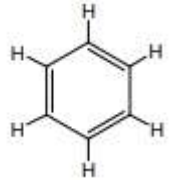


Gráfico 1-3: Espectro IR de la muestra de poliestireno expandido reciclado de envases desechables

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Tabla 5-3: Análisis del espectro IR de la muestra de poliestireno expandido reciclado de envases desechables

Número de onda (cm ⁻¹)	Transmitancia (%)	Fragmento	Vibración
2922,59	62,1742	C-H	C-H Tensión
1451,17	81,3835	C-H ₃	C-H deformación media, asimétrico
754,995	86,5929		C-H deformación, fuera del plano

694,248	63,1168		C-H deformación, fuera del plano
---------	---------	--	-------------------------------------

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

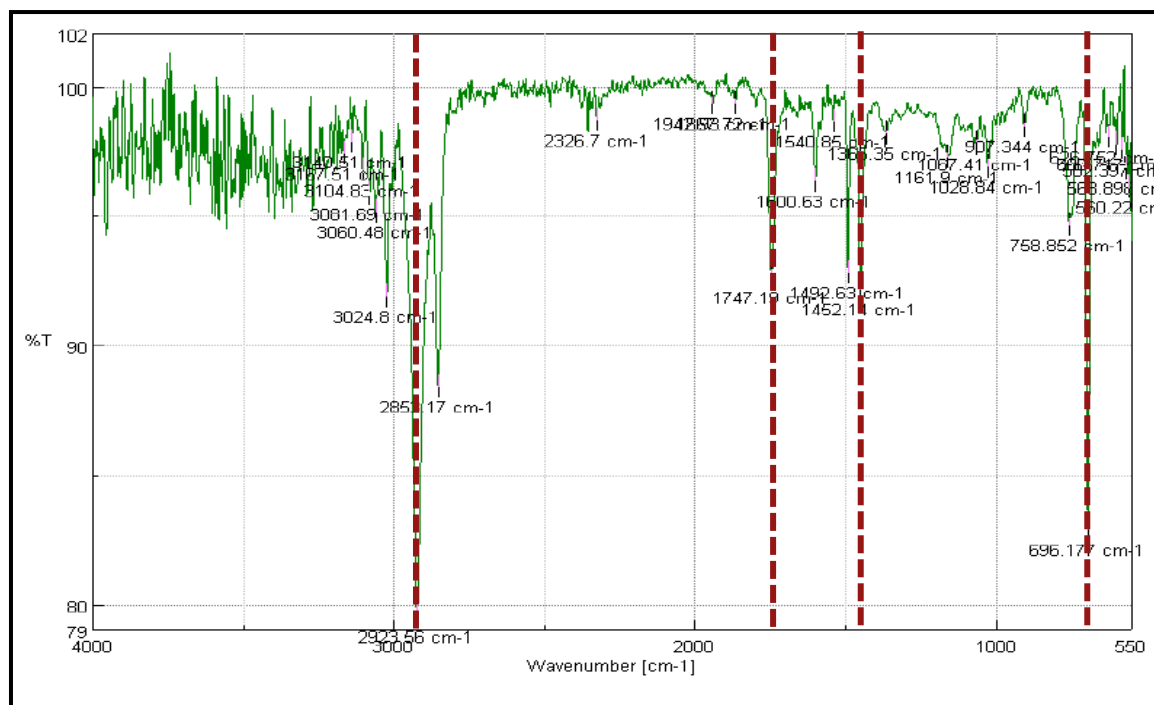
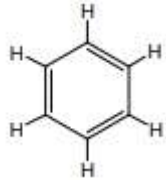
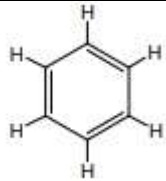


Gráfico 2-3: Espectro IR de la muestra de poliestireno expandido reciclado de embalaje

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Tabla 6-3: Análisis del espectro IR de la muestra de poliestireno expandido reciclado de embalaje

Número de onda (cm ⁻¹)	Transmitancia (%)	Fragmento	Vibración
2923,56	79,5333	C-H	C-H Tensión
1747,19	92,6191	C-H ₃	C-H deformación media, asimétrico

1452,14	92,191		C-H deformación, fuera del plano
696,177	82,8884		C-H deformación, fuera del plano

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Según el análisis de las bandas se puede notar que las estructuras son similares, donde en ambas predominan picos característicos del grupo funcional estireno, representados por vibraciones como 1599,3- 695 cm^{-1} que representan a los compuestos aromáticos, también presenta un número de onda de 2922,91 cm^{-1} que representa el grupo alcano con enlaces R-CH₂-R, -CH₂-(C=O)-(C=N), etilo, n- propilo y el grupo alqueno; estos resultados afirman que los espectros obtenidos son poliestireno expandido (Castro 2017).

3.2.3. Ensayo resistencia a la compresión

El ensayo de compresión en el poliestireno expandido reciclado se lo realizó de manera uniaxial, es decir que el peso solo cayo en uno de sus puntos. Este se lo conoce como el punto de carga el cual al momento de romperse por la prueba de compresión indica la capacidad máxima de carga que posee el material (Arun Solomon y Hemalatha 2020).

El EPS presenta diferentes comportamientos como la visco-elasticidad cuando se encuentra bajo carga, lo cual lo hace distinto a los demás termoplásticos.

Tabla 7-3: Resultados de ensayo de compresión EPS reciclado

Características	Unidad	EPS
<i>Diámetro</i>	Mm	75
<i>Altura</i>	Mm	138
<i>Sección Transversal</i>	mm ²	4417,87
<i>Carga máxima</i>	N	636,25
<i>Esfuerzo máximo</i>	MPa	0,1440

<i>Deformación máxima</i>	Mm	106,09
---------------------------	----	--------

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales, LENMAV

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Según los resultados el esfuerzo máximo capaz de soportar por el poliestireno expandido reciclado es del 144 kPa, lo cual corresponde a una resistencia de compresión mínima a 10% con una densidad aparente de entre 19-22 kg/m³, debido a que la densidad aparente presenta una relación directamente proporcional, es decir, si la densidad es baja la resistencia a la compresión también.

Sin embargo, la densidad aparente obtenida fue de 17 kg/m³, estos cambios de valores se producen por el cambio de los esfuerzos de compresión de acuerdo al tiempo de fabricación, temperatura y exposición que la materia prima haya experimentado. Por lo cual, al utilizar EPS reciclado, no se conoce con certeza los procesos anteriores a los que hayan sido expuestos antes del lavado (Ashby y Jones 2012).

3.2.4. *Ensayo de flexión*

Tabla 8-3: Resultados de ensayo de flexión de EPS reciclado

Características	Unidad	EPS
<i>Espesor</i>	Mm	85
<i>Ancho</i>	Mm	140
<i>Longitud entre apoyos</i>	Mm	400
<i>Sección Transversal</i>	mm ²	11900
<i>Carga Máxima</i>	N	34,53
<i>Esfuerzo Máximo</i>	MPa	0,0205
<i>Flecha Máxima</i>	Mm	23,79

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales, LENMAV

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Se conoce como la resistencia de fractura del material y consiste en determinar el valor de rotura máximo de flexo tracción. En el poliestireno expandido reciclado utilizado, se dio un valor promedio de 34,53 N de carga máxima que, respecto al 46,5 N obtenidos en una investigación de EPS reciclado de la industria de alimentos, es debido a que la muestra trabaja con EPS reciclado al 10%, es decir, que los enlaces unidos por las fuerzas de Van der Waals son más fuertes en presencia de EPS puro (Barrera 2016).

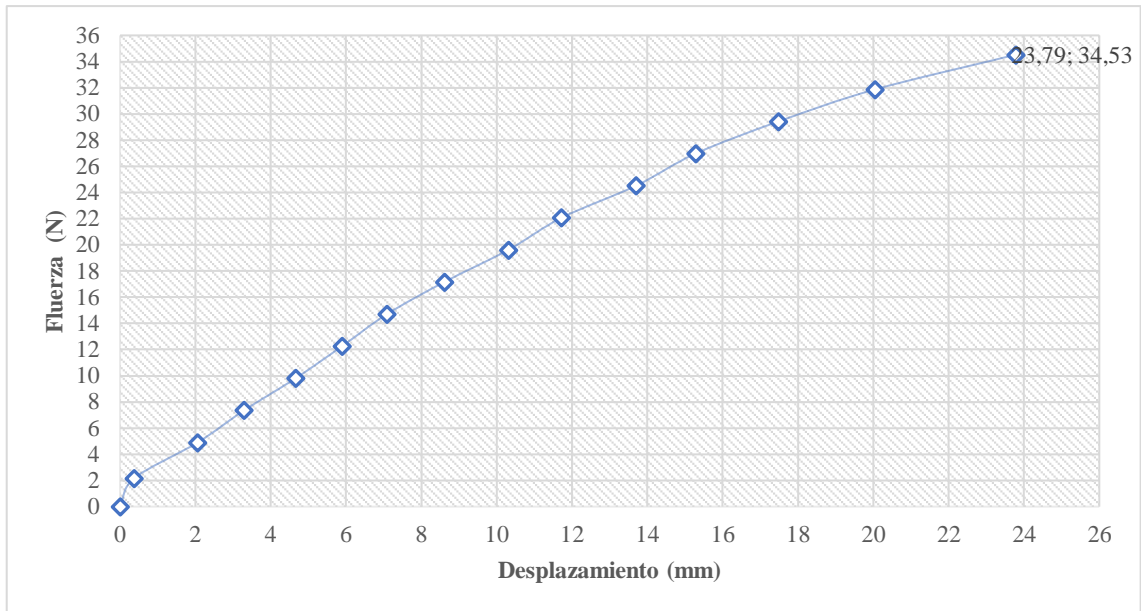


Gráfico 3-3: Curva Fuerza vs Desplazamiento del ensayo de flexión

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

En la gráfica 6-3 se muestra el último punto, que representa el valor de carga máxima y flecha máxima obtenidos, es decir, la carga máxima soportada por el material y el desplazamiento que este produce.

3.2.5. Ensayo de tracción

Tabla 9-3: Resultados de ensayo de tracción de EPS reciclado

Características	Unidad	EPS
<i>Espesor</i>	Mm	4,75
<i>Ancho</i>	Mm	10,17
<i>Longitud inicial</i>	Mm	25
<i>Sección Transversal</i>	mm ²	48,31
<i>Módulo de elasticidad</i>	MPa	2,552 E + 00
<i>Carga de fluencia</i>	N	8,89
<i>Esfuerzo de fluencia</i>	MPa	0,18
<i>Carga Máxima</i>	N	9,13
<i>Esfuerzo Máximo</i>	MPa	0,19

Porcentaje de Elongación	%	11,83
--------------------------	---	-------

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales, LENMAV

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

El módulo de elasticidad o módulo de Young es un factor que permite determinar la elasticidad de un material en función a la fuerza aplicada y longitud del material, en este caso el factor fue de 2,552 MPa que respecto a otros módulos es menor debido a la densidad del EPS, es decir, el material tiene una relación directamente proporcional donde a mayor densidad, presenta mayor resistencia y rigidez (Segura 2018).

3.3. Análisis estadístico

En la estadística se utilizó el software InFostat, para realizar un análisis de varianza (ANOVA), que permita identificar si existen variables significativas entre las medidas de las medias de cada una de las probetas analizadas. Se utilizó el método Turkey para conocer si las probetas corresponden a un mismo conjunto o difieren del mismo.

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
LONGITUD	25	0.19	0.02	0.50		
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	0.18	4	0.05	1.15	0.3622	
Poliestireno Expandido	0.18	4	0.05	1.15	0.3622	
Error	0.80	20	0.04			
Total	0.99	24				
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.41507						
Error: 0.0401 gl: 20						
Poliestireno Expandido	Medias	n	E.E.			
1.50	40.33	5	0.09 A			
1.00	40.25	6	0.08 A			
2.00	40.17	6	0.08 A			
0.50	40.15	6	0.08 A			
0.00	40.04	2	0.14 A			
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)						

Gráfico 4-3: Análisis ANOVA de la longitud de las probetas

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ANCHURA	25	0.18	0.02	0.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.20	4	0.05	1.10	0.3841
Poliestireno Expandido	0.20	4	0.05	1.10	0.3841
Error	0.91	20	0.05		
Total	1.11	24			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.44200
 Error: 0.0455 gl: 20

Poliestireno Expandido	Medias	n	E.E.
2.00	23.50	6	0.09 A
1.00	23.35	6	0.09 A
1.50	23.33	5	0.10 A
0.00	23.29	2	0.15 A
0.50	23.25	6	0.09 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Gráfico 5-3: Análisis ANOVA de la anchura de las probetas

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
ESPESOR	25	0.41	0.29	14.26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.41	4	0.10	3.50	0.0254
Poliestireno Expandido	0.41	4	0.10	3.50	0.0254
Error	0.58	20	0.03		
Total	0.99	24			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.35390
 Error: 0.0291 gl: 20

Poliestireno Expandido	Medias	n	E.E.
2.00	1.36	6	0.07 A
1.50	1.32	5	0.08 A
1.00	1.12	6	0.07 A
0.00	1.07	2	0.12 A
0.50	1.06	6	0.07 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Gráfico 6-3: Análisis ANOVA del espesor de las probetas

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

El análisis se lo realizó para cada una de variables dependientes como son: longitud, ancho y espesor, donde en cada uno se obtuvo un p-valor correspondiente a 0,3622, 0,3841 y 0,0254.

Estos valores cumplieron con $p > 0,05$ en los dos primeros casos, lo que significa que sus valores no son significativamente diferentes. Sin embargo, para el análisis del espesor, se descartó la posibilidad de diferencia por medio del método Turkey, donde cada una de las variables de clasificación se representó con una misma letra, indicando que no son significativamente diferentes, entonces las probetas a analizar pertenecen a un mismo grupo.

3.4. Resultados de la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas

3.4.1. Resultados de la densidad aparente

Tabla 10-3: Densidad aparente de las probetas con distintas cantidades de EPS

Poliestireno Expandido	0%	0,50%	1%	1,50%	2%
Densidad (kg/m ³)	1096,3	1077,7	992,8	851,8	847,3

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

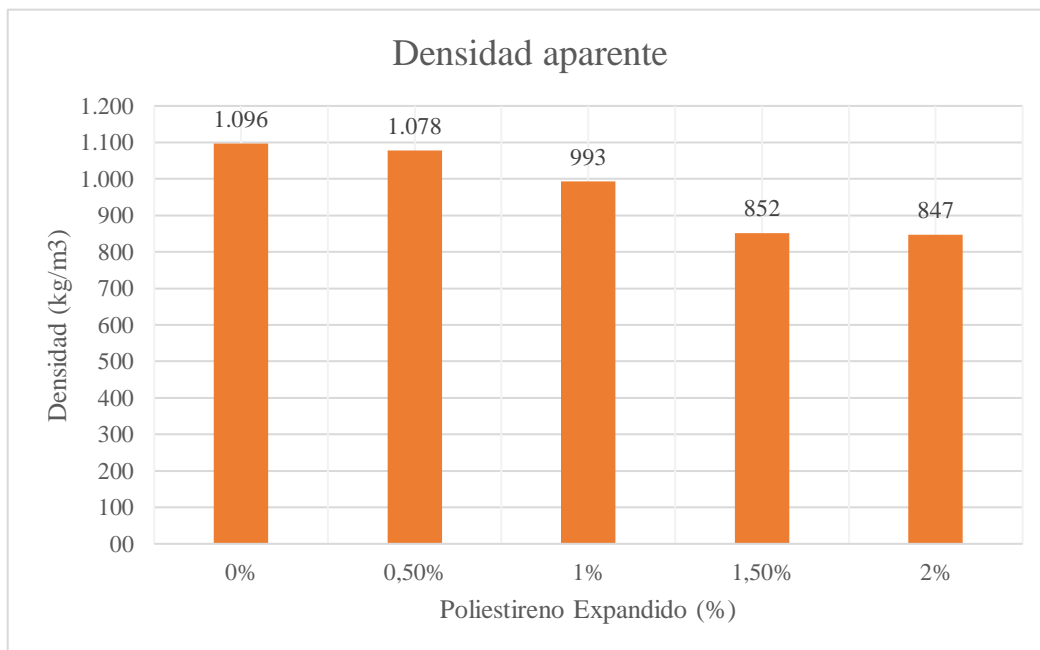


Gráfico 7-3: Comparación de las densidades aparente con respecto al porcentaje de EPS

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Como se observa en la Tabla 28-3., la densidad aparente de las placas va disminuyendo mientras existe mayor cantidad de poliestireno expandido, esto debido al volumen que ocupa el polímero con respecto al yeso, que, aunque su porcentaje puede parecer mucho menor, al tener una densidad aparente 17 kg/m³ esta ocupa un volumen considerable con respecto a la placa total; esto concuerda con la investigación de González en 2008, quien afirma que la disminución de densidades se da por el aumento de la proporción de agua en el amasado o por el aumento de la relación de residuos de poliestireno expandido en la mezcla.

3.4.2. Resultados del ensayo de flexión

Tabla 11-3: Resultados de los ensayos de flexión para cada probeta

Pruebas	Unidad	0%		0,50%		1%		1,50%		2%	
		L	T	L	T	L	T	L	T	L	T
<i>Carga Máxima</i>	N	153,02	46,78	162,26	99,54	129,05	83,55	160,79	135,92	126,9	123,37
<i>Esfuerzo Máximo</i>	MPa	33,07	10,47	27,34	20,53	22,19	14,09	14,88	21,6	14,18	16,91
<i>Flecha Máxima</i>	Mm	24,93	40,1	21,19	23,49	12,02	22,56	11,99	31,8	21,62	27,49

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales, LENMAV

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

En la Tabla 30-3 se puede observar que por porcentaje de poliestireno existen dos muestras L que hace referencia a la probeta cortada de forma longitudinal y T a la probeta cortada de manera transversal. Esto se realiza tanto en el ensayo a flexión como en el de deformación bajo carga debido a la anisotropía, una propiedad de la materia que, según la dirección de análisis de la misma, cambia las propiedades mecánicas (Barrera 2016).

El efecto anisotrópico se evidencia claramente en cada una de las probetas, donde la muestra longitudinal siempre presenta mayor capacidad de resistencia a la flexión que la muestra trasversal debido a la forma de fabricación.

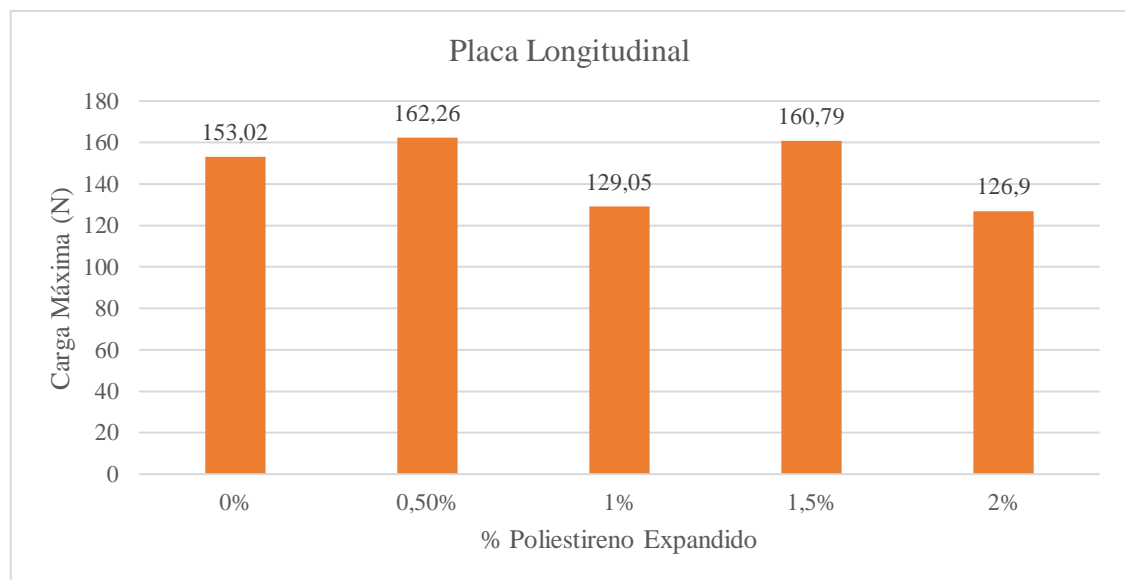


Gráfico 8-3: Comparación de las cargas máximas longitudinales de las probetas

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

En los resultados se puede notar que la probeta longitudinal 1% es mucho menor respecto a 0,5% y 1,5% generando una incongruencia de datos. Analizando cada uno de los pasos de la metodología para la fabricación y realización de ensayos, se notó de la existencia de un parámetro no controlable que se diferencia de la fabricación de las demás placas. Las placas 1% fueron las ultimas en realizarse debido a la experimentación previa prueba y error, donde

primero se realizaron las placas límites con 0,5% y 2% de poliestireno para conocer la factibilidad de realización y por último sus porcentajes intermedios. Entonces las placas 1% se realizaron frente al cambio de clima donde predominaba la lluvia. Aparentemente esto no genera problemas debido al proceso de secado por el que pasa el producto una vez pasado los 7 días de endurecimiento, no obstante según la investigación de D'Orazio y Maracchini en 2019 mediante simulaciones higrotérmicas (temperatura, humedad, velocidad de aire y radiación térmica) demostraron que el poliestireno expandido muestra una gran dependencia respecto a la temperatura y humedad, donde al ser añadido al yeso como material de construcción muestra como peor escenario la simulación donde existe una alta densidad en el ambiente debido al bloqueo de flujo de aire por infraestructura, es decir, el mantenimiento del producto dentro de un lugar cerrado sin ventilación donde la temperatura promedio interior-exterior presenta una gran tasa de cambio, lo cual genera en temporadas de frío mayor riesgo de condensación en la superficie interna de las placas producido principalmente por la insuficiente capacidad de almacenamiento térmico interno del EPS, y la baja transferencia térmica de los materiales construidos con yeso. Por lo cual, las placas de 1%, a pesar de ser sometidas a un proceso de secado, guardan cierta humedad relativa en sus moléculas producto de la gran diferencia de las temperaturas interna y externa del ambiente, generando menor capacidad de resistencia por humedad.

La muestra que posee una mejor resistencia a la flexión, es aquella cuya carga y esfuerzo máximo longitudinal es mayor. Como se observa en la Gráfica 11-2 esta es la muestra con 0,5% de poliestireno expandido, con una carga máxima longitudinal de 162,26 N, lo cual la hace mejor que la placa de referencia sin poliestireno expandido con una carga máxima 153,02 N, esto concuerda con del Rio Merino et al. en 2019 quien en su investigación de mezclas de yeso con poliestireno expandido y extruido concluyó que el producto mantiene la sinergia (propiedades independientes) de la combinación de los materiales, conservando baja densidad en sus productos y brindando mayor resistencia debido al EPS, sin embargo, el uso de otra fibra plástica como el poliestireno extruido ayuda a aumentar esta resistencia debido a que posee las características propias de resistencia y dureza.

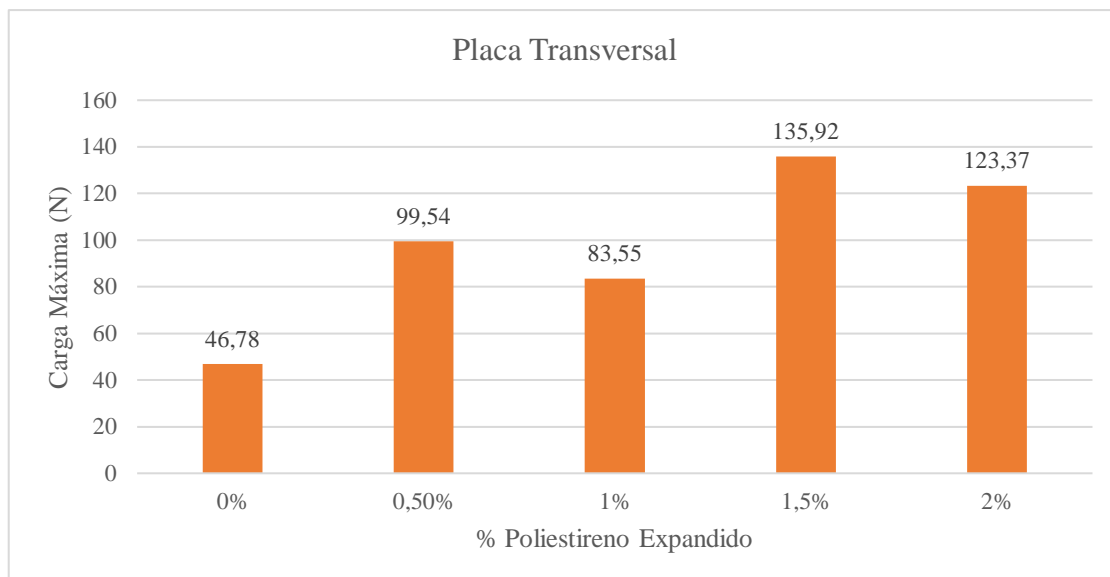


Gráfico 9-3: Comparación de las cargas máximas transversales de las probetas

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021

Sin embargo al observar las muestras de las placas 1,5% y 2% se puede notar que longitudinalmente y transversalmente poseen casi las mismas cargas máximas evitando la anisotropía, esto se debe al volumen de EPS significativo en proporción peso, por lo cual con la cantidad de yeso predispuesta para poder ingresar la mezcla en el molde, se tuvo que realizar una compresión de la misma, de esta manera el yeso llena los espacios vacíos provocados por la adición de poliestireno mejorando la dispersión de la mezcla interna, pero al mismo tiempo menorando la trabajabilidad y provocando acabados poco uniformes en la superficie de la placa. Esto concuerda con la investigación de Romero-Gómez et al. en 2020, en la que el material aumenta su capacidad a medida que aumenta el contenido de fibras plástica, pero al mismo tiempo al alcanzar cierta cantidad de fibras esta debilita la unión entre las partículas internas del yeso y las fibras, mostrando como resultado una alta porosidad que volvió menos compacto al producto, afectando su capacidad de resistencia.

3.4.3. Resultados de ensayo de deformación bajo carga

El ensayo de deformación bajo carga está directamente relacionado con el ensayo de flexión debido a que muestra la resistencia a la flexión por medio del análisis de las cargas respecto a las deformaciones, por lo tanto, también se aplica en las probetas transversal y longitudinal.

Tabla 12-3: Resultados de los ensayos de deformación bajo carga en las probetas

Carga (N)	Deformaciones (mm)									
	0%		0,5%		1%		1,50%		2%	
	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T
10	4,16	0,78	1,37	1,23	0,41	0,56	0,3	0,4	0,84	0,12

20	8,59	1,56	2,04	1,8	0,79	0,9	0,51	0,96	1,12	1,14
30	16,9	2,34	3,06	2,51	1	1,33	0,81	1,04	1,5	1,37
40	25,7	3,15	4,08	2,7	1,22	1,45	0,96	1,23	1,67	1,44
50	-	3,66	5,01	2,93	1,44	1,66	1,05	1,38	1,83	1,66
60	-	4,4	5,42	3,17	1,63	1,81	1,2	1,65	2	1,81
70	-	5,13	6,38	3,44	1,86	2,07	1,31	1,8	2,16	1,96
80	-	5,86	9,46	4	2,11	2,24	1,42	1,99	2,32	2,18
90	-	8,06	11,89	4,5	-	2,44	1,54	2,2	3,2	-
100	-	8,95	13,11	23,49	-	3,72	1,67	2,43	4,02	-

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales, LENMAV

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

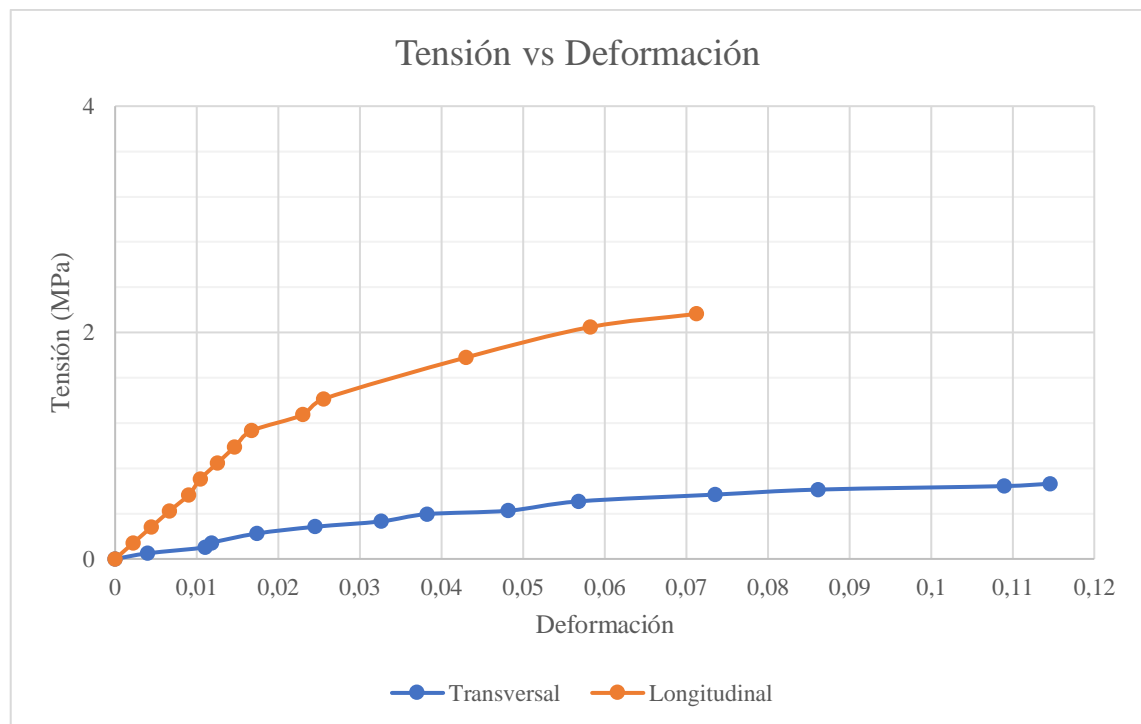


Gráfico 10-3: Curvas Tensión vs Deformación de probetas con 0% de EPS

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Cuando no se agrega poliestireno expandido a la placa, se puede observar que la probeta longitudinal tiene una mayor tensión con poca deformación, mientras que la probeta transversal tiene una menor tensión con mayor deformación, es decir tienen una relación inversamente proporcional la tensión con la deformación.

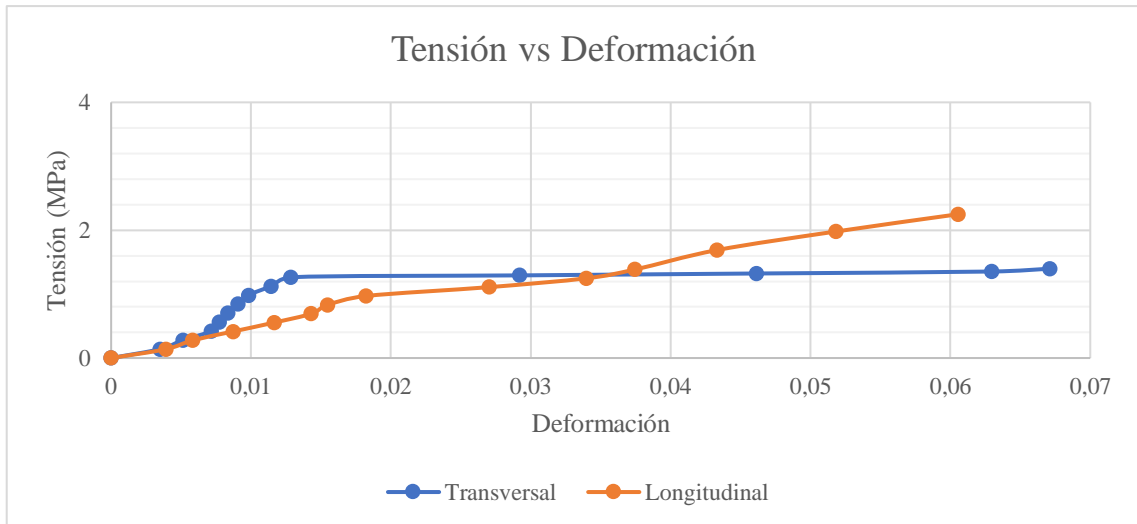


Gráfico 11-3: Curvas Tensión vs Deformación de probetas con 0,5% de EPS

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Las probetas con 0,5% de poliestireno presentan una tensión mayor y una deformación menor en la probeta longitudinal con respecto a la transversal, es decir, la relación es inversamente proporcional, sin embargo, las deformaciones son un tanto similares una respecto a otra.

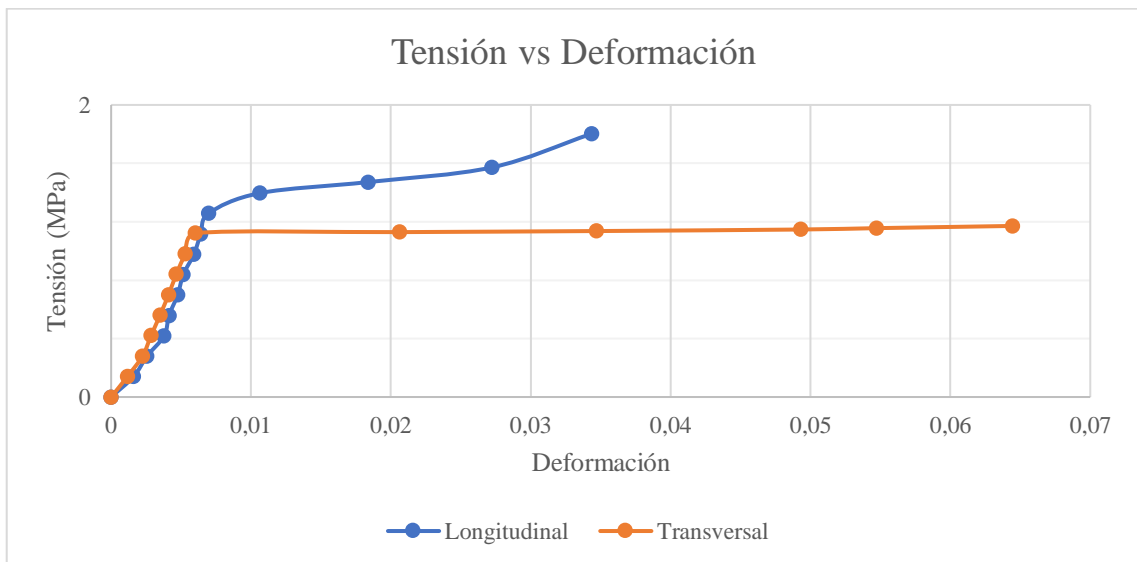


Gráfico 12-3: Curvas Tensión vs Deformación de probetas con 1% de EPS

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Las curvas presentadas en las probetas con 1% de EPS, presentan datos similares en el rango de elasticidad, sin embargo, cambian en la región plástica donde la probeta longitudinal presenta una mayor tensión provocando una menor deformación respecto a la probeta transversal.

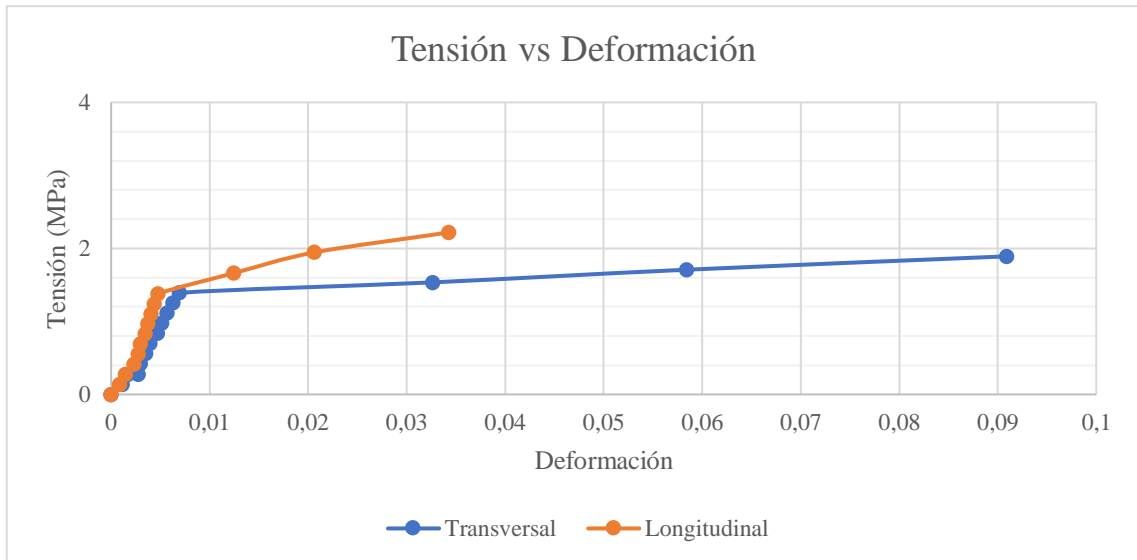


Gráfico 13-3: Curvas Tensión vs Deformación de probetas con 1,5% de EPS

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

En las probetas con 1,5% de EPS, existe una diferencia significativa respecto a las demás debido a que, en esta, la probeta transversal es aquella que posee mayor tensión y al mismo tiempo mayor deformación, es decir es una relación proporcional.

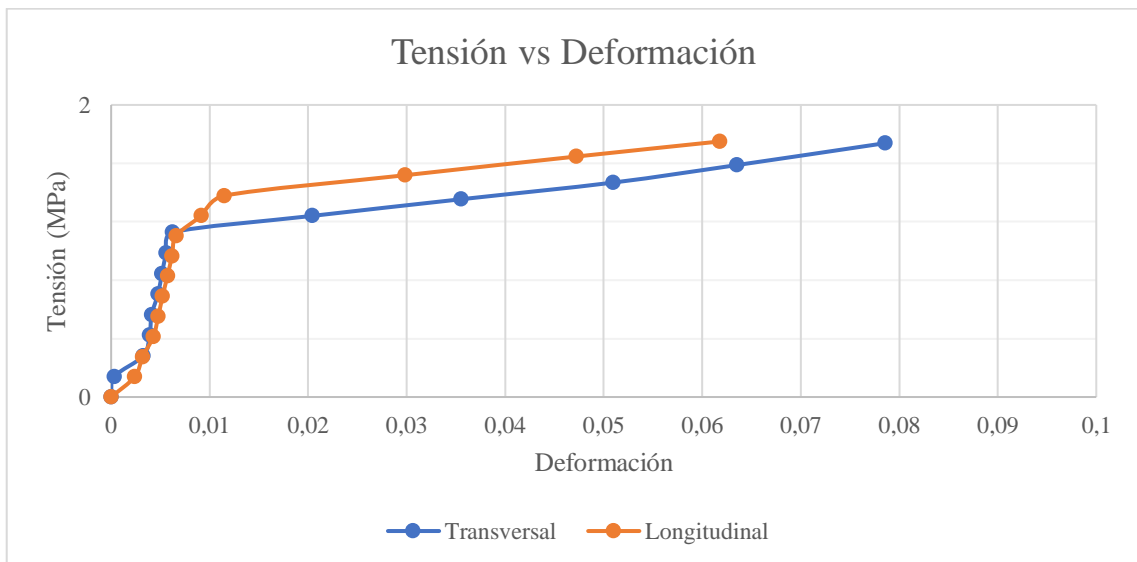


Gráfico 14-3: Curvas Tensión vs Deformación de probetas con 2% de EPS

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

En las probetas de 2% de EPS, se puede observar cómo la región elástica y plástica llegan a parecerse significativamente.

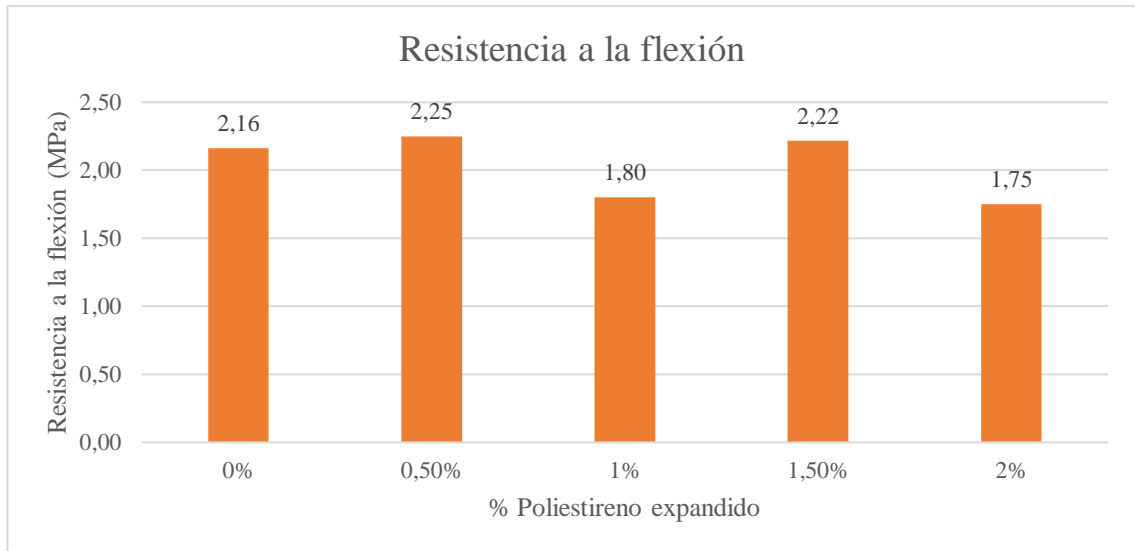


Gráfico 15-3: Comparación de las resistencias a la flexión de las probetas

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Para conocer si las placas cumplen con el mínimo establecido se utiliza la norma UNE- EN 13279-1 para Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción, debido a que incluye las características para los yesos premezclados para revestir paredes y techos interiores, a través del análisis de la resistencia a la flexión donde se analiza la mezcla con la utilización de aditivos, adiciones, agregados y otros conglomerantes. Por lo tanto, al añadir fibra orgánica, poliestireno expandido y acoplante, el nuevo producto se cataloga dentro de este grupo.

La normativa permite utilizar métodos de ensayo alternativos a los especificados para ensayos de nuevos tipos de producto, siempre y cuando se demuestre fiabilidad. Debido a la dimensión de las probetas se utilizó un factor de corrección para la determinación de la resistencia de flexión solo en las probetas longitudinales, por ser las muestras más representativas.

La norma indica una resistencia de flexión mínima de 2 MPa cuando el material posee algún tipo de fibra, por lo cual en la Gráfica 17-3 se puede observar que las probetas de 0%, 0,5%, y 1,5% cumplen con la norma (UNE-EN 13279 2009).

3.4.4. Resultados del ensayo de dureza superficial

Tabla 13-3: Resultados de los ensayos de dureza superficial en las probetas

Probeta	0%	0,50%	1%	1,50%	2%
Dureza(mm)	13,74	13,3	14,43	14,64	19,43

Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales, LENMAV

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

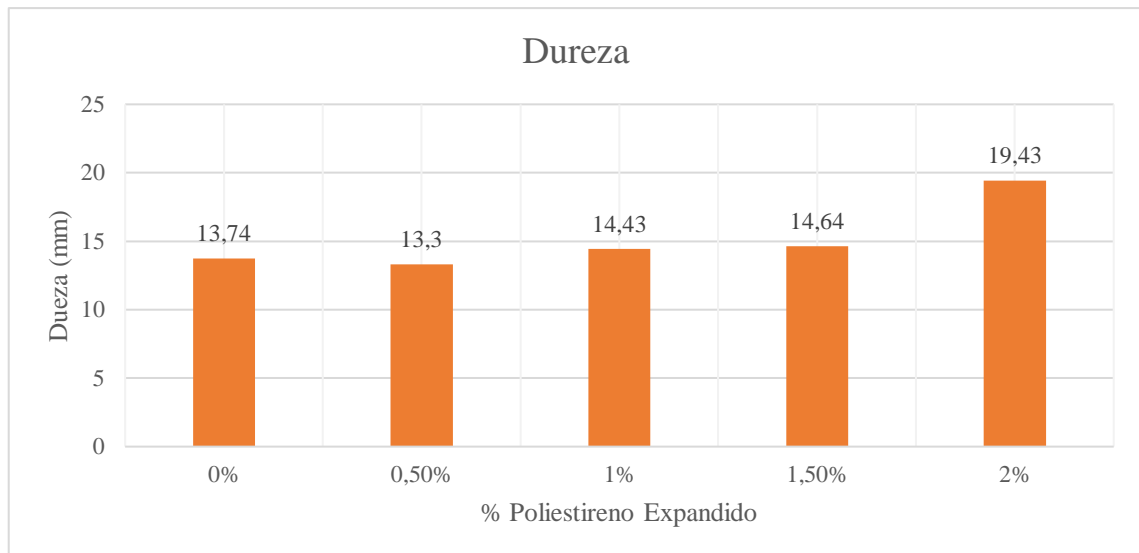


Gráfico 16-3: Comparación de las diferentes durezas en las probetas

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

Según los resultados del Grafico 17-3, las probetas que contienen poliestireno expandido presentan una dureza superficial < a 20 mm lo correspondiente a la aceptada por la norma.

Sin embargo, se puede notar que la placa que presenta mejor dureza superficial es la de 0,5 con un diámetro de 13,3 mm, que respecto a la referencial de 13,74 mm, mejora por adición de poliestireno expandido debido a la adición del polímero y la dispersión de la mezcla que en conjunto mejora la propiedad. Pero al añadir 1%, 1,5% y 2% de poliestireno se obtiene un diámetro mayor que indica menor dureza superficial, esto se genera por la menor trabajabilidad al aumentar el polímero, creando burbujas de aire que provocan surcos en la superficie de la placa (Romero-Gómez et al. 2020).

3.4.5. Resultado del ensayo de microscopia electrónica de barrido

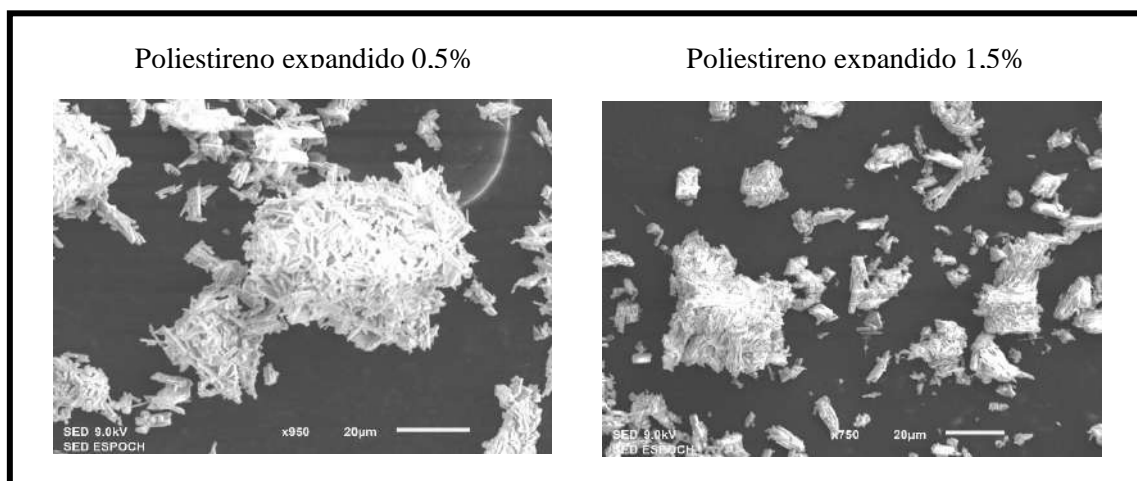


Figura 1-3: Análisis SEM en probetas con poliestireno expandido

Realizado por: Janeta, Maybeth, 2021.

En la figura 4-3, se presentan los efectos de la inclusión del poliestireno expandido al 0,5% donde se puede notar al poliestireno expandido de forma no homogénea, debido a las nanopartículas de poliestireno unidas a una partícula más grande y principal. Esto concuerda con la investigación de Christoph et al. 2016, que afirma que el poliestireno expandido contiene en su estructura nanopartículas de poliestireno adheridas debido al desgaste del material originado por los procesos de degradación en el ambiente. La misma situación se repite en la probeta con poliestireno al 1,5%, debido a que sus nanopartículas se encuentran dispersas, cabe recalcar que el poliestireno expandido utilizado fue reciclado y paso por un proceso de cambios mecánicos y físicos de limpieza y adaptación, lo cual generan desgaste en el material creando estos nano plásticos que son considerados contaminantes en el ambiente.

En la figura también se puede notar que el poliestireno y sus nanopartículas difieren al de la investigación, debido a que se presentan como estructuras más compactas y menos voluminosas, esto se produce debido a la resina que se añade como acoplante.

CONCLUSIONES

- Al identificar las características del poliestireno expandido reciclado utilizado como materia prima, se puede decir que las resistencias mecánicas: flexión, tracción y compresión están involucradas directamente con la densidad del material. La densidad aparente es de 17 kg/m^3 , es decir, es baja respecto a las densidades que suelen alcanzar este tipo de materiales, por lo cual sus características físico-mecánicas también son bajas por ejemplo el módulo de elasticidad es de $2,55 \text{ MPa}$, lo cual significa que tiene escasa capacidad elástica. La densidad y las características físico-mecánicas están dadas por la fabricación del material, además de la temperatura y la exposición a la que haya sido sometida durante su tiempo de existencia, por lo cual al ser reciclado este pasa por varias transformaciones físicas como lavado y secado, los cuales provocan cambios, sin contar con el tiempo que permaneció en el reciclaje expuesto al entorno.
- Las concentraciones adecuadas del poliestireno expandido en la mezcla dependen directamente de la densidad que tenga el mismo, debido a que este parámetro indicará la capacidad de volumen ocupado. En la experimentación realizada se obtuvo mejores resultados con poliestireno expandido al 0,5%, debido a que en menor cantidad este brinda propiedades de dureza superficial, baja densidad, y resistencia de flexión un poco mayores y semejantes respecto al que no lo contiene. La cualidad que destaca es la isotropía que brinda el poliestireno expandido a las placas de yeso, debido a que a mayor porcentaje de agregados esta mejora la propiedad. Sin embargo, a medida que aumenta el porcentaje de poliestireno en las placas este menora la trabajabilidad del mismo, y debilita la unión interna de las moléculas del yeso con EPS, generando una porosidad alta que afecta directamente a la resistencia del producto.
- Las características físicas y mecánicas del producto obtenido muestran que el poliestireno expandido brinda propiedades diferentes dependiendo de los porcentajes en el que se encuentre agregado. Esto se produce por la sinergia entre componentes de la mezcla, por lo cual, cada uno interfiere en las características producto.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda trabajar con residuos de poliestireno expandido que no hayan sido expuestos a cambios climáticos drásticos en el entorno al momento de su reciclaje.
- Es recomendable, aplicar fuerza de compresión al momento de realizar las placas para mejorar la compactación
- Es recomendable, el uso adecuado de acoplante debido a que su exceso genera menor trabajabilidad y mayor tiempo de fraguado
- Realizar las placas en exteriores para evitar una gran diferencia significativa entre la temperatura interna y externa
- Es recomendable, prevenir la condensación de la superficie interna de la placa añadiendo una capa interna de amortiguación de humedad

BIBLIOGRAFÍA

- ACEBO, Mauro; et al. “Aestudios industriales orientación estratégica para la toma de decisiones”. [en línea], 2016, (Guayaquil). [Consulta: 14 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.espae.espol.edu.ec/publicaciones-de-espae/>
- ALONSO, Mar; et al. *Aditivos para el hormigón: compatibilidad cemento-aditivos basados en policarboxilatos* [en línea]. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, 2009. [Consulta: 4 enero 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=JGpSpcimb8QC&pg=PA18&dq=sulfato+cálcico+dihidratado&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjMovOMkoHuAhVh0FkKHRWoCZIQ6AEwA3oECAQQA#v=onepage&q=sulfato cálcico dihidratado&f=false>.
- ARUN SOLOMON, A. & HEMALATHA, G. “Characteristics of expanded polystyrene (EPS) and its impact on mechanical and thermal performance of insulated concrete form (ICF) system”. *Structures*, 23, 2020, pp. 204-213.
- ASHBY, Michael & JONES, David. *Engineering Materials 1* [en línea]. 3ª ed. Waltham: Elsevier. 2012. [Consulta: 21 febrero 2021]. ISBN 9780080966656. Disponible en: www.books.elsevier.com.
- ASOCIACIÓN TÉCNICA Y EMPRESARIAL DEL YESO. *Sistemas Constructivos con Placa de Yeso Laminado*. México, 2011, pp. 64-128.
- ASTM D6817 / D6817M-17. *Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geof foam*.
- AZQUETA, P. *Manual práctico de aislamiento térmico en la construcción: EPS poliestireno expandido* [en línea]. S.l.: Nobuko, 2014. [Consulta: 3 enero 2021]. Disponible en: https://elibro.net/es/ereader/esepoch/77275?as_all=POLIESTIRENO&as_all_op=unaccent_&_icontains&prev=as.
- BARRERA, Gina. Caracterización de las propiedades mecánicas y térmicas de muestras de EPS pos consumo, utilizadas en la industria de alimentos y sometidas a un proceso de recuperación (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. Bogotá-Colombia. 2016. pp.66-100
- BELTRÁN, Maribel & MARCILLA, Antonio. *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades* [en línea]. Alicante -España.: Universidad de Alicante, 2009. [Consulta: 30 diciembre 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=jxilUUn4_QAC&pg=PA66&dq=plasticos+definicion+quimica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiQu9v8qfLtAhVQ1VvKkHRigAO8Q6AEwAnoECAAQA#v=onepage&q=plasticos definicion quimica&f=false.
- BICER, Ayse & KAR, Filiz, “Thermal and mechanical properties of gypsum plaster mixed with expanded polystyrene and tragacanth”. *Thermal Science and Engineering Progress* [en línea], 2017, 1pp. 59-65. ISSN 24519049. Disponible en:

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsep.2017.02.008>.
- BILLMEYER, Fredd. *Ciencia de los polímeros* [en línea]. S.l.: Reverté, 2004. [Consulta: 30 diciembre 2020]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=vL9QrpOKsQcC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- BRIONES, Elisa. Influencia del tipo y la relación agua/yeso sobre la compresión, porosidad, densidad, fraguado y expansión para la conservación de edificaciones [en línea] (Trabajo de titulación). (Licenciatura) Universidad Privada del Norte, Perú. 2018. [Consulta: 2 enero 2021]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13799>
- CASELLES, María; et al. *Química aplicada a la Ingeniería* [en línea]. Madrid-España: UNED, 2015. [Consulta: 3 enero 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=31-KCAAQBAJ&pg=PA448&dq=sulfato+cálcico+dihidratado&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjMovOMkoHuAhVh0FkKHRWoCZIQ6AEwBHoECAUQA#v=onepage&q=sulfato+cálcico+dihidratado&f=false>.
- CASTILLO, David; et al. “Propiedades físico-mecánicas de la fibra de Agave lechuguilla Torr. de cinco procedencias bajo plantaciones”.Revista Mexicana de Ciencias Forestales [en línea], 2013, 4(19) . [Consulta: 7 diciembre 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322013000500007.
- CASTRO, Silvia. Desarrollo de un material compuesto a partir de celulosa y poliestireno expandido residual [en línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniería).Universidad EIA, Medellin - Colombia. 2017. pp. 48-53. Disponible en: https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/2296/CastroSilvia_2017_DesarrolloMaterialCompuesto.pdf?sequence=1
- CHRISTOPH, Rainer; et al. “Aspectos Nano De Los Desechos De Plástico”.Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2016, 0(51E), pp. 65-76. ISSN 2500-8013.
- DEL RIO MERINO, Mercedes; et al. “Redesigning lightweight gypsum with mixes of polystyrene waste from construction and demolition waste”. Journal of Cleaner Production, 2019, 220pp. 144-151. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.02.132.
- GESSOS TÉCNICOS SA, *Instalación de sistemas en placas de yeso*. Portugal, 2017.
- GONZÁLEZ, Alicia. Caracterización de compuestos eco-eficientes de yeso aligerado con residuo de poliestireno extruido (XPS) [en línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado) Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 2017. pp. 103-296. [Consulta: 11 febrero 2021]. Disponible en: http://oa.upm.es/48007/1/ALICIA_DE_SAN_ANTONIO_GONZALEZ.pdf.
- GONZÁLEZ, Javier. “Caracterización de mezclas de residuos de Poliestireno Expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola, su uso en la construcción”. Informes de construcción

- [en línea], 2008, 60(509), pp. 35-43. [Consulta: 2 diciembre 2020]. ISSN 0020-0883. Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/articulo/view/589/671>
- INEC. “Los ecuatorianos producen 0,57 kilogramos de residuos sólidos diario”. Gobierno de la República del Ecuador [en línea]. 2015. [Consulta: 29 septiembre 2020]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/los-ecuatorianos-producen-057-kilogramos-de-residuos-solidos-diario/>.
- NTE INEN 2043:2013. *Plásticos. Método de ensayo para la determinación de las propiedades de tensión*
- NTE INEN-ISO 11248. *Plásticos. Materiales termoestables para moldeo. Evaluación de las características funcionales a corto plazo a temperaturas elevadas.*
- NTE INEN-EN 520-2018. *Placa de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo*
- IUCOLANO, Fabio; et al. “Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers”. *Construction and Building Materials* [en línea], 2015, 99pp. 184-191. ISSN 09500618. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.09.020>.
- JARAMILLO, Rubén. Reciclaje del yeso natural a partir de la producción de placas de yeso laminado [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 2020. pp. 33-67. [Consulta: 14 diciembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77443/75079985.2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- LAPA, Jordy. Efecto del poliestireno expandido en las propiedades físicas y mecánicas de la unidad de albañilería de concreto en la ciudad de Huancayo [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil. Huancayo, Perú. 2020. pp. 55-123. [Consulta: 18 diciembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7710>
- MELO, Virginia & CUAMATZI, Oscar. *Bioquímica de los procesos metabólicos* [en línea]. 2. Barcelona-España: Reverté, 2007. [Consulta: 7 diciembre 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=KHec9weY8Y0C&pg=PA67&dq=bioquimica+lignina&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiHsMWxorvtAhXwxlkKHTCZDi4Q6AEwAHoECAMQAg#v=onepage&q=hemicelulosa&f=false>.
- MUÑOZ, Diego & NARVAÉZ, Javier. Construcción sostenible a partir de paneles prefabricados utilizando yeso y celulosa reciclada [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y

- Matemáticas. Quito, Ecuador. 2019. pp. 94-184. [Consulta: 11 diciembre 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19052>
- NÁCHER, Ricardo; et al. *Manual de albañilería* [en línea]. Madrid- España: Ediciones Paraninfo, 2017. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=EF9IDgAAQBAJ&pg=PA103&dq=relacion+agua/+yeso&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiP4bOp7uLuAhUGvIkKHTStCCoQ6AEwAXoECAkQA#v=onepage&q=relacion+agua%2F+yeso&f=false>.
- NAVARRA, José. *Maquetas, modelos y moldes: materiales y técnicas para dar forma a las ideas* [en línea]. 3ª ed. Castellón-España: Universitat Jaume I, 2004. [Consulta: 22 febrero 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=yHfnxK3pgM8C&pg=PA62&dq=tiempo+de+fraguado+del+yeso&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjgnpqMzv7uAhVwxFkKHU6UAbIQ6AEwAnoECAcQA#v=onepage&q=tiempo+de+fraguado+del+yeso&f=false>.
- UNE-EN 13279-1. *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción*.
- PABÓN, Martha. *Bioquímica ruminal* [en línea]. Bogotá-Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2004. [Consulta: 7 diciembre 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=LA-9LjyvOQIC&pg=PA11&dq=bioquimica+lignina&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiHsMWxorvtAhXwxIkKHTCZDi4Q6AEwAnoECAIQAg#v=onepage&q=celulosa&f=false>.
- PÉREZ, Natalia; et al. “Evaluación de las propiedades mecánicas del poliestireno expandido”. Publicación Técnica No. 476 Sanfandila, Qro, 2016, (476), pp. 79. ISSN 0188-7297.
- PLACO. *La placa de yeso laminado*. Madrid-España: PLACO S.A., 2016, pp. 46-53
- RIO MERINO, Mercedes; et al. “Redesigning lightweight gypsum with mixes of polystyrene waste from construction and demolition waste”. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 220pp. 144-151. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.02.132.
- RIVAS, Fidel. *Escayolas y tabiquería en seco* [en línea]. Barcelona-España: Ceac S.A, 2005. [Consulta: 3 enero 2021]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=Qs_S3aL-hYwC&pg=PA20&dq=sulfato+cálcico+dihidratado&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjMovOMkoHuAhVh0FkKHRWoCZIQ6AEwBXoECAyQA#v=onepage&q=sulfato+cálcico+dihidratado&f=false.
- ROMERO-GÓMEZ, M; et al. “Characterization of gypsum composites with polypropylene fibers from non-degradable wet wipes”. *Journal of Building Engineering*, 2020, pp. 101874. ISSN 23527102. DOI 10.1016/j.job.2020.101874.
- SEGURA, María. Estudio del comportamiento mecánico de espumas de poliestireno [en línea]

(Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Zaragoza, Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Zaragoza, España. 2018. pp. 30- 43. [Consulta: 4 enero 2021]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/78596?ln=es>

UNE-EN 13279-1:2009. *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones*

UNIVERSIDADE DA CORUÑA. *I premio udc sustentabilidade a traballos fin de grao e mestrado 2018* [en línea]. Coruña-España: Universidade da Coruña, 2018. [Consulta: 29 diciembre 2020]. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/25606/IpremioUDCsustentabilidadeatraballosfindegraoemestrado2018.pdf#page=13>.

ZAMUDIO PEÑA, William H.; et al “Caracterización del poliestireno expandido residual a nivel global: una revisión de literatura autores”, 2018, pp. 5. DOI 10.13140/RG.2.2.19001.26728.

ZHUNIO, Mónica & LITUMA, Tatiana.. *Influencia de las perlas de poliestireno expandido (EPS) en el peso y en la resistencia a compresión del hormigón* [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Cuenca-Ecuador. 2015. pp. 31-78. [Consulta: 3 diciembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23112>

ANEXOS

ANEXO A: NTE INEN-EN 520. Placa de yeso laminado. Determinación de métodos de ensayo



**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN-EN 520
Primera edición
2018-06

**PLACA DE YESO LAMINADO. DEFINICIONES, ESPECIFICACIONES
Y MÉTODOS DE ENSAYO (EN 520:2004+A1:2009, IDT)**

GYPSUM PLASTERBOARDS. DEFINITIONS, REQUIREMENTS AND TEST METHODS (EN
520:2004+A1:2009, IDT)

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma EN 520:2004+A1:2009,
cuya versión oficial en español fue realizada por AENOR.

ANEXO B: UNE-EN 13279-1. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción.

UNE-EN 13279-1

Julio 2009

norma española

TÍTULO	<p>Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción</p> <p>Parte 1: Definiciones y especificaciones</p> <p><i>Gypsum boards and gypsum plasters. Part 1: Definitions and requirements</i></p> <p><i>Ciments-plâtres et enduits à base de plâtre pour le bâtiment. Partie 1: Définitions et exigences</i></p>
CORRESPONDENCIA	Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 13279-1:2008.
OBSERVACIONES	Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 13279-1:2006.
ANTECEDENTES	Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 102 Yeso y productos a base de yeso cuya Secretaría desempeña ATEDY.

Edición e impresión por AENOR
Depósito legal: M. 29613-2009

© AENOR 2009
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación

Genova, 6
28004 MADRID España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

22 Páginas

Grupo 15

© AENOR. Este documento está registrado como UNE con el número de identificación AENOR 102

ANEXO C: Elaboración de placas de yeso con poliestireno expandido



a)



b)

- a) Preparación de poliestireno expandido reciclado
- b) Trituración de poliestireno expandido reciclado

Continuar pág. Siguiete



a)



b)

a) Pesaje y preparación de la primera mezcla con yeso, agua, poliestireno expandido y acoplante

b) Colocación de la primera mezcla en el molde



a)



b)

- a) Colocación de la fibra de cabuya en el molde
- b) Preparación de la segunda mezcla agua y yeso



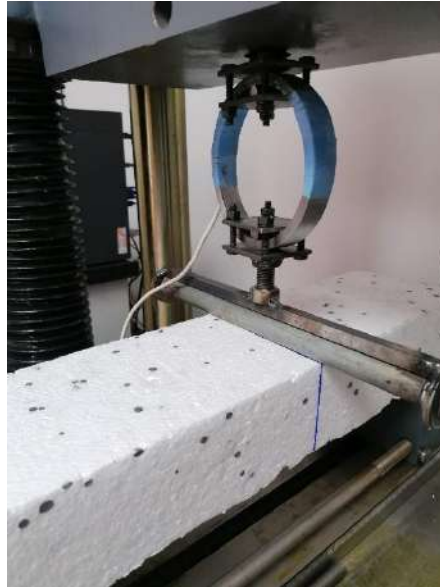
a)



b)

- a) Colocación de la segunda mezcla en el molde
b) Placa de yeso realizada con poliestireno expandido

ANEXO D: Elaboración de ensayos en el poliestireno expandido reciclado



a)



b)

- a) Probeta de poliestireno expandido reciclado durante el ensayo de flexión
b) Probeta de poliestireno expandido reciclado durante el ensayo de compresión

ANEXO E: Informe de resultados de tracción de poliestireno expandido reciclado



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
Nº 01	
SOLICITADO POR:	Maybeth Alejandra Janeta Lazo
PROYECTO DE TESIS:	UTILIZACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO AGREGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MATERIAL YESO
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS ESC. ING. QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	POLIESTIRENO EXPANDIDO
MATERIAL:	PROBETA DE POLIESTIRENO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	8-ene-21
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006-CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P - 1
CARACTERÍSTICA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	4.75
ANCHURA [mm]	10.17
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	48.31
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	2.552.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	8.89
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0.18
CARGA MAXIMA [N]	9.13
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	0.19
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	11.83
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñán B. M. Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

ANEXO F: Informe de resultados de compresión de poliestireno expandido reciclado




Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE COMPRESIÓN	
Denominación: RG-21-01	
N° 01	
SOLICITADO POR:	Maybeth Alejandra Janeta Lazo
PROYECTO DE TESIS	UTILIZACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO AGREGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MATERIAL YESO
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS - ESC. ING. QUIMICA
TIPO DE MATERIAL:	POLIESTIRENO EXPANDIDO
MATERIAL:	PROBETA CILÍNDRICA DE POLIESTIRENO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01
NORMA UTILIZADA:	ASTM D1621 - 10
FECHA DE ENSAYO:	8-ene-21
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201616500064D
CÓD IDENT: M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P-1
CARACTERÍSTICA	PROBETA - CILÍNDRICA
DIÁMETRO [mm]	75.00
ALTURA [mm]	138.00
SECCION TRANSVERSAL [mm²]	4417.875
CARGA MÁXIMA [N]	636.25
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	0.1440
DEFORMACIÓN MAXIMA [mm]	106.09
OBSERVACIONES:	



Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

ANEXO G: Informe de resultados de flexión de poliestireno expandido reciclado



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE FLEXIÓN	
Denominación: RG-20-01	
N° 01	
SOLICITADO POR:	Maybeth Alejandra Janeta Lazo
PROYECTO DE TESIS:	UTILIZACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO AGREGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MATERIAL YESO
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS - ESC. ING. QUIMICA
TIPO DE MATERIAL:	POLIESTIRENO EXPANDIDO
MATERIAL:	PROBETA PRISMATICA DE POLIESTIRENO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01
NORMA UTILIZADA:	ASTM D1621 - 10
FECHA DE ENSAYO:	8-ene-21
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201616500064D
CÓD IDENT: M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P-1
CARACTERÍSTICA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	85.00
ANCHO [mm]	140.00
LONGITUD ENTRE APOYOS [mm]	400
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	11900
CARGA MÁXIMA [N]	34.53
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	0.0205
FLECHA MAXIMA [mm]	23.79
OBSERVACIONES:	

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

ANEXO H: Informe de resultados de flexión de las probetas de placas de yeso con y sin poliestireno expandido



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS				
ENSAYO DE FLEXIÓN			Denominación: RG-20-01	
			N° 01	
SOLICITADO POR:	Maybeth Alejandra Janeta Lazo			
PROYECTO DE TESIS:	UTILIZACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO AGREGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MATERIAL YESO			
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS - ESC. ING. QUÍMICA			
TIPO DE MATERIAL:	PLACA DE YESO			
MATERIAL:	PROBETA RECTANGULAR DE YESO			
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01			
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN-EN 520			
FECHA DE ENSAYO:	2-feb-21			
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B			
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD			
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201616500064D	CÓD IDENT: M1		
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	A 0,5%	B 0,5%	A 1%	B 1%
CARACTERÍSTICA	PLACA	PLACA	PLACA	PLACA
ESPEJOR [mm]	11.51	10.48	11.54	11.47
ANCHO [mm]	23.5	23.2	23.4	23.2
LONGITUD ENTRE APOYOS [mm]	350	350	350	350
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	270.52	243.02	269.92	266.14
CARGA MÁXIMA [N]	162.26	99.54	83.55	129.05
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	27.34	20.53	14.09	22.19
FLECHA MÁXIMA [mm]	21.19	23.49	22.56	12.02
OBSERVACIONES:				



Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS				
ENSAYO DE FLEXIÓN			Denominación: RG-20-01	
			N° 02	
SOLICITADO POR:	Maybeth Alejandra Janeta Lazo			
PROYECTO DE TESIS	UTILIZACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO AGREGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MATERIAL YESO			
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS - ESC. ING. QUÍMICA			
TIPO DE MATERIAL:	PLACA DE YESO			
MATERIAL:	PROBETA RECTANGULAR DE YESO			
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01			
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN-EN 520			
FECHA DE ENSAYO:	2-feb-21			
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B				
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD				
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201616500064D		CÓD IDENT: M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	A 1,5%	B 1,5%	A 2%	B 2%
CARACTERÍSTICA	PLACA	PLACA	PLACA	PLACA
ESPEJOR [mm]	15.64	11.93	14.11	12.88
ANCHO [mm]	23.2	23.2	23.6	23.1
LONGITUD ENTRE APOYOS [mm]	350	350	350	350
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	362.77	276.85	332.96	297.45
CARGA MÁXIMA [N]	160.79	135.92	126.90	123.37
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	14.88	21.60	14.18	16.91
FLECHA MÁXIMA [mm]	11.99	31.81	21.62	27.49
OBSERVACIONES:				



Aprobado por:

[Signature]
 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS		
ENSAYO DE FLEXIÓN		Denominación: RG-20-01
		N° 03
SOLICITADO POR:	Maybeth Alejandra Janeta Lazo	
PROYECTO DE TESIS	UTILIZACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO AGREGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MATERIAL YESO	
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS - ESC. ING. QUIMICA	
TIPO DE MATERIAL:	PLACA DE YESO	
MATERIAL:	PRÓBETA RECTANGULAR DE YESO	
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01	
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN-EN 520	
FECHA DE ENSAYO:	4-feb-21	
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201616500064D	CÓD IDENT: MI
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	e - 1	e - 2
CARACTERÍSTICA	PLACA	PLACA
ESPESOR [mm]	10.23	10.08
ANCHO [mm]	23.2	23.1
LONGITUD ENTRE APOYOS [mm]	350	350
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	237.41	232.77
CARGA MÁXIMA [N]	153.02	46.78
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	33.07	10.47
FLECHA MÁXIMA [mm]	24.93	40.10
OBSERVACIONES:		



Aprobado por:

(Signature)
 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

ANEXO I: Informe de resultados de deformación bajo carga de las probetas de placas de yeso con y sin poliestireno expandido



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS											
DETERMINACIÓN DE LA DEF. BAJO CARGA										Denominación: RG 18-1	
N° 01											
SOLICITADO POR:	Maybeth Alejandra Janeta Lazo										
PROYECTO DE TESIS	UTILIZACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO AGREGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MATERIAL YESO										
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS - ESC. ING. QUÍMICA										
TIPO DE MATERIAL:	PLACA DE YESO										
MATERIAL:	PROBETA RECTANGULAR DE YESO										
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01										
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN-EN 520										
FECHA DE ENSAYO:	4-feb-21										
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B										
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD										
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201616500064D					CÓD IDENT: M1					
DESIG. DEL MAT.	CARGA [N]	DEFORMACIONES [mm]									
		A0,5%	B0,5%	A1%	B1%	A1,5%	B1,5%	A2%	B2%	e1	e2
LECTURA 1	10	1.37	1.23	0.41	0.56	0.30	0.40	0.84	0.12	0.78	4.16
LECTURA 2	20	2.04	1.80	0.79	0.90	0.51	0.96	1.12	1.14	1.56	8.59
LECTURA 3	30	3.06	2.51	1.00	1.33	0.87	1.04	1.50	1.37	2.34	16.9
LECTURA 4	40	4.08	2.70	1.22	1.45	0.96	1.23	1.67	1.44	3.15	25.7
LECTURA 5	50	5.01	2.93	1.44	1.66	1.05	1.38	1.83	1.66	3.66	—
LECTURA 6	60	5.42	3.17	1.63	1.81	1.20	1.65	2.00	1.81	4.4	—
LECTURA 7	70	6.38	3.44	1.86	2.07	1.31	1.80	2.16	1.96	5.1	—
LECTURA 8	80	9.46	4.00	2.11	2.24	1.42	1.99	2.3	2.18	5.9	—
LECTURA 9	90	11.89	4.50	—	2.44	1.54	2.20	3.2	—	8.1	—
LECTURA 10	100	13.11	23.39	—	3.7	1.67	2.43	4.0	—	9.0	—
PROMEDIO [mm]		3.39		1.34		1.10		1.56		14.44	
OBSERVACIONES:											

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1


ANEXO J: Informe de resultados de dureza superficial de las probetas de placas de yeso con y sin poliestireno expandido



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS					
DUREZA SUPERFICIAL DE LA PLACA			Denominación: RG-21-05		
N° 01					
SOLICITADO POR:	Maybeth Alejandra Janeta Lazo				
PROYECTO DE TESIS:	UTILIZACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO AGREGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MATERIAL YESO				
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS - ESC. ING. QUÍMICA				
TIPO DE MATERIAL:	PLACA DE YESO				
MATERIAL:	PROBETA RECTANGULAR DE YESO				
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01				
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN-EN 520				
FECHA DE ENSAYO:	4-feb-21				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINANLIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136		CERTIFICADO: LNM-F-201650006		CÓD IDENT: M2	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	C0.5%	C1%	C1,5%	C2%	C2
DIÁMET. BOLA DE ACERO [mm]	50	50	50	50	50
ALTURA DE CAÍDA [mm]	500	500	500	500	500
LECTURA 1 [mm]	12.25	13.8	15.19	11.25	18.53
LECTURA 2 [mm]	13.73	11.61	13.41	16.98	19.63
LECTURA 3 [mm]	13.93	11.42	15.31	12.98	20.44
DIÁMETRO PROMEDIO [mm]	13.30	12.28	14.64	13.74	19.53
OBSERVACIONES:					

Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

ANEXO K: Informe de resultados de dureza superficial de las probetas al 1% de EPS



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS		
DUREZA SUPERFICIAL DE LA PLACA	Denominación: RG-21-05	
N° 01		
SOLICITADO POR:	Maybeth Alejandra Janeta Lazo	
PROYECTO DE TESIS	UTILIZACIÓN DE POLIESTIRENO EXPANDIDO COMO AGREGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL MATERIAL YESO	
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS - ESC. ING. QUÍMICA	
TIPO DE MATERIAL:	PLACA DE YESO	
MATERIAL:	PROBETA RECTANGULAR DE YESO	
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 01	
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN-EN 520	
FECHA DE ENSAYO:	3-mar-21	
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B		
MARCA: JINANLIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD		
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006	CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	A 1%	
DIÁMET. BOLA DE ACERO [mm]	50	
ALTURA DE CAÍDA [mm]	500	
LECTURA 1 [mm]	14.43	
LECTURA 2 [mm]	15.4	
LECTURA 3 [mm]	14.67	
DIÁMETRO PROMEDIO [mm]	14.83	
OBSERVACIONES:		

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 26 / 05 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: MAYBETH ALEJANDRA JANETA LAZO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: CIENCIAS
Carrera: INGENIERÍA QUÍMICA
Título a optar: INGENIERA QUÍMICA
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0861-DBRA-UPT-2021